

**В.В. ЛУКША, П.В. ШВЕДОВСКИЙ**

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

**Часть 2**

*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 2005

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 2. – Брест: Издательство БГТУ, 2005. – 292 с., илл. 226, табл. 65, библи. 10 назв.*

**ISBN 985-493-011-4**

Во второй части курса лекций большое внимание уделяется одному из наиболее прогрессивных направлений в проектировании автомобильных дорог – ландшафтному проектированию, сущность которого заключается в плавном сопряжении элементов дороги между собой и гармоничном сочетании ее с окружающим ландшафтом. В книге обобщен отечественный и зарубежный опыт ландшафтного проектирования дорог и даны рекомендации по принципам их трассирования в характерных природных районах. Детально рассмотрен вопрос о рациональных соотношениях элементов дороги, обеспечивающих ее зрительную плавность и оптимальный режим движения автомобилей, описаны методы оценки плавности трассы.

Также рассмотрены вопросы организации дорожного движения, проектирования автомобильных дорог в различных природных условиях и обоснования проектных решений.

Книга, предназначенная в качестве пособия для студентов автомобильно-дорожных специальностей, может представлять интерес для работников проектных организаций и службы эксплуатации автомобильных дорог.

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

Контактный email: [vv1@bstu.by](mailto:vv1@bstu.by) (Лукша В.В.).

УДК 625.72 (075.8)  
ББК 91.311

**ISBN 985-493-011-4**

© Лукша В.В., 2005  
© Шведовский П.В., 2005  
© Издательство БГТУ, 2005



## ОГЛАВЛЕНИЕ

стр.

<b>17. ЛАНДШАФТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ</b> .....	6
17.1. Этапы развития ландшафтного проектирования.....	6
17.2. Восприятие водителями дорожных условий и безопасность движения.....	10
17.3. Оптическое трассирование дорог.....	14
17.4. Согласование элементов трассы с ландшафтом.....	19
17.5. Цели, задачи и основные принципы ландшафтного проектирования.....	21
17.6. Особенности трассирования дорог в характерных ландшафтах.....	26
17.6.1. Трассирование в равнинной местности.....	26
17.6.2. Трассирование в холмистой местности.....	36
17.6.3. Трассирование в горной местности.....	45
17.7. Согласование земляного полотна с ландшафтом.....	51
17.8. Требования к придорожной полосе.....	55
17.9. Площадки отдыха и стоянки.....	59
17.10. Дорожные знаки и рекламные щиты на придорожной полосе.....	62
17.11. Озеленение дорог.....	63
17.12. Геометрия пространственной трассы дороги.....	68
17.13. Обеспечение зрительной плавности дороги.....	71
17.14. Общие правила плавного сочетания элементов дорог в плане и профиле.....	73
17.15. Требования к элементам плана дороги.....	74
17.16. Взаимная увязка элементов плана и профиля.....	80
17.17. Последовательность ландшафтного проектирования.....	87
17.18. Оценка пространственной плавности дороги.....	92
17.19. Использование перспективных изображений для контроля плавности трассы.....	96
17.20. Оценка плавности трассы по моделям.....	104
17.21. Автоматизированное проектирование и моделирование.....	107
17.22. Требования охраны окружающей среды при выборе направления трассы.....	116
17.23. Общие принципы обеспечения пространственной плавности трассы и увязки ее с ландшафтом.....	118
<b>18. ОБСЛУЖИВАНИЕ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ</b> .....	120
18.1. Проектирование автобусных остановок.....	120
18.2. Проектирование площадок отдыха.....	124
18.3. Проектирование размещения автозаправочных станций (АЗС) и станций технического обслуживания (СТО).....	125
18.4. Организация связи.....	126
<b>19. ИНЖЕНЕРНОЕ ОБУСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ</b> .....	128
19.1. Дорожные знаки.....	128
19.2. Дорожная разметка.....	131
19.3. Направляющие устройства.....	134
19.4. Дорожные ограждения.....	137
19.5. Освещение автомобильных дорог.....	148
19.6. Составление схемы обстановки дороги.....	151
<b>20. ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ РАЙОНАХ</b> .....	153
20.1. Типы болот и их инженерная классификация.....	153
20.2. Основные принципы трассирования дорог в заболоченных районах.....	155
20.3. Классификация слабых грунтов и их свойства.....	155
20.4. Выделение расчетных участков и расчетных слоев слабой залежи. Назначение расчетных характеристик слабых грунтов.....	158
20.5. Особенности изысканий автомобильных дорог на участках залегающих слабых грунтов.....	159
<b>21. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ</b> .....	163
21.1. Общие принципы проектирования земляного полотна на слабых грунтах.....	163

21.2. Оценка возможности использования болотной залежи в качестве основания насыпи .....	166
21.3. Статический расчет прочности дорожной одежды.....	166
21.4. Расчет толщины насыпного слоя.....	167
21.5. Динамический расчет земляного полотна.....	170
21.6. Определение частот собственных колебаний насыпей на торфяном основании....	171
21.7. Расчет устойчивости слабого основания дорожной насыпи .....	172
21.8. Расчет осадки земляного полотна .....	173
21.9. Мероприятия по обеспечению стабильности и устойчивости насыпей на слабых грунтах.....	176
21.10. Конструкции земляного полотна на болотах без выторфовывания.....	181
21.11. Земляное полотно с заменой слабого грунта в основаниях.....	181
21.12. Земляное полотно из грунтов повышенной влажности и переувлажненных грунтов .....	185
21.13. Контрольные наблюдения в процессе строительства .....	185
21.14. Условия применения типовых конструкций земляного полотна из грунтов повышенной влажности .....	186
21.15. Условия применения типовых конструкций земляного полотна на заболоченных участках.....	187
<b>22. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ .....</b>	<b>192</b>
22.1. Особенности проложения трассы в районах распространения вечномерзлых грунтов.....	192
22.2. Проектирование дорог в районах распространения оврагов .....	199
22.3. Проектирование дорог в карстовых районах.....	204
22.4. Проектирование дорог в горной местности .....	206
22.4.1. Трассирование автомобильных дорог по долинам горных рек.....	208
22.4.2. Развитие трассы дороги по склонам и перевальным дорогам .....	210
22.4.3. Проектирование серпантин .....	214
22.4.4. Поперечные профили горных дорог.....	217
22.4.5. Продольный профиль горных дорог .....	218
22.4.6. Принципы проектирования тоннелей.....	220
22.4.7. Принципы проектирования подпорных сооружений.....	221
22.4.8. Проложение дороги по участкам осыпей и камнепадов .....	225
22.4.9. Пересечение селевых выносов .....	226
22.4.10. Пересечение оползневых участков.....	229
22.4.11. Защита дорог от лавин .....	233
22.4.12. Особенности проектирования автомобильных дорог и малых искусственных сооружений в сейсмически опасных районах.....	237
22.5. Проектирование автомобильных дорог в засушливых районах.....	238
22.6. Особенности проектирования дорог в песчаных пустынях .....	241
<b>23. ОСНОВЫ ИЗЫСКАНИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....</b>	<b>246</b>
23.1. Стадии проектирования.....	246
23.2. Организация проектно-изыскательских работ и типовые схемы их выполнения....	246
23.3. Схема развития сети автомобильных дорог .....	250
23.4. Экономические изыскания.....	253
23.5. Экономическое проектирование .....	255
23.6. Технико-экономическое обоснование (ТЭО) .....	264
23.7. Экономическое обоснование строительства.....	265
<b>24. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....</b>	<b>273</b>
24.1. Геодезические опорные пункты .....	273
24.2. Планово-высотное обоснование аэроизысканий .....	273

24.3.- Съёмка топографических планов и построение цифровых моделей местности .....	274
24.4. Вынос трассы автомобильных дорог в натуру .....	275
<b>25. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....</b>	<b>277</b>
25.1. Инженерно-геологические изыскания на полосе варьирования при выборе оптимального варианта трассы .....	277
25.2. Инженерно-геологические изыскания по выбранному варианту трассы .....	279
25.3. Изыскания под отдельные транспортные сооружения и на участках со сложными условиями .....	280
25.4. Поиск и разведка строительных материалов для дорожной одежды и грунтов для земляного полотна .....	285
<b>26. ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....</b>	<b>286</b>
26.1. Состав инженерно-гидрометеорологических обоснований проектов .....	286
26.2. Состав и технология инженерно-гидрометеорологических изысканий .....	287
26.3. Морфометрические работы .....	288
26.4. Гидрометрические работы и гидрологические расчеты .....	290
26.5. Основы методик гидрологических расчетов .....	291
Литература .....	292

## 17. ЛАНДШАФТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### 17.1. Этапы развития ландшафтного проектирования

В последние десятилетия большое внимание уделяется *ландшафтному проектированию дорог* – проложению трассы в виде плавной пространственной линии, которая гармонично сочетается с окружающим ландшафтом.

Дороги, как крупные инженерные сооружения, предназначенные служить в течение многих десятилетий, должны удовлетворять высоким эстетическим требованиям. Необходимо, чтобы эти сооружения не только не нарушали целостности и живописности ландшафта и своим рациональным расположением способствовали лучшему раскрытию особенностей местности. Поэтому расположение дороги на местности всегда приходится оценивать с *трех точек зрения*.

- 1) при взгляде на дорогу со стороны, т.е. с позиции местных жителей;
- 2) при взгляде с дороги на открывающиеся сбоку пейзажи с позиций пассажиров;
- 3) при взгляде вдоль дороги с мест водителей автомобилей.

В последнем случае необходимо учитывать, что дорога – объект трудовой деятельности водителей. Особенности ее восприятия водителем непосредственно отражаются на его утомляемости и внимательности, т.е. на производительности труда и безопасности движения. Поэтому проектирование дороги должно являться таким же объектом приложения принципов технической эстетики, как и конструирование автомобилей, промышленных и бытовых предметов.

Идея предъявления к дороге эстетических требований не нова и возникла давно. Еще в 1801 г. известный русский дорожник И. С. Гергард высказывал в статье «Второе продолжение о строении дорог, а паче о проселочной дороге» ряд требований к проложению подъездных дорог к помещичьим усадьбам. Там, в частности, рекомендовалось: «Хотя модные дороги на английской вкус от прямой линии и уклоняются, однако же, должно сохранить вид от помещичьего двора и вести к нему перспективу. Дорога должна быть также нарочито шире, дабы как дом, так и вид для зрения лучше показались». Следует «по сторонам рассадить деревья, кои выросши составят весьма приятную аллею», а также «...сделать местами приятные нечаянности, кои по дороге могут быть сокрыты до тех пор, пока до них не дойдешь».

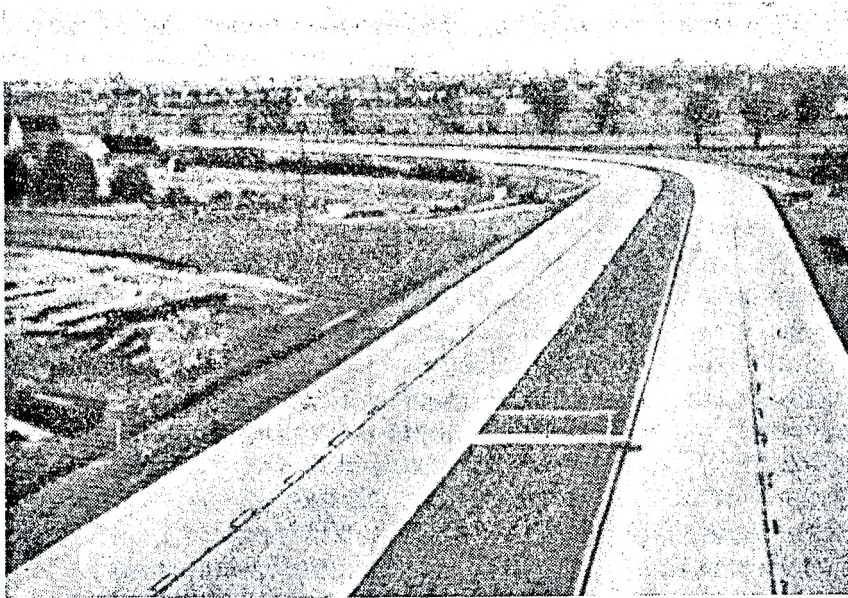
Вопросы эстетики в проектировании дорог находили отражение и в позднейшей дорожной литературе. Так, например, в курсе «Городские улицы и мостовые» проф. Г. Д. Дубелира, изданном в 1912 г. в Киеве, отмечалось, что планировка сети городских улиц «должна, по возможности удовлетворять еще и требованиям художественного характера». Хотя «художественная сторона планировки не может быть, конечно, уложена в рамки доктрины», но «тем не менее, и в этом отношении могут быть установлены некоторые общие принципы, дающие возможность избежать при планировке заведомо невыгодных, в отношении перспективы расположений». Указывалось, в частности, что следует избегать выпуклого продольного профиля, который придает улице при взгляде на нее снизу некрасивый вид. Наоборот, широкие улицы с аллеями при вогнутом продольном профиле (стрела вогнутости 1/400) производят обыкновенно весьма живописное впечатление.

Однако начало систематической разработки принципов ландшафтного проектирования автомобильных дорог относится только ко второй половине тридцатых годов прошлого столетия. Проектные решения этих больших дорог для дальних перевозок с высокими скоростями были во многом заимствованы у железных дорог.

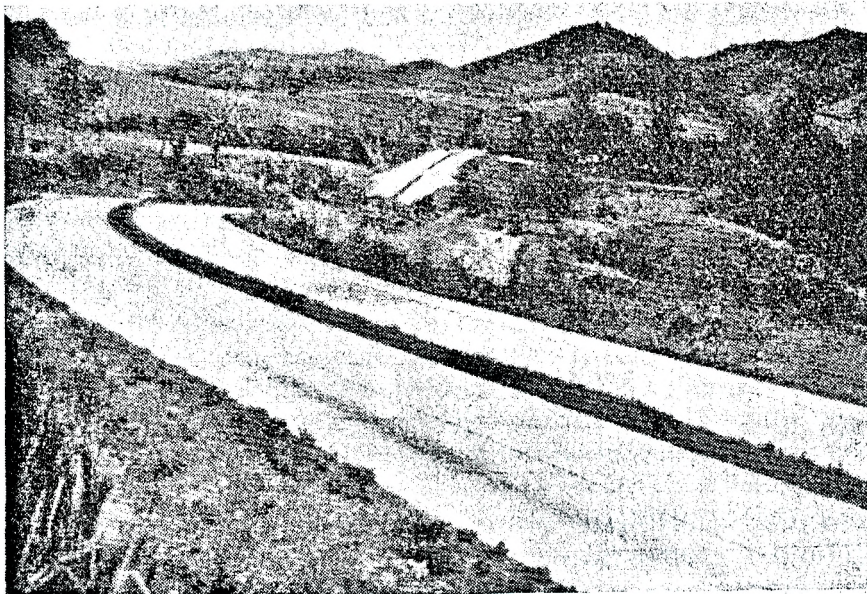
Допускавшиеся на них длинные прямые участки явились своеобразной психологической реакцией проектировщиков на предшествующий опыт использования автомобилями дорог, построенных в период конного движения, которые изобиловали кривыми малых радиусов и огибали часто даже незначительные по величине элементы рельефа. Идеалом трассирования стали считать длинную прямую.

На первых автомагистралях оказалось много неудачных участков с кривыми малых радиусов, выглядевших издалека как крутые переломы в плане и профиле (рис. 17.1). Трасса дороги, отдельные элементы которой намечались без взаимной увязки и обеспечения плавности сопряжений, была беспокойной (рис. 17.2). Расположение мостов не согласовывалось с общим направлением и продольным профилем дороги, и они выглядели как искусственные вставки (рис. 17.3).

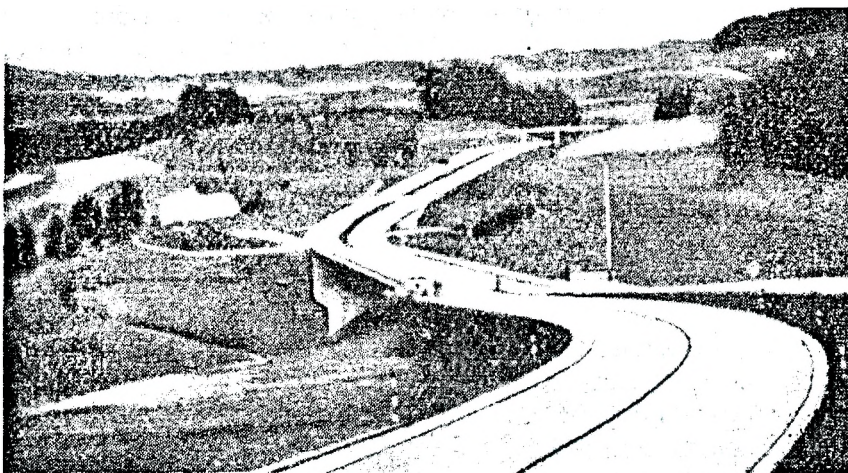




*Рис. 17.1. Неудачный участок автомагистрали. Кривая малого радиуса кажется крутым переломом дороги*



*Рис. 17.2. Неудачный участок автомагистрали. Крутые переломы в продольном профиле из-за малого радиуса вогнутых вертикальных кривых*



*Рис. 17.3. Неудачный участок автомагистрали. Горизонтальный мост нарушает плавность дороги в плане и профиле*



При строительстве магистральных автомобильных дорог часто совершенно не считались с ландшафтом, сохранением красоты природы и с интересами жителей прилегающих населенных пунктов. Это было в значительной степени связано с развитием мощных средств механизации, которые позволили строителям, не считаясь с объемами работ, прокладывать дороги по прямым направлениям с малыми продольными уклонами, отказываясь от принятого ранее принципа проектирования по обертывающей проектной линии. Добиваясь сокращения пути и возможности развития высоких скоростей движения, дороги проектировали в высоких насыпях и глубоких выемках, не учитывая истинных транспортно-эксплуатационных качеств дорог и степени удобства для водителей и пассажиров, определяемой психологическим восприятием ими дорожных условий.

Примером подобного неудачного решения может служить спрямление одной из горных дорог в Грузии. На коротких участках были пересечены несколько горных вершин, в результате чего узкие скальные выемки глубиной до 36 м с крутыми откосами чередовались с насыпями высотой 24 м. Водители избегали пользоваться спрямленным участком, который казался им опасным и непривлекательным, и, несмотря на удлинение пути на 3 км, продолжали ездить по старой дороге, проложенной по склонам живописных холмов.

Непродуманное применение современных средств механизации без учета природных особенностей района строительства, динамических качеств транспортных средств и, особенно, психологии водителей предопределяет получение неудовлетворительных решений, дорогостоящих в последующей эксплуатации. Так, например, работа скреперов по постоянной, не меняющейся схеме, создает неудобное для движения обертывающее земляное полотно, часто с необеспеченной видимостью в продольном профиле. По этому поводу американский архитектор Мамфорд еще в 1959 году писал, что «...во многих районах страны строительство дорог имело примерно те же результаты для растительности и всего ранее созданного человеком, как проход урагана или взрыв атомной бомбы... С того момента, как инженер начинает смотреть на свою работу, как на нечто более важное, чем интересы людей, для которых он работает, он, не колеблясь, опустошает леса, уничтожает водотоки, парки, застроенные места, только для того, чтобы провести свою дорогу прямо к назначенной цели».

Анализ неудачных примеров сочетания элементов автомагистралей в плане и профиле позволил немецким инженерам (Г. Кестер, П. Лоренц и А. Зейферт) сформулировать в конце тридцатых годов некоторые общие принципы обеспечения плавности дороги и согласования ее с ландшафтом, которые в период после окончания второй мировой войны получили широкую проверку и развитие во многих странах, в первую очередь в Венгрии, Чехии, США, Англии и Германии.

В настоящее время за рубежом имеется значительное количество литературы по вопросам ландшафтного проектирования дорог. В технические условия почти всех стран включены специальные разделы о правилах плавного сочетания элементов дорог в плане и профиле. В США ежегодно проводится конкурс на дорогу, наилучшим образом сочетающуюся с ландшафтом.

В советской литературе опыт ландшафтного проектирования был впервые обобщен в 1947 г. в книге А. П. Алексеева, В. Ф. Бабкова и Н. Г. Сокольского «Новости дорожной техники», в которой была дана сводка правил обеспечения плавности трассы.

В нормативной литературе нашей страны общие принципы проектирования автомагистралей в увязке с ландшафтом были отражены впервые в 1950 г. В изданных Союздорпроектом «Общих правилах производства изысканий автомобильных дорог» указывается, что «конечной целью трассирования является достижение наиболее целесообразного пространственного расположения оси дороги. Трасса дороги должна гармонично сочетаться с формами рельефа. Ось дороги следует рассматривать как единую пространственную кривую, построение которой зависит от окружающего ландшафта, с которым план, продольный и поперечный профили дороги и ее внешний вид в целом должны быть тесно увязаны».

Почти те же общие рекомендации, без конкретных количественных нормативных указаний были повторены в СНиП II-Д.5-62, а позднее и в СНиП II-Д.5-72.

Для наиболее удачного сочетания с ландшафтом к проектированию автомобильных дорог высших категорий привлекают архитекторов-специалистов по ландшафтной архитектуре и декоративному озеленению.

В Англии в 1956 г. был создан специальный комитет по проектированию дорог в увязке с ландшафтом «Advisory Committee on the Landscape of Trunk Roads», приступивший к работе в связи со строительством первой английской автомагистрали Лондон-Бирмингем.

В СССР практическое внедрение принципов ландшафтного проектирования было начато в Латвийской ССР в 60-х годах, когда Латдоравтопроект начал осуществлять проектирование дорог в увязке с ландшафтом. Совместная работа инженеров-дорожников и архитекторов содействовала пропаганде идей ландшафтного проектирования среди широких кругов дорожников и осуществлению удачных проектов дорог.

Проектирование дороги должно основываться на сочетании принципов архитектурной композиции ландшафта, в котором дорога занимает определенное место, вписываясь в него или подчиняя его себе, и инженерного обоснования элементов плана и профиля дороги. Безопасность, удобство и экономичность грузовых и пассажирских перевозок при разумной стоимости строительных работ, являются решающими критериями при выборе общего направления дороги и размеров ее элементов. Эту работу должен выполнять инженер-дорожник, проводящий изыскания. Архитектор должен помогать ему при оценке возможных вариантов проложения дороги с точки зрения удовлетворения эстетическим требованиям, давать советы в отношении осуществления лучшей увязки дороги с ландшафтом и решать вопросы архитектурной композиции придорожной полосы методами декоративного озеленения и архитектуры малых форм (оформление дорожных знаков, автопавильонов, площадок отдыха и др.).

Красота форм дороги, как и любого другого инженерного сооружения, достигается гармоничным соотношением ее основных элементов между собой и со смежными частями придорожного ландшафта. Плавность трассы и ее рациональное сочетание с ландшафтом должны достигаться в процессе выполнения требований норм и технических условий на проектирование дорог. В зависимости от назначения каждой конкретной дороги соотношение роли инженерных и архитектурных факторов при выборе направления трассы не может оставаться постоянным.

Трассу туристской дороги в горном заповеднике можно выбирать почти исключительно из соображений раскрытия перед едущими сменяющих друг друга красивых видов. На такой дороге будут приятны неожиданность и частая смена впечатлений, оправдывающие удлинение дороги.

Направление подъездного пути для подвоза из карьера или шахты руды на обогатительную фабрику может быть обосновано преимущественно инженерными соображениями. Для водителей автомобилей-самосвалов изо дня в день совершающих перевозки по одному и тому же короткому маршруту на первое место выдвигаются такие его качества, как плавность и закономерность изменения геометрических элементов, позволяющие проехать весь маршрут без переключения передач.

Чем выше интенсивность движения по дороге и чем более населенной является местность, тем большую роль должны играть в оценке ее проекта эстетические критерии, рассматриваемые как равноправные с техническими.

Попытки улучшить средствами ландшафтной архитектуры, в первую очередь декоративным озеленением, дорогу с неудачно выбранной трассой обречены на неудачу и сводятся, как правило, к украшательству, справедливо отвергнутому в гражданском и промышленном строительстве.

*Ландшафтное проектирование дорог предусматривает полное понимание его целей и задач, как проектировщиками, так и строителями.*

Организация строительных работ, наряду с высоким качеством их выполнения, должна предусматривать сохранение хорошего вида придорожной полосы, а также проведение всех возможных мер для ее улучшения.

Ландшафтное проектирование дорог несколько усложняет проектные работы, требуя индивидуальной разработки поперечных профилей земляного полотна, определения элементов клотоидной трассы и построения перспективы сложных участков дороги. Однако, оценивая дополнительные затраты труда и времени проектировщиков, нельзя забывать о достигаемом снижении стоимости земляных работ, повышении безопасности движения и транспортно-эксплуатационных качеств дорог.

Строить хорошо и дешево можно только по глубоко и всесторонне продуманным и детально разработанным проектам. Торопливые и шаблонные решения приводят к неудачным

и опасным местам на дороге, причем за кажущуюся экономию на проектных работах длительное время расплачивается автомобильный транспорт.

Широкий спектр рекомендаций по ландшафтному проектированию автомобильных дорог, детально разработанных в 1970-1980 годах и вошедших в действующие в настоящее время СНиП 2.05.02-85, позволил конкретизировать параметры плана, продольного и поперечных профилей и их соотношения в численных значениях.

На сегодняшний день все новые автомобильные магистрали и дороги высоких категорий (I-III) проектируются и строятся с учетом принципов ландшафтного проектирования. Дороги низших категорий также, по возможности, гармонично вписывают в окружающий ландшафт. Массовое применение компьютерной техники и специально разработанных программ позволило проектировщикам быстро и детально прорабатывать варианты трассы автомобильных дорог.

Также применение новой строительной техники, материалов и новых проектных решений мостов, тоннелей и других инженерных сооружений позволяет сегодня более полно реализовывать принципы ландшафтного проектирования, ранее казавшиеся неосуществимыми.

## **17.2. Восприятие водителями дорожных условий и безопасность движения**

Безопасность и удобство движения автомобилей, а также возможность реализации современными автомобилями высоких скоростей движения требуют проложения плавной трассы дороги. Водитель часто непроизвольно для себя реагирует на все изменения дорожных условий соответствующими изменениями режима движения автомобиля. В большинстве случаев они сводятся к снижению скорости, как только дальнейшее направление дороги становится непонятным или элементы дороги начинают казаться менее благоприятными для движения.

Водитель видит поверхность расположенного впереди участка дороги под малым углом. Вследствие кажущегося укорочения дороги в перспективе он воспринимает ее повороты в плане искаженными. Кривые в плане, описанные по окружности, представляются ему эллипсами, длина кривых – уменьшенной, а крутизна поворота – возросшей. Короткая кривая между длинными прямыми кажется очень резким переломом в плане, а сравнительно пологие участки за длинными спусками – крутыми подъемами.

Все эти обстоятельства должны учитываться при трассировании таким образом, чтобы водитель всегда был правильно ориентирован в направлении дороги на расстоянии, достаточном для уверенного управления автомобилем. Общим требованием удобства и безопасности движения является обеспечение трассой дороги возможности движения с постоянной или плавно изменяющейся скоростью.

Следует различать *техническую и психологическую стороны обеспечения безопасности движения*. Первая исследуется уже много лет, что привело к созданию достаточно совершенных методов назначения элементов плана, продольного и поперечного профилей дороги. К *техническим способам* следует отнести все мероприятия, влияние которых сказывается независимо от зрительного восприятия дороги водителем, а также мероприятия, обеспечивающие устойчивость движения автомобилей и удовлетворение дорожной динамикой автомобиля. К их числу относятся назначение необходимых радиусов горизонтальных и вертикальных кривых, рациональная конструкция проезжей части на кривых, устройство ограждений и т. п.

*Критерии психологической безопасности* определяются воздействием на водителя дорожной обстановки. Ощущения безопасности, спокойствия и уверенности в ведении автомобиля неразрывно связаны с ясностью направления дороги и ее гармонией с окружающей придорожной полосой. Психологически безопасная дорога не ставит перед водителем неожиданностей, которые могли бы привести к растерянности в действиях или к выбору неправильной траектории движения. Характерно, что большинство мероприятий по ландшафтному проектированию – уположивание откосов земляного полотна, плавность и закономерность изменения элементов трассы, удовлетворяя требованиям эстетики, одновременно повышают безопасность движения.

*Если дорога рационально вписывается в ландшафт, направление ее ясно на большом расстоянии и при этом достигнута зрительная плавность, смена впечатлений и*



возможность не только для пассажиров, но и для водителей, любоваться красотой пейзажа, с которым естественно сочетается дорога, то можно считать, что удовлетворение эстетических требований способствовало одновременно и психологической безопасности.

Осмотр ландшафта водителем имеет в виду возможность для него оторвать на короткое время взгляд от поверхности дороги. Чем выше скорость движения, тем на меньший угол водитель может отвести взгляд в сторону, не подвергая опасности пассажиров и себя (рис. 17.4). Поэтому в поле зрения водителя попадают только те красивые виды, на которые направлена дорога.

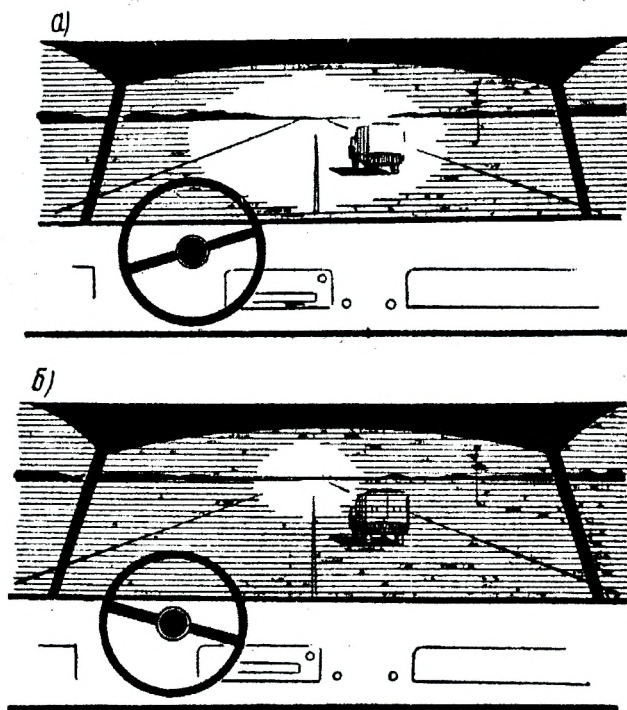


Рис. 17.4. Сосредоточение взгляда водителя на дороге: а – при малой скорости движения; б – при высокой скорости движения

Воздействие дорожной обстановки на водителя сказывается также в том, насколько быстро в течение рабочего дня снижается его внимательность и нарастает утомление. Меняющееся зрительное впечатление от дороги и придорожной полосы может снизить эффект утомления. Интересные придорожные виды, плавность и красота форм самой дороги и инженерных сооружений, заинтересовывая водителя или пассажиров, создают спокойную и приятную обстановку транспортно-производственного процесса.

Многочисленность проездов по красивым участкам дорог не снижает их эмоционального воздействия на водителей рейсовых автомобилей. Меняющиеся в течение года краски природы достаточно разнообразят хорошо известные пейзажи, позволяя открывать в них все новые черты и элементы.

Безопасность и удобство движения по дороге связаны с объемом получаемой водителем «информации» об окружающей его обстановке.

Водитель автомобиля, воспринимая в процессе движения по дороге зрением, слухом (шум колес), мускульными реакциями (тряску), вестибулярным аппаратом (ускорения) дорожные условия – ситуацию придорожной полосы и обстановку на дороге, стремится установить такой режим движения, который позволяет без чрезмерного напряжения учитывать все внешние факторы, от которых зависят безопасность и удобство. В каждый момент времени водитель сосредоточивает свое внимание только на каком-либо одном факторе, воспринимая при этом в общих чертах еще некоторые другие. Так, например, внимательно следя за маневрами идущего впереди автомобиля, который собирается осуществить обгон или поворот, водитель ориентируется одновременно относительно края проезжей части и ощущает тряску при переезде через неровности на покрытии. Однако основным источником информации водителя остается зрение.

Процесс восприятия водителем обстановки движения очень сложен. Известно, что восприятие человеком того или иного объекта или процесса складывается из ряда этапов – грубого различения общих контуров и пропорций, уточнения формы, последовательного распознавания отдельных деталей, начиная от крупных, и окончательное полное восприятие. Взгляд водителя перебрасывается на следующий объект наблюдения после того, как он осознает степень влияния этого объекта на условия движения.

Водитель избирает объекты наблюдения таким образом, чтобы оценивать все факторы, определяющие возможный режим движения по дороге. Продолжительность разглядывания объектов, находящихся на придорожной полосе, в момент подготовки к обгону велосипедиста бывает много меньше, чем необходимо для получения сколько-нибудь детального представления об этом предмете. Наоборот, на пустынной дороге при отсутствии встречных и попутных автомобилей водитель заполняет свое время детальным осмотром предметов, заведомо не влияющих на условия движения.

Поэтому попытки оценить влияние дорожных условий на поведение водителей могут дать лишь приближенное представление об условиях их работы, поскольку время, уделяемое им на каждый из них, может меняться в широких пределах.

Для восприятия и оценки в необходимой степени каждого фактора, влияющего на движение, и проведения в случае необходимости того или иного маневра водителю необходимо определенное время – «продолжительность реакции». Можно считать, что для каждого водителя существует некоторое оптимальное количество воспринимаемой информации о дорожных условиях, при котором он уверенно управляет автомобилем, мало утомляясь и обеспечивая при этом наибольшую безопасность движения.

При большой частоте смены факторов («избыточное количество информации») часть из них остается неосознанной в полной мере и может явиться причиной дорожно-транспортных происшествий, особенно, когда водитель вынужден двигаться по дороге в колонне автомобилей с общей скоростью более высокой, чем соответствующая его индивидуальным особенностям и квалификации. Водители стремятся реагировать на чрезмерное количество факторов соответствующим снижением скорости, что возможно только в условиях движения одиночных автомобилей, не находящихся в составе транспортного потока.

Наоборот, малая частота факторов и явлений и отсутствие раздражителей внимания, на которых нужно сосредоточиваться («недогрузка» информацией), приводит к необоснованному повышению скорости или к притуплению внимания, увеличению продолжительности реакции, повышенной утомляемости, дремоте и даже сну водителей. С точки зрения физиологии под влиянием качки автомобиля на рессорах, неподвижного положения тела, сосредоточения взгляда на набегающей серой ленте дорожного покрытия у водителя самопроизвольно возникает «заторможенное» состояние высшей нервной деятельности. Оно не связано непосредственно с усталостью от длительного управления автомобилем или с недостаточным сном накануне рейса, хотя эти факторы и создают условия для быстрейшего наступления указанного состояния.

В зарубежной литературе для такого состояния возникли специальные термины: *Einschlafen*, *Ermudung* – в немецкой, *Wheel fatigue*, *Road fatigue*, *Highway hypnosis* – в английской и американской, *Engour-dissement de Fusager* – во французской, *Sonnolenza*, *Ipnosi* – в итальянской. Характерно, что эти термины (засыпание, утомление, усталость, гипноз, оцепенение) в переводе не идентичны, что, видимо, отражает господствующие в разных странах взгляды на причину явления.

Дремотное состояние часто возникает на дорогах, проложенных в условиях однообразного степного ландшафта длинными прямыми, протяжение которых в некоторых случаях достигает десятков километров.

Так, например, в Германии на автомагистрали Ульм – Карлсруэ, у которой коэффициент развития трассы достигает 1,18, а длина кривых – 60% общего протяжения, количество дорожных происшествий составило 32,5 на 100 млн. автомобиле-километров пробега. На почти прямолинейном продолжении этой дороги Карлсруэ – Маннхейм, где 80% протяжения составляют прямые участки, а коэффициент развития трассы равен всего лишь 1,04, количество происшествий достигало 88,2, т. е. почти в три раза больше, хотя условия движения, казалось бы, были гораздо более легкими. На первом участке дороги каждая кривая привлекала к себе внимание водителя, требовала его сосредоточения на выполнении операции поворота. На втором участке такие раздражители внимания отсутствовали.



Для повышения безопасности движения на однообразных участках дорог целесообразны специальные приемы повышения внимательности водителей, легче всего осуществимые в виде посадок на придорожной полосе групп деревьев, различающихся по конфигурации и окраске листвы. Включение в посадки хвойных деревьев в известной мере сохраняло бы эффект разнообразия и на зимний период.

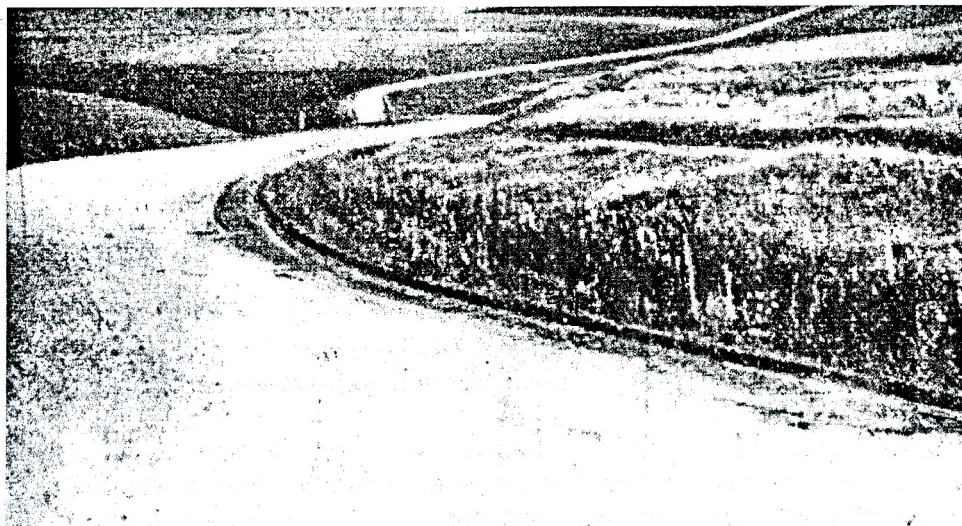
В отдельных случаях зрительные способы могут оказаться недостаточными для сосредоточения внимания водителей. Неоднократно высказывались предложения устраивать в местах, требующих повышенной внимательности водителей, например перед железнодорожными переездами, «трясущие полосы», осуществляемые в виде полос шероховатой поверхностной обработки.

Сказанное выше свидетельствует о том, что реализация на дороге высоких, но безопасных для движения скоростей не может быть достигнута только одними техническими мероприятиями. Существенное повышение производительности автомобильного транспорта и облегчение труда водителей могут быть достигнуты в результате придания трассе дороги комплексной оптической, эстетической и психологической ясности – осуществления мероприятий, непосредственно связанных с вопросами *технической эстетики*.

Оптически совершенной является трасса дороги, на которой неизбежные перспективные искажения не будут влиять на режимы движения, благодаря рационально подобранным элементам дороги.

*С эстетической точки зрения трассу можно назвать удовлетворительной, если она гармонически сочетается с местностью, раскрывает перед едущими красоту и разнообразие ландшафта и благотворно влияет на формирование настроения водителя и пассажиров.*

*Психологически правильной может считаться только трасса дороги, не содержащая неожиданностей для водителя и заблаговременно подсказывающая ему изменения направления движения. Трудно ожидать, что движение по дороге, показанной на рис. 17.5, будет удобным и приятным для водителя.*



*Рис. 17.5. Дорога, дальнейшее направление которой непонятно водителю*

Удовлетворение всех этих требований в процессе изысканий и проектирования дороги, как правило, не вызывает сколько-нибудь существенных дополнительных затрат, но позволяет добиться улучшения транспортно-эксплуатационных качеств дороги.

Сочетающаяся с ландшафтом дорога открывает перед водителями все новые и новые живописные виды, более привлекательна и безопасна для движения, чем дорога, проложенная без учета ландшафтных требований и особенностей психологического воздействия окружающей обстановки на водителей. Смена впечатлений поддерживает внимательность водителя, что становится особенно важным в настоящее время, так как современный автомобиль требует при управлении малых физических усилий, работа его двигателя стабильна, а на магистральных дорогах мало мест, которые нуждались бы в повышенном внимании водителя.

### 17.3. Оптическое трассирование дорог

При движении взгляд водителя скользит по поверхности дороги, как бы следуя направляющим его ориентирам, которыми являются хорошо различимые линии, параллельные пути движения: краевые полосы или кромки покрытия, разделительные линии, осевой шов бетонных покрытий, линии канав и придорожных насаждений. Из практики известно, что если при плохой видимости ночью, в дождь, туман или снегопад эти ориентиры становятся мало заметными, условия движения резко ухудшаются. Теряя ориентировку, водитель вынужден или снижать скорость, или продолжать движение с повышенной опасностью дорожных происшествий.

Чем выше скорость, тем сложнее управление автомобилем, тем на большем расстоянии должен видеть перед собой дорогу водитель и тем меньший угол пространства охватывает он взглядом (см. рис. 17.4, табл. 17.1).

Таблица 17.1. Изменение дальности взгляда и угла охвата зрением в зависимости от скорости

Скорость, км/ч	Дальность взгляда, м	Угол, охватываемый взглядом, град.
0	–	до 180
40	180	100
100	640	38
120	840	33
150	920	30

Условия видимости поверхности дороги ухудшаются с ростом скорости. По мере удаления рассматриваемого объекта луч зрения водителя падает на поверхность покрытия под все меньшим углом в вертикальной плоскости. Поэтому влияние искажения вида дороги в перспективе в большей степени сказывается на условиях движения быстроходных автомобилей.

Для безопасности и уверенности управления необходимо обеспечить водителей дополнительной информацией о дороге. С этой целью для взгляда водителей создают *систему опорных точек*, ориентирующих в направлении дороги на большом расстоянии. Это расстояние должно быть тем большим, чем выше расчетная скорость движения на дороге.

Естественно, что такие опорные точки должны быть видны лучше, чем поверхность дороги. Большой угол их видимости достигается благодаря возвышению ориентиров над поверхностью дороги. Положение проезжей части дороги в плане указывается водителю при помощи окаймляющих ее вертикальных предметов. Этот метод применим и в случаях, когда сама проезжая часть неотличима от обочин, например, ночью или зимой. Видимость поверхности, предназначенной для движения автомобиля, как бы заменяется выявлением зоны пространства, в которой движется автомобиль.

**На практике реализация идеи оптического трассирования сводится к обозначению боковых границ дороги при помощи видимых издалека предметов – откосов земляного полотна, направляющих столбиков, ограждений бордюрного типа, растительных групп.**

Такой метод проложения трассы называется «оптическим трассированием» (нем. Optische Führung) или «направлением взгляда водителя». **Основная цель оптического трассирования** состоит в том, чтобы заблаговременно оповестить водителей в местах поворотов и ограничения видимости о дальнейшем направлении дороги и обеспечить уверенность действий и психологический комфорт водителя.

Чем больше ориентирование связано со всей совокупностью окружающего водителя пространства, тем легче и естественнее протекает процесс управления автомобилем. Ощущение ограниченного с боков пространства облегчает водителю ориентирование. В сознании создается «оптический коридор», который позволяет водителю ненапряженно и почти автоматически выполнять операции по управлению автомобилем – повороты рулевого колеса, переключения передач, разгон или торможение.

Положительная роль средств оптического трассирования, сосредоточивающих на себе взгляды водителей, подтверждается результатами проведенных в Японии интересных опытов по установлению продолжительности фиксирования водителем взгляда на разных элементах дороги и придорожной полосы. Так, после 10 секунд разглядывания участка дороги водитель стоящего автомобиля замечал, что точки, на которых был сосредоточен его взгляд, образовали систему линий оптического направления движения.



Средства оптического ориентирования водителя не должны быть расположены слишком близко от края проезжей части, иначе они повысят опасность дорожных происшествий и вызовут снижение скорости. Наблюдения за влиянием предметов, расположенных на обочинах, на траекторию движения автомобилей, позволяют сделать вывод, что удаление боковых ориентиров от края проезжей части должно быть не менее 2,5-2,7 м.

Наибольший эффект достигается, когда средства оптического трассирования сконцентрированы в местах, где их воздействие на водителя должно быть особенно сильным. **Средствами оптического трассирования являются: земляное полотно дороги; указательные столбики; растительность; ориентирование дороги на отдаленные возвышающиеся предметы; окраска дорожных сооружений.**

**Земляное полотно дороги.** При совпадении кривых в плане с выпуклыми вертикальными кривыми, когда начало кривой в плане расположено за переломом профиля, у водителя создается неправильное представление о дальнейшем направлении движения по прямой (рис. 17.6а). Немецкие инженеры образно называют такие участки дорог «трамплином в ничто» («Sprungbrett im Nichts»).

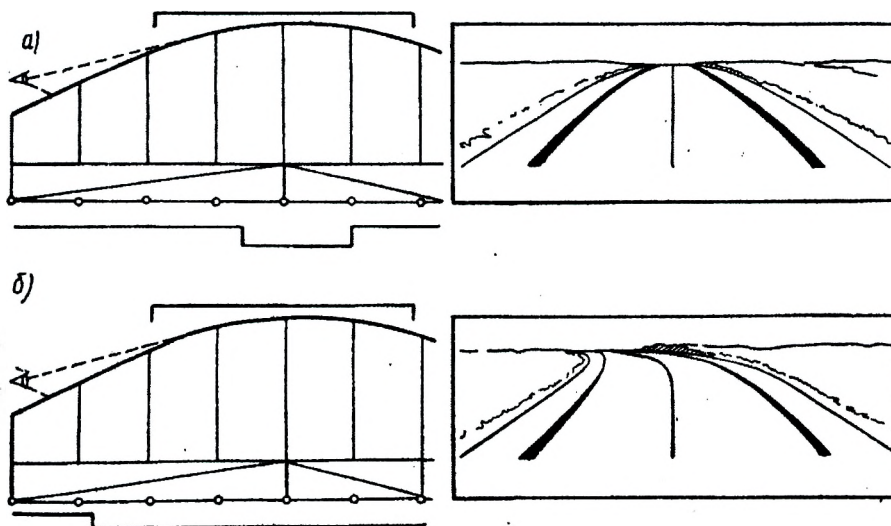


Рис. 17.6. Совпадение кривых в плане с выпуклыми вертикальными кривыми

Ясность в направлении дороги может быть достигнута увеличением радиуса кривой в плане или смещением ее вершины таким образом, чтобы начало кривой располагалось до перелома продольного профиля (рис. 17.6б). Водитель узнает об изменении направления дороги за переломом по заметному ему издали началу криволинейного участка. Для этого отклонение видимого участка кривой от первоначального направления дороги должно быть достаточно хорошо различимым. Опыт проектирования показывает, что для оптической ясности и плавности, угол видимого поворота дороги не должен быть менее  $2^\circ$ , а предпочтительнее  $3^\circ$ .

Если за переломом продольного профиля расположены обратные S-образные кривые, указанное мероприятие недостаточно для ориентирования водителей. Для обозначения направления второй кривой должны быть осуществлены дополнительные меры. Однако наиболее рациональное решение – удаление начала второй кривой от перелома профиля на расстояние видимости.

*Направляющее действие проезжей части особенно сильно проявляется при устройстве краевых полос и нанесении на покрытие осевых и краевых разграничительных линий со световозвращающим эффектом.* Отличаясь по цвету от основного покрытия, эти линии оказывают очень эффективное направляющее действие в пределах зоны непосредственной видимости, образуя своеобразные «рельсы», по которым скользит взгляд водителя.

Особенно значителен эффект направляющих полос ночью и в условиях недостаточной видимости при тумане. При правильном нанесении разграничительные линии четкостью и плавностью своих очертаний способствуют улучшению эстетических качеств дороги. Однако в климатических условиях Беларуси эффективность краевых полос и разграничительных линий на покрытии существенно снижается в зимние месяцы при несвоевременной очистке покрытия от снега.

**Указательные столбики, боковые ограждения барьерного типа.** Установленные на обочине указательные столбики и ограждения барьерного типа, сближаясь в перспективе, создают цепь опорных точек, скользая по которым взгляд водителей оценивает общее направление дороги (рис. 17.7).



Рис. 17.7. Направляющее действие ограждений барьерного типа

Особенно полезны такие ограждения в ночное время при свете фар, так как они снабжены световозвращающими элементами, цвет и форма которых различны на разных сторонах дороги (обычно два круглых слева и вытянутый вверх прямоугольный справа).

Действие направляющих столбиков распространяется на меньшее расстояние, чем других средств оптического трассирования, но весьма эффективно. Однако при частой установке на большом протяжении направляющие столбики начинают утомлять водителей своей монотонностью, и положительный эффект теряется. Поэтому их целесообразнее концентрировать в наиболее опасных местах дороги. На прямых участках достаточно ставить отдельные столбики на расстоянии, не менее 50 м, а в местах распространения сильных туманов – 25 м друг от друга.

На кривых направляющие столбики ставят тем чаще, чем меньше радиус кривой:

Радиус, м	700-500	500-300	300-200	200-100	<100
Расстояние между столбиками, м	33,3	25	20	16,7	10

**Растительность.** Не следует думать, что для ориентирования водителей обязательно требуется посадка густых рядов деревьев и кустарников, как бы создающих своеобразный сплошной путь для взгляда.

Способность глаза запечатлевать и обобщать впечатления позволяет сделать направление пути ясным при помощи посадки отдельных групп деревьев, создающих для взгляда опорные точки. Этому существенно способствует сокращение расстояния между предметами в перспективе, благодаря которому расположенные на расстоянии друг от друга предметы почти сливаются.

Возвышающиеся вершины деревьев во всех случаях хорошо видны издали и, привлекая к себе внимание водителей, сигнализируют им о дальнейшем направлении дороги. Особенно они эффективны, когда изменения направления дороги закрыты от водителя переломами продольного профиля. Поэтому поворот за переломом профиля бывает хорошо заметен водителю по положению крон деревьев (рис. 17.8а). Ряды деревьев с внешней стороны кривых удачно подчеркивают повороты дороги.

Насаждения аллеяного типа на выпуклых переломах продольного профиля, образуя своеобразные ворота, свидетельствуют о том, что дорога продолжает идти прямо.

На Т-образных примыканиях к дорогам более высокой категории посадка группы деревьев по оси второстепенной дороги издали указывает на место примыкания и заставляет водителей готовиться к маневру и более интенсивно снижать скорость, чем знак «Главная дорога» (рис. 17.8б).



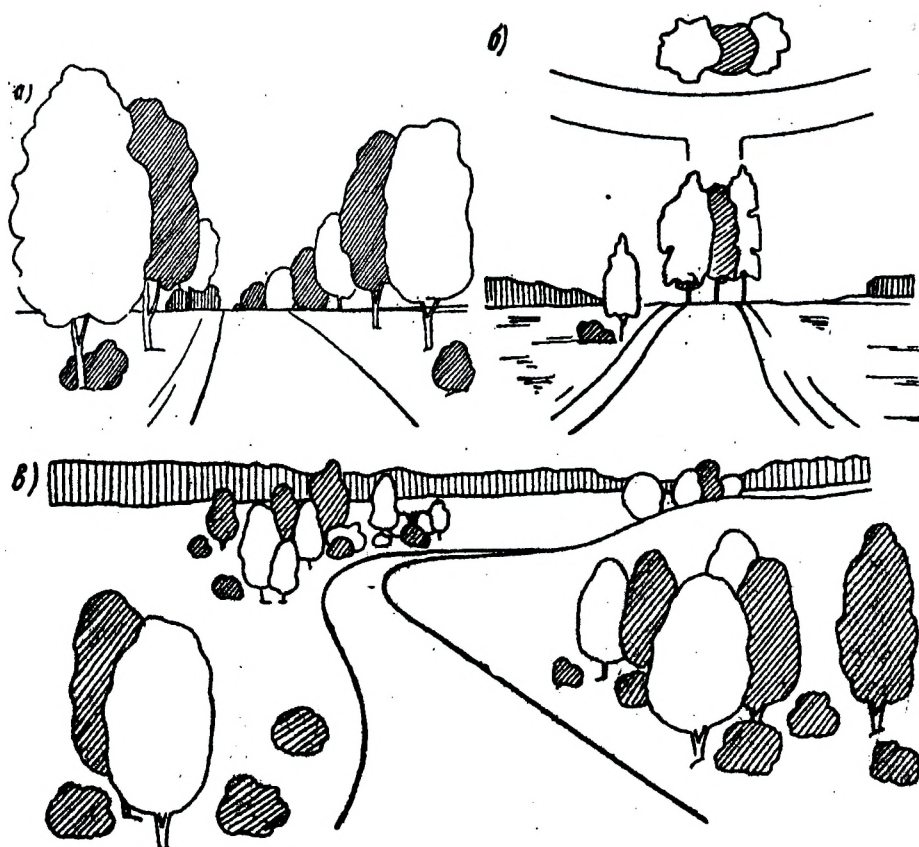


Рис. 17.8. Обозначение направления дороги вершинами деревьев

Группы деревьев около пересечений также сигнализируют о местах возможного выезда транспортных средств с примыкающих дорог на автомагистрали. Кроме того, наличие около дороги групп высоких деревьев позволяет водителям лучше оценивать расстояния и скорости движения.

При извилистости дороги в плане средства оптического трассирования располагают с интервалами, чтобы тщательное вырисовывание одного поворота не мешало характеристике дороги на большом участке (рис. 17.8в).

*Направляющие растительные группы не должны быть монотонными.* С этой точки зрения аллеи насаждения, казалось бы, наиболее идеально направляющие потоки автомобилей, не могут быть оценены положительно, так как своим однообразием увеличивают усталость водителей, а при близком расположении от дороги способствуют повышению аварийности.

Деревья и кустарники для посадки выбирают с учетом наиболее распространенной растительности в ландшафте. Оптическое трассирование наиболее совершенно, когда его действие проявляется ненавязчиво, почти незаметно для водителя.

*Растительные посадки особенно эффективны как средство оптического трассирования при реконструкции дорог.* Так, например, посадками может быть очень успешно показано направление новой дороги на обходе населенного пункта, которая ответвляется в сторону от ранее существовавшей дороги.

**Ориентирование дороги на отдаленные возвышающиеся предметы.** В условиях интенсивного движения водитель не может рассматривать ландшафт сбоку от дороги. Он может только окинуть взглядом расположенные впереди прямо перед ним крупные объекты – горы, опушку леса, крупные сооружения.

При движении по криволинейной трассе дальние планы ландшафта перемещаются поперек направления движения автомобиля, что позволяет водителю наблюдать смену пейзажей, не подвергая опасности аварии пассажиров и себя.

В однообразной открытой местности появляющийся на горизонте контур ориентира, вначале трудно различимый, заинтересовывает водителя и, сосредоточивая на себе его внимание устраняет усыпляющее влияние однообразия придорожной обстановки (рис. 17.9).

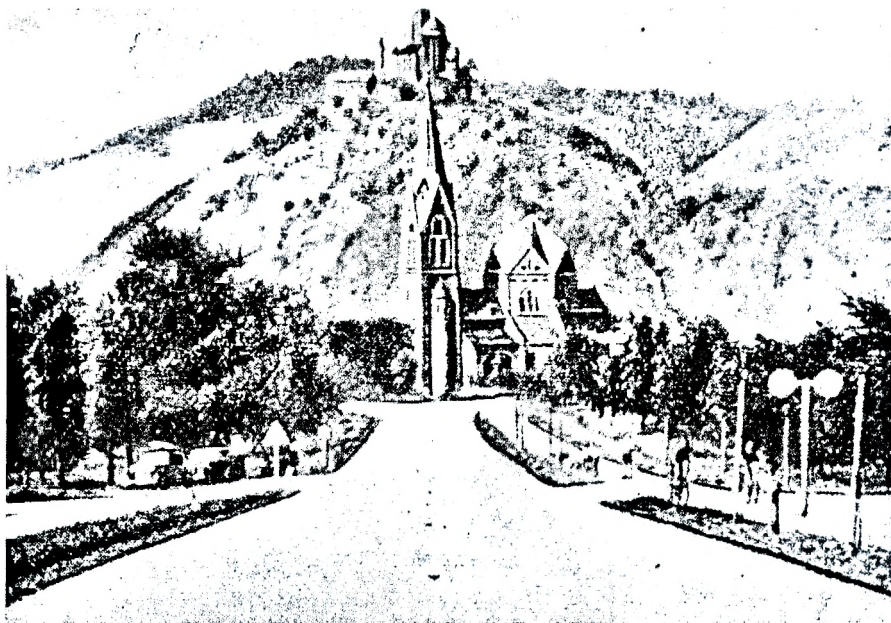


Рис. 17.9. Дорога, направленная на два возвышающиеся сооружения. Издалека видно дальнее, расположенное на горе. Вблизи доминирующее влияние оказывает нижнее, свидетельствующее о повороте дороги

Для обозначения мест примыканий и пересечений иногда устанавливают индивидуальные дорожные знаки (абстрактные скульптуры), издалека сигнализирующие о приближении к населенным пунктам. На рис.17.10 показан железобетонный знак высотой 22 м, воздвигнутый по проекту скульптора Мозшаля у городской черты Брюсселя на дороге в Остенде.

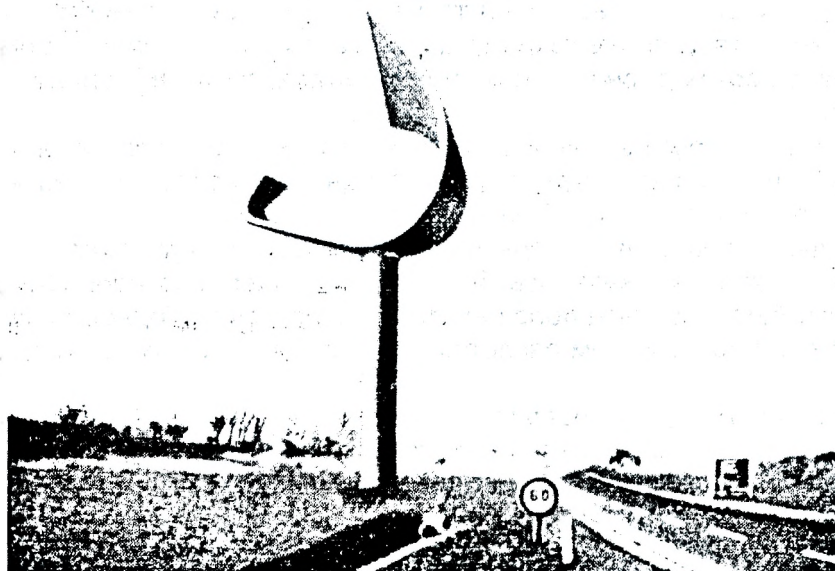


Рис. 17.10. Железобетонный знак на границе Брюсселя

Действие ориентиров особенно сильно проявляется на дороге, плохо знакомой водителю. Чем ниже интенсивность движения по дороге, тем значительнее роль ориентиров. При высокой интенсивности движения обстановка на дороге, заставляя водителей сосредоточиться, устраняет возможность опасного снижения их внимательности.

**Окраска дорожных сооружений.** Для оптического трассирования большой интерес представляет использование окраски дорожных сооружений: Разница в цвете элементов и сооружений способствует более четкому выявлению их функционального назначения.

Для достижения большей контрастности и лучшего выполнения краевыми полосами «направляющих функций» при строительстве бетонных покрытий в Германии применяют подкрашивание цементобетона введением небольшого количества темных красителей (от



0,25 до 1,00% от веса цемента). Этим достигается большая контрастность между серо-зеленоватой поверхностью основного покрытия и белым бетоном краевых полос. Для выделения вспомогательных переходных полос и съездов на пересечениях в разных уровнях на автомагистралях Германии применяются покрытия из брусчатки и мозаики. В США в обычно желтые покрытия укладывают на полосах движения, выделенных для левых поворотов, коричневые – на подходах к пересечениям и сложным развязкам. На рис. 17.11 показан пример возможного цветового оформления пересечения в разных уровнях.

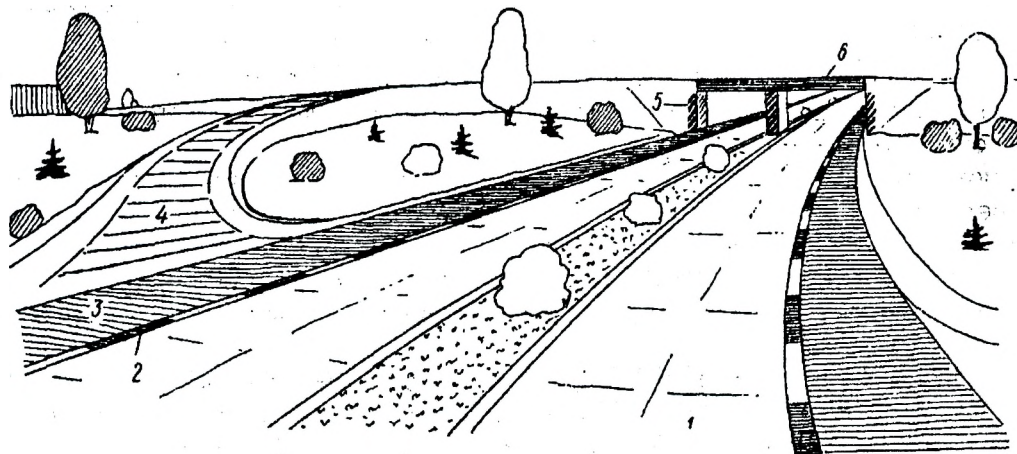


Рис. 17.11. Схема цветового оформления пересечений в разных уровнях: 1 – серое цементобетонное покрытие; 2 – краевая полоса из темного и белого бетона; 3 – асфальтобетонная переходно-скоростная полоса; 4 – левоповоротная полоса из мозаики; 5 – окраска опор моста черными полосами; 6 – окраска балки красными полосами

Разумное применение цвета без удорожания строительства может помочь ориентированию водителей при нестандартной схеме пересечения. Этому будет способствовать устройство участков проезжей части в районе транспортной развязки из различных материалов или хотя бы устройство на них краевых и осевых полос разных цветов. Применение предупредительных тонов в окраске конструкции моста, например окраска опор косыми черными полосами и красный цвет балки будут способствовать безопасности, привлекая внимание водителей при перевозке негабаритных грузов.

Правильно сочетая окраску плоскостей портала тоннеля густой черной краской и белым цветом стен самого тоннеля с постепенно изменяющейся интенсивностью искусственного освещения, японским строителям автомагистрали Кобе – Нагоя удалось полностью устранить так называемый эффект «светового порога» – потери видимости водителями, вызывавшей заметное снижение скорости при въезде с освещенной солнцем дороги в темный тоннель.

#### 17.4. Согласование элементов трассы с ландшафтом

Из всего многообразия факторов, входящих в современное понятие ландшафта, с точки зрения проектирования дорог решающими являются препятствия, природные или возникшие в результате деятельности человека, между которыми должна быть проложена трасса дороги. К ним относятся непосредственно видимые элементы рельефа местности, водные и заболоченные поверхности, лесные массивы и сельскохозяйственные угодья, линии электропередач, строения и промышленные предприятия. Должны учитываться также участки неустойчивых геологических напластований, например карстов и погребенных льдов.

Такие факторы, как виды растительного покрова и животный мир, применительно к выбору трассы дороги практически перестают иметь сколько-нибудь существенное значение. Растительность воспринимается уже не как один из основных классификационных признаков, а лишь как высотное препятствие, осложняющее трассирование.

Таким образом, под **дорожным ландшафтом** подразумевают типические, регулярно чередующиеся и влияющие на принципы проложения трассы дороги сочетания и группировки элементов рельефа местности, растительности, водных и заболоченных поверхностей, а

также возникшие в результате деятельности человека сельскохозяйственные угодья, лесные и горные выработки, жилые здания и промышленные предприятия.

С каждым годом возрастает роль человека в формировании новых, так называемых *культурных ландшафтов*. Строительство гидротехнических сооружений или проведение ирригационных и мелиоративных работ, устройство в сельскохозяйственных целях террас на горных склонах или закрепление оврагов меняют облик ландшафта. Поэтому, оценивая особенности ландшафта, проектировщик должен предвидеть его последующие изменения в процессе развития и освоения местности. Необходимо учитывать влияние самих дорожных работ на прилегающую местность в результате изменения водного режима придорожной полосы. Насыпь, возведенная на торфянике, прерывая просачивание воды, может вызвать интенсивное заболачивание. Дорога, проложенная у подножья склонов, может вызвать возникновение оползней или активизацию осыпей.

Классификация ландшафтов в дорожных целях должна опираться на те однородные элементы рельефа и ситуации, которые образуют типичные повторяющиеся группировки и определяют принципы проложения трассы. В разных условиях наиболее характерными с этой точки зрения частями ландшафта могут явиться как объемные элементы – формы рельефа, лесные массивы, так и открытые пространства – поля и степи, водные поверхности и др.

Ограничение количества факторов, характеризующих ландшафты в дорожном отношении, позволяет выделить из них типичные, которые могут встречаться в разных географических условиях. Это обстоятельство придает большую общность описываемым далее приемам трассирования.

В первом приближении можно выделить *следующие характерные ландшафты*, отличающиеся по принципам трассирования автомобильных дорог:

**1. Равнинные** – степной; заболоченных низменностей; лесисто-болотистый;

**2. Холмистые** – пересеченная лесостепь; сильно холмистый, моренный; ландшафт речных долин;

**3. Горные** – предгорья, морские побережья; долины горных рек; высокогорные перевальные участки.

**Согласование дороги с ландшафтом основывается на закономерностях сочетаний элементов ландшафта и исходит из следующих принципов:**

- 1) трасса дороги должна соответствовать изменению общего ритма взаимного расположения элементов рельефа – их *сглаживанию*;
- 2) трасса в пространстве должна представлять плавную линию с отсутствием резких изгибов и переломов, нарушающих ее общий ритм – *пространственная плавность*;
- 3) трасса должна состоять из сочетания прямых, круговых и переходных кривых с закономерно изменяющейся кривизной или быть кривой непрерывно изменяющейся кривизны, участки которой описываются уравнениями полиномов («сплайн-трасса»);
- 4) при следовании вдоль водотоков или по берегу больших водоемов трассу удаляют примерно на одинаковое расстояние от водного зеркала, пересекая узкие заливы мостами или насыпями с водопропускными трубами;
- 5) осью ландшафта, в непосредственной близости к которой прокладывается дорога, могут быть существующие инженерные сооружения – ирригационные и судоходные каналы, железные дороги, линии электропередачи и др.

*Идея согласования дороги с ландшафтом* не означает полного ее подчинения формам рельефа или элементам ситуации. В каждом ландшафте есть основные, характеризующие его элементы, на которые и следует ориентироваться при проложении дороги. Дорога должна следовать *крупным формам ландшафта*, не считаясь с множеством малых и мельчайших складок местности или извилин опушки леса.

*Степень согласования дороги и ландшафта определяется значением дороги.* Чем выше категория дороги, тем более строгие требования к согласованию должны быть предъявлены. В отдельных случаях, например в курортных районах и в заповедниках, проложение дороги может быть полностью подчинено задаче раскрытия перед едущими красивых видов и специального размещения для этой цели смотровых площадок.

В число многочисленных задач дорожного озеленения входит и *использование растительных посадок* как средства согласования дороги с ландшафтом, которые позволяют:

1) *закрыть вид с дороги на некрасивые или неудачные места придорожного ландшафта* или сооружения самой дороги – выработанные придорожные карьеры, обнаженные откосы выемок на покрытых растительностью склонах холмов, насыпи пересекающих дорогу путепроводов, складские территории вблизи границы полосы отвода и др.;

2) *устранить монотонный и однообразный вид длинных прямых участков* в лесных районах путем посадки декоративных групп деревьев и расчистки границ просек;

3) *создать* в однообразной степной местности на придорожной полосе *отдельные декоративные группы*, привлекающие и активизирующие внимание водителя;

4) *создать зрительные ориентиры* в виде «барьерных» посадок, подсказывающих водителю предстоящее резкое изменение направления дороги и крутизну поворота, «обозначающих» посадок, указывающих места примыкания дорог и т.д.

### 17.5. Цели, задачи и основные принципы ландшафтного проектирования

**Ландшафтным проектированием** называют проложение дорог на местности, обеспечивающее плавность сопряжения между собой элементов трассы и гармоничное сочетание дороги с окружающим ландшафтом. При этом к элементам дорожного ландшафта относят:

- 1) формы рельефа местности;
- 2) растительный покров;
- 3) водные и заболоченные поверхности;
- 4) возникшие в результате деятельности человека сельскохозяйственные угодья;
- 5) лесные разработки и горные выработки;
- 6) населенные пункты и промышленные предприятия.

**Цель ландшафтного проектирования** – создание трассы, которая обеспечивает высокие транспортно-эксплуатационные качества дороги, удобство и безопасность движения, не утомительна для водителей и пассажиров, способствует сохранению цельности и живописности ландшафта.

Деятельность человека может как улучшать и дополнять ландшафт, так и ухудшать его, нарушая его гармоничные формы несоответствием с ними строящихся сооружений. Дорога, проложенная без учета плавных форм рельефа, своими геометрически правильными очертаниями, искусственно и грубо расчленяет ландшафт, выглядит как чужеродное тело.

Примерами несогласованного с элементами ландшафта проложения трассы являются длинные участки с постоянным уклоном продольного профиля, прорезающие мелкими выемками отроги холмов, или участки дороги, пересекающие лесные массивы длинной прямой просекой.

Несмотря на то, что проектировщик имеет ограниченные возможности сколько-нибудь коренного переустройства ландшафта, правильно запроектированная дорога может улучшить и разнообразить ландшафт, если она вносит в него новые элементы, гармонирующие с существующими, создавая в нем дополнительное членение. Примером могут служить красивые мостовые переходы тальвегов. В однообразные степные районы дорога может внести оживление насаждениями и устройством придорожных водоемов, озелененных по берегам.

Проектирование дорог в тщательной увязке с ландшафтом (ландшафтное проектирование дорог) включает в себя несколько совместно **решаемых задач**:

1) плавное сочетание между собой элементов трассы для обеспечения удобства и безопасности движения автомобилей с высокими скоростями;

2) ясность в направлении дороги на достаточно больших расстояниях, чтобы при движении водитель не мог встретиться с неожиданными для себя дорожными условиями и чтобы видимые участки дороги и придорожной полосы заблаговременно сигнализировали ему о последующем изменении направления;

3) отсутствие оптических искажений отдельных участков в перспективе, обычно воспринимаемые водителем как необоснованно крутые изломы трассы;



4) плавное вписывание дороги и всех ее элементов в ландшафт местности в целях лучшего раскрытия перед едущими красоты природы – предотвращение нарушений дорогой закономерностей природного ландшафта;

5) дополнение и улучшение природного ландшафта в пределах полосы, обзриваемой с дороги, посадками деревьев и кустарников, планировочными и осушительными работами, созданием водоемов, раскрытием или маскировкой его отдельных участков, оборудование мест для стоянки, обзора или отдыха; принятие мер против порчи придорожной полосы в процессе службы дороги;

6) сохранение исторических и культурных памятников, ценных сельскохозяйственных угодий, сведение к минимуму вредного воздействия дороги на окружающую среду.

Практика показывает, что при удачном решении указанных задач обычно достигается снижение стоимости строительства в связи с уменьшением объемов земляных работ.

*Первые три пункта* направлены на обеспечение плавности и психологической ясности дороги для водителя. Комплекс их требований может быть назван **внутренней гармоничностью трассы**. При решении вопросов внутренней гармоничности трасса рассматривается изолированно от окружающей обстановки, как своеобразная полоса в пространстве. Это дает принципиальную возможность сформулировать математические закономерности рациональных сочетаний ее элементов при изменении направления.

Последние три пункта преследуют цель согласования дороги и придорожной полосы, без которого также не может быть получена дорога с высокими транспортно-эксплуатационными характеристиками (**внешняя гармоничность трассы**).

Согласование дороги с ландшафтом должно основываться на внутренних закономерностях сочетания элементов ландшафтов и их соотношения с размерами сооружений самой дороги. *В обоих случаях при согласовании элементов самой дороги и дороги с ландшафтом гармония заключается в рациональном соотношении элементов, их согласованности, общей цельности создаваемого впечатления.*

Основой для установления закономерностей ландшафта должен являться геоморфологический анализ, позволяющий выявить основную структуру рельефа и выделить главные и второстепенные его элементы.

Рассмотрим, например, холмистый рельеф сыпучих песков. Наблюдателю с близкого расстояния он часто кажется случайным и лишенным какой-либо закономерности. Однако аэрофотоснимки показывают, что он может быть сведен в ряд групп (одиночные барханы, барханные цепи, грядовые пески), по отношению к которым практика строительства дорог выработала оправдавшие себя вполне определенные методы трассирования.

*Согласование дороги с ландшафтом ни в коем случае не должно противопоставляться обеспечению транспортно-эксплуатационных качеств дороги.* Ландшафтное проектирование, становящееся самоцелью, бесполезно и бессмысленно.

Согласование дороги с ландшафтом для проектировщика всегда связано с известными психологическими трудностями. Задача современного транспорта – осуществление перевозок в кратчайшие сроки, как бы предопределяет движение по кратчайшему направлению. Пути для скоростных сообщений – автомобильные и железные дороги, трассы воздушных и морских сообщений всегда мыслятся как прямые, а при большом протяжении – как дуги окружностей поверхности земного шара или геодезические линии, соединяющие начальные и конечные точки маршрута. Отклонения от этих направлений при строительстве дорог всегда кажутся вынужденными и их оправдывают необходимостью уменьшения до разумных пределов объемов строительных работ или проходом через заданные промежуточные точки.

Прямые линии в природе практически отсутствуют. Элементы рельефа земной поверхности, за исключением выходов скал, почти всегда имеют плавные, чаще всего округленные поверхности, очертания которых связаны с процессами выветривания и эрозии.

*Наилучшее сочетание дороги с ландшафтом достигается при некоторой криволинейности трассы, соответствующей закономерностям изменения форм рельефа.* Дорога, неоправданно извилистая в открытой равнинной местности, выглядит столь же неестественной, как и дорога, принудительно не считающаяся с местностью, прорезающая длинными прямыми и короткими кривыми элементами холмистого рельефа. Последнее решение, неоправданное логически, всегда бывает нецелесообразным и с технической точки зрения, так как приводит к необходимости устройства высоких насыпей и глубоких выемок, к увеличению отверстий искусственных сооружений.

Поэтому **первая проблема ландшафтного проектирования** – сильное устранение «геометризма» дороги и придорожной полосы, резко выделяющего ее из окружающей местности.

Проектировщик не имеет возможности устранить постоянную ширину проезжей части и обочин. Однако все остальные элементы поперечного профиля могут быть без ущерба для работы дороги лишены геометрической правильности очертаний путем проведения следующих мероприятий:

- округления верха и низа откосов земляного полотна;
- устройства откосов переменной крутизны;
- устройства разделительной полосы переменной ширины;
- расположения на косогорных участках проезжих частей автомагистралей с разделительной полосой в разных уровнях;
- обработки краев просек и посадки на придорожной полосе декоративных деревьев и кустарников;
- посадки деревьев на разделительной полосе;
- продуманного расположения снегосборных и рядовых посадок вдоль дороги.

**Вторая проблема ландшафтного проектирования** – соблюдение соизмеримости («масштабности») элементов дороги с элементами местности.

Пешеходная тропа или узкая полевая дорога идеально вписываются в любой рельеф местности. Прямой участок автомагистрали с разделительной полосой в холмистой местности выходит из масштабов своего окружения и неизбежными насыпями и выемками грубо нарушает ландшафт. Для уменьшения ширины полотна дороги могут быть использованы методы раздельного трассирования проезжих частей или устройства разделительной полосы переменной ширины.

Построенная дорога становится характерным новым элементом ландшафта. Резко асимметричное сечение дорогой элементов ландшафта, например, отделение узкой полосы от лесных массивов, нарушает цельность ландшафта (рис. 17.12).

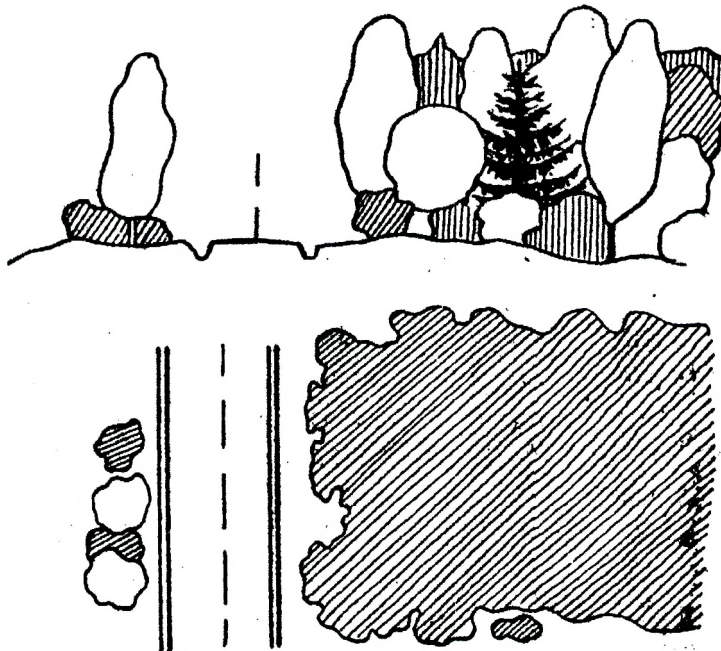


Рис. 17.12. Неудачное пересечение дорогой лесного массива

Наиболее удачным всегда является строительство дороги по переходной зоне между крупными элементами ландшафта – у подножия холмов, по опушкам лесов, по террасам долин, вдоль водотока, протекающего по долине.

Дорогу легче всего согласовать с ландшафтом, когда она следует основным элементам рельефа и ситуации – линии холмов или берегам водотоков и водных пространств (рис. 17.13а).

При трассировании вдоль озера желательно, не искажая общего направления дороги, прокладывать ее на примерно постоянном расстоянии от береговой линии (рис. 17.13б).



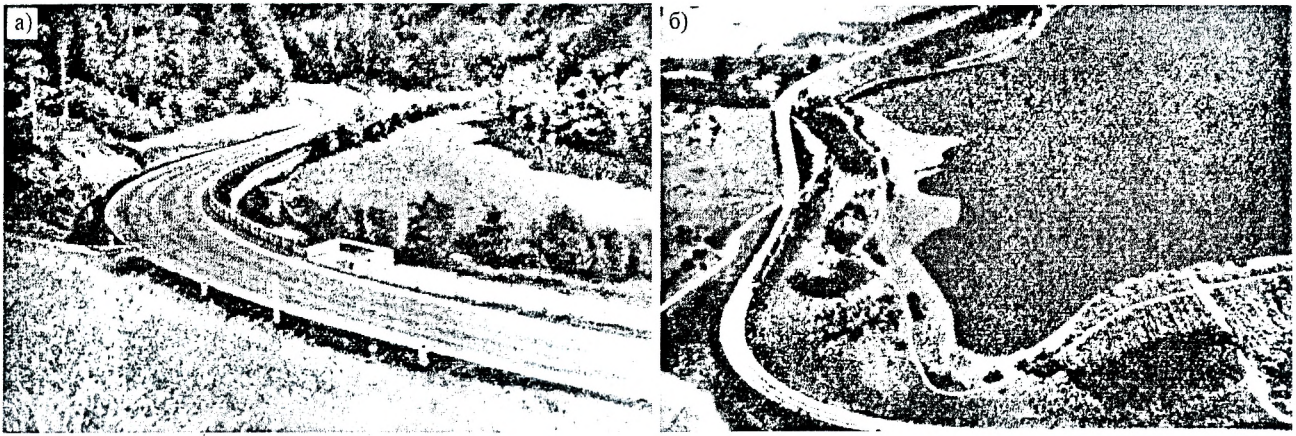


Рис. 17.13. Проложение дороги по граничной зоне элементов ландшафта: а – между подножьем холмов и долиной водотока; б – по прибрежной полосе озера

При направлении поперек холмов дорога вынуждена повторять ритм окружающей местности, поднимаясь на холмы и спускаясь в долины. Соблюдение требований технических условий к продольным уклонам и расстояниям видимости заставляет дорожников устраивать насыпи и выемки или пересекать долины виадуками. Дорога начинает играть большую роль в формировании ландшафта.

Для гармоничности ее сочетания с окружающей местностью приходится за основу трассирования принимать удовлетворение отмеченного выше принципа соизмеримости элементов дороги и ландшафта.

В то же время согласование дороги с ландшафтом совсем не значит полного ее подчинения. В каждом ландшафте есть основные характеризующие его элементы, на которые ориентируются при проложении трассы. Дорога должна следовать главным линиям ландшафта, не считаясь с множеством малых и мельчайших складок местности. Нарушение этого правила всегда приводит к отрицательным результатам (рис. 17.14). Степень согласования дороги и ландшафта зависит от значения дороги.

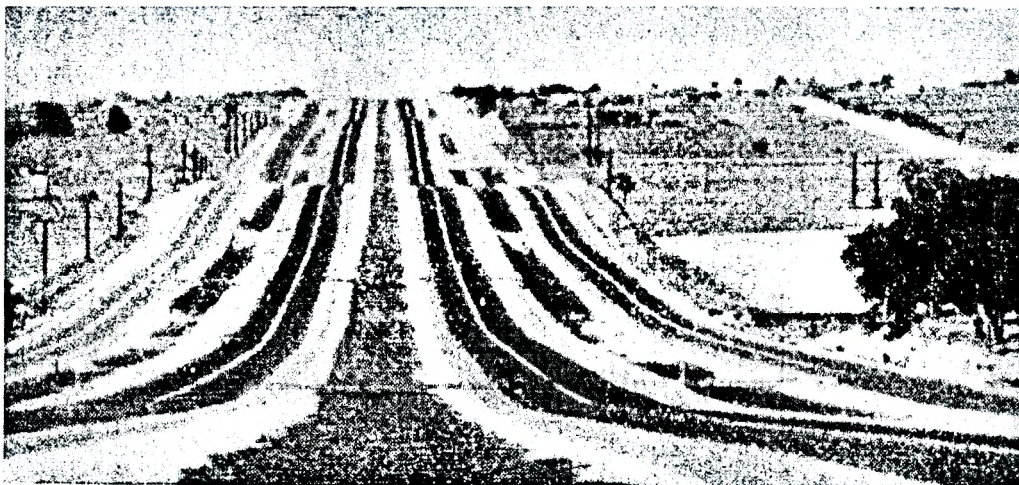


Рис. 17.14. Непokoйный вид дороги, проложенной параллельно поверхности земли (обертывающее проектирование продольного профиля)

В процессе движения по дороге водитель и пассажиры наблюдают непрерывно меняющиеся картины. Сочетание дороги с ландшафтом осуществляют в пределах отдельных участков, границы которых определяются видимостью с наиболее возвышенной точки дороги. Непосредственно примыкающий к дороге и доступный обозрению с движущегося автомобиля участок местности, характеризующийся единством ландшафтных признаков, образует **«ландшафтное пространство»** или **«архитектурный бассейн»**.

Архитектурные бассейны могут иметь «неподвижные» и «подвижные» границы. неподвижные границы образуются по ограничивающим видимость линиям перелома рельефа, опушкам лесов и т. п. В этих случаях смена архитектурных бассейнов происходит неожиданно при пересечении их границы.



Подвижные границы архитектурные бассейны имеют в открытых и слабопересеченных районах, где линия горизонта перемещается по мере движения вдоль дороги. Открывающийся при движении пейзаж видоизменяется однообразно, монотонно. Это обычно утомляюще действует на водителя и пассажиров. При подвижных границах бассейна особое значение приобретает «притягивающее взгляд действие» отдельных сооружений или элементов ландшафта. В таких условиях активное вмешательство проектировщиков в формирование архитектурных бассейнов путем искусственного фиксирования их границ озеленением или средствами архитектуры дает весьма эффективные возможности повышения транспортно-эксплуатационных качеств дороги.

Рекомендации по согласованию автомобильных дорог с ландшафтом *исходят из летних условий*, когда природная обстановка выявлена наибольшим образом. Зимой ландшафты становятся более однообразными.

Выпавший снег и снеговые отложения, образующиеся во время метелей, выравнивая поверхность рельефа, как бы снимают проблему плавности сочетания земляного полотна с прилегающей местностью. Снежный покров закрывает поверхность замерзших рек и водоемов. Пропадают цветовые контрасты листвы придорожной растительности. Дорога, если только она не проходит через хвойный лес, становится более скучной и однообразной, чем летом (рис. 17.15).

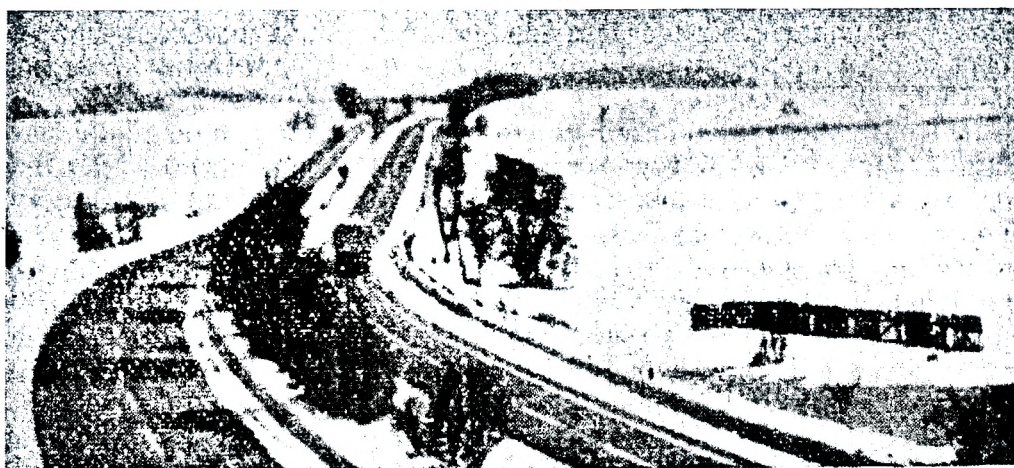


Рис. 17.15. Обеднение придорожного ландшафта зимой

Вдоль дорог для защиты от заносов устанавливают ряды щитов, накапливающих снеговые отложения. При снегоочистке около дороги образуются валы снега. Даже при их своевременном разравнивании дорога превращается в своеобразную траншею, расположенную ниже прилегающей к ней снеговой поверхности. Перестают быть видимыми разграничительные линии и краевые полосы на покрытии. Разделительная полоса автомагистралей в результате снежных отложений и нечеткой очистки краев при удалении снега теряет правильность очертаний. Однако при надлежащей очистке от снега и посыпке противогололедными средствами проезжая часть четко выделяется на прилегающей местности.

**«Обеднение» ландшафта** является проблемой и для ландшафтной архитектуры, в которой еще не найдено простых, но эффективных способов обеспечения равного впечатления на зрителя летнего и зимнего пейзажей.

Ухудшение вида местности зимой не снижает целесообразности ландшафтного проектирования, поскольку для безопасности и удобства движения сохраняется положительный эффект пространственно-плавного проложения трассы дороги, а также оптического трассирования путем посадки высоких деревьев за поворотом дороги.

В зимний период повышается роль обустройств, так как меняется восприятие цветов дорожных знаков и придорожных сооружений. На белом фоне снегового покрова ухудшается видимость синих предписывающих и указательных знаков. Наоборот, лучше, чем осенью, различаются предупреждающие и запрещающие знаки с желтым фоном.

Для устранения однообразия зимнего пейзажа большое значение имеет яркая окраска придорожных сооружений, в частности автобусных остановок. Направляющее действие ограждений барьерного типа повышается при нанесении на них продольной красной полосы.

## 17.6. Особенности трассирования дорог в характерных ландшафтах

### 17.6.1. Трассирование в равнинной местности

Равнинными называют места, рельеф которых весьма слабо расчленен и отличается малыми колебаниями высотных отметок. С точки зрения проложения дорог может быть выделено несколько видов равнинного ландшафта.

**Степной ландшафт.** К степям относят более или менее ровные безлесные пространства, не заболоченные и не заливаемые полыми водами. Рельеф их расчленен незначительно, формы элементов плавные. Достаточно часто встречаются небольшие местные понижения – блюдца и западины, а также более крупные понижения, занятые озерами. Леса встречаются главным образом в речных долинах. Степные ландшафты характерны для зоны степей и зоны полупустынь по ландшафтному районированию.

Условия рельефа не вносят в степных районах существенных ограничений в проложение дороги в плане и профиле. Для дорог типично расположение в невысоких насыпях, возвышение которых определяется мощностью снегового покрова. При пологих откосах эти насыпи полностью сливаются с прилегающей местностью.

Отдельные участки высоких насыпей, например, у пересечений в разных уровнях, резко выделяются на открытом фоне местности и лишь в малой степени могут быть замаскированы декоративным озеленением. С технической стороны во многих случаях отсутствуют сколько-нибудь серьезные препятствия проложению дороги прямыми участками протяжением до нескольких десятков километров.

В открытой равнинной местности длинные прямые участки не встречают возражений и с эстетической стороны, так как прямолинейность дороги не входит в этом случае в конфликт с формами рельефа, а в некоторых случаях, наоборот, даже соответствует элементам культурного сельскохозяйственного ландшафта с прямоугольниками полей или сеткой осушительных или оросительных каналов.

В первый период строительства автомобильных дорог полагали, что прямые являются наиболее рациональными и безопасными участками дорог. На них обеспечена большая видимость, отсутствует характерная для криволинейных участков центробежная сила, стремящаяся сбросить автомобиль с дороги.

Однако впоследствии, с развитием автомобильных перевозок, было обращено внимание на повышенную аварийность длинных прямых тем большую, чем значительнее протяжение участка.

Возрастание аварийности на отдельных прямых связано с влиянием ряда факторов. Движение по длинным прямым в открытой равнинной местности с бедной однообразной придорожной ситуацией для водителей грузовых автомобилей сопряжено со снижением внимательности, часто переходящим в дремоту или сон. Водители отдельных легковых автомобилей теряют контроль над скоростью, значительно превышая безопасную. Чем длиннее прямой участок, тем больше скорость в его конце:

<i>длина прямого участка, км</i>	1,0	4,0	6,5	9,0;
<i>относительная средняя скорость потока</i>	1,0	1,02	1,06	1,15.

В ночное время на длинных прямых участках повышается опасность ослепления водителей светом фар встречных автомобилей. Все это приводит к повышению количества дорожно-транспортных происшествий. Поэтому технические условия большинства стран ограничивают длину прямых участков.

Иногда предлагают определять предельную длину прямой по продолжительности проезда автомобилей по этому участку. В Чехии продолжительность проезда принимают равной 2 мин, в Германии – 1 мин. Это составляет соответственно 2-1 км для скорости 60 км/ч и 4-2 км для скорости 120 км/ч. Технические условия Германии предусматривают, что длина прямых участков (в метрах) не должна быть более  $20V$ , где  $V$  – расчетная скорость, км/ч. В Венгрии полагают, что длина прямой не должна превышать ширину земляного полотна более, чем в 100 раз. При ширине 15-20 м это составляет 1,5-2,0 км.

Технические условия Франции практически исключают применение на автомагистралях прямых участков. Длинные прямые рекомендуют заменять сопряженными кривыми больших радиусов от 5 до 10 тыс. м, благодаря чему устраняется опасность ослепления водителей светом фар встречных автомобилей и снижается монотонность дороги. При таких



радиусах не требуется устраивать виражи, что облегчает отвод воды с дорог, имеющих разделительную полосу. В Польше длину прямых участков ограничивают 7 км в равнинной и 6 км в холмистой местности. В Италии предельная длина прямой 2-3 км, в Нидерландах – 3 км.

Иногда считают, что на утомляемости водителей наиболее сильно сказывается не абсолютная длина отдельных прямых участков, а соотношение между длиной прямых и кривых, а также характер придорожной местности.

Прямой участок протяжением в несколько километров, расположенный, например, на пересечении долины реки, не будет восприниматься как однообразный и монотонный, если ему предшествуют 10-15 км дороги с большим числом кривых в холмистой местности. Изменение характера рельефа и новая придорожная ситуация, сосредоточивая на себе внимание водителя, компенсируют уменьшение числа дорожных факторов, ранее определявших его настороженность.

В противоположность этому дорога в степи, состоящая из серии прямых по 2-3 км при малых углах поворота и больших радиусах кривых, будет вызывать утомление водителей, так как однообразие дорожных и ландшафтных условий не создает достаточного количества объектов внимания.

Считается, что длина прямых участков не должна превышать 40-60% общего протяжения дороги. Наиболее объективно допустимую длину прямых участков можно было бы установить только на основе наблюдений за утомляемостью водителей в разных дорожных условиях в зависимости от дорожной обстановки, интенсивности движения и от погодных условий. Практически, относительное количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) при постоянной интенсивности движения следующим образом меняется в зависимости от длины прямой:

длина прямой, км	≤ 3	5	10	15	20	≥ 25;
относительное количество ДТП	1,0	1,1	1,4	1,6	1,9	2,0.

Учитывая эти данные и опыт зарубежного проектирования, можно рекомендовать ограничение в открытой местности предельной длины прямых 3-5 км, а в пересеченной 5-7 км.

Ограничение длины прямых участков ни в коем случае не должно выполняться формально, без анализа местных условий. Извилистая дорога по ровному месту всегда будет казаться водителям противоречащей природе и искусственно удлинённой. Желательно поэтому, чтобы причина поворотов была понятна для пользующихся дорогой.

Не следует думать, что ограничение длины прямых участков требует искусственного и значительного искривления трассы. Даже в условиях равнинной местности при детальном творческом изучении района строительства дороги с привлечением в случае необходимости геологов и ботаников обычно обнаруживается большое количество причин, вынуждающих вводить углы поворота.

К их числу относятся неблагоприятные грунтовые условия – участки поверхностного заболачивания и пятна избыточного засоления, места с необеспеченным стоком, лесные массивы и рожи в малолесных степных районах, мелкие элементы рельефа, не находящие отражения на картах в горизонталях, но влияющие на условия водоотвода, ценные сельскохозяйственные угодья, населенные пункты и т.д. Как показало опытное трассирование, внимательный учет грунтовых и гидрогеологических условий всегда приводит к криволинейности трассы.

Специальному учету подлежат понижения местности, над которыми в безветренные летние ночи систематически образуются туманы, ухудшающие видимость (рис. 17.16). Такие места трасса дороги должна обходить.

Однако необходимо учитывать, что изменения направления трассы в открытой местности должны быть подчеркнуты убедительно для едущих по дороге. В некоторых случаях, если причина поворота не очень бросается в глаза, ее следует подчеркнуть средствами озеленения, создав на придорожной полосе растительные группы, которые как бы обходит дорога. Примеры проложения дорог в равнинной местности показаны на рис. 17.17.

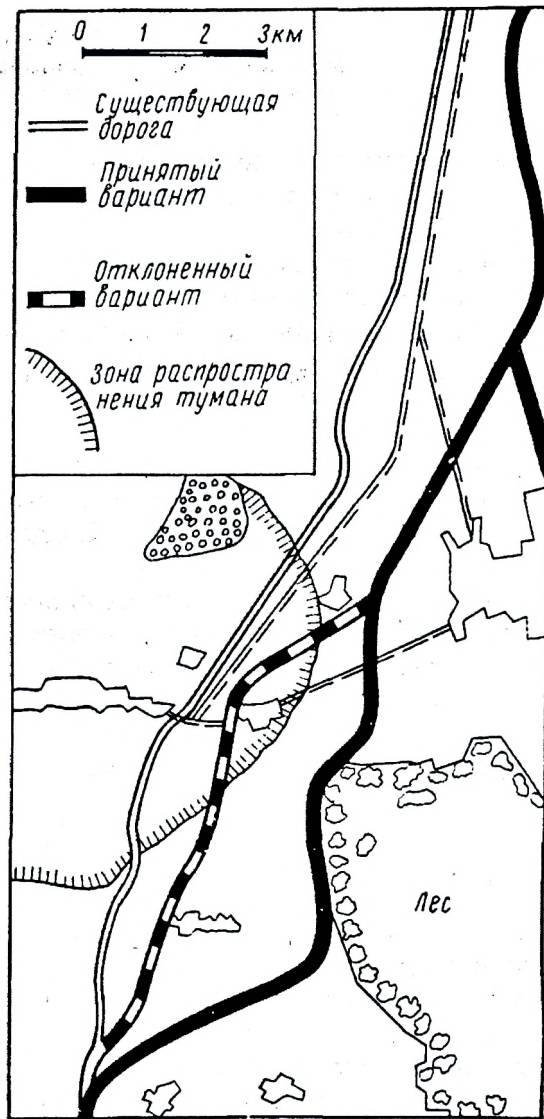


Рис 17.16. Зоны систематического образования туманов, которые необходимо обходить при трассировании

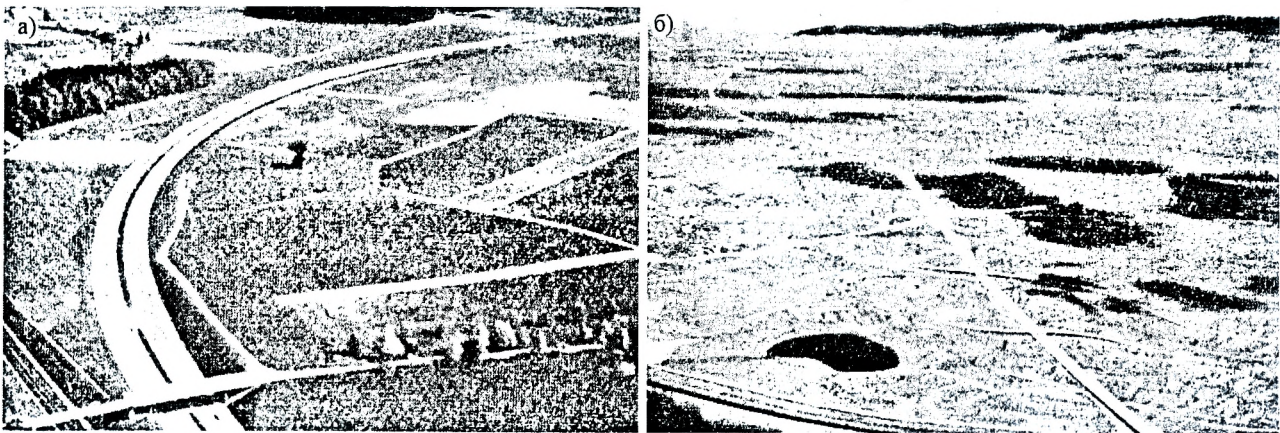


Рис. 17.17. Примеры трассирования дорог в равнинной местности

Допустимая длина прямых участков всегда должна быть связана с окружающей местностью. Всякие выделяющиеся ее элементы привлекают к себе внимание и, нарушая однородность дорожной обстановки, способствуют повышению сосредоточенности водителей. В связи с этим иногда оправдывается направление дороги на хорошо заметный издали ориентир, выделяющийся на общем фоне местности – горы, высокие здания и заводские сооружения, шахтные выработки (рис. 17.18).



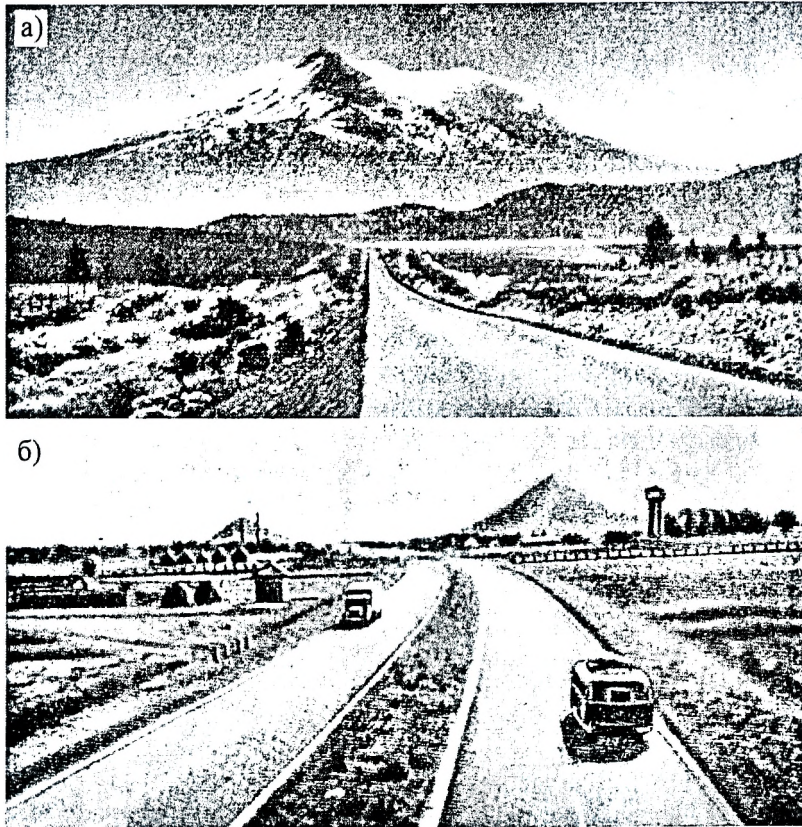


Рис. 17.18. Направление дороги на возвышающиеся ориентиры: а – высокая гора; б – шахтные выработки

Этот ориентир, детали которого издали нельзя рассмотреть, привлекает конфигурацией и размещением, гармонирующим с ландшафтом. Длина таких участков дорог может быть принята большей. При отсутствии на местности естественных ориентиров их можно создавать искусственно в виде групп деревьев на придорожной полосе. Эти группы как бы расчленяют длинную прямую на ряд коротких участков.

В степных районах для сокращения длины прямых участков иногда вводят малые углы поворота. Их влиянию на плавность трассы в плане раньше настолько не придавали значения, что еще в Нормах и технических условиях проектирования автомобильных дорог 1955 г. (НиТУ 128-55) не предусматривалась разбивка кривых при углах поворота менее  $5^\circ$ . В результате искажения вида дороги в перспективе такие участки издали кажутся резкими изломами направления дороги и приводят к ненужному снижению скорости, несмотря на то, что радиусы кривых обеспечивают устойчивость автомобиля при проезде с расчетной скоростью (рис. 17.19а). В настоящее время для придания зрительной плавности в повороты дороги на малый угол вписывают кривые очень больших радиусов (рис. 17.19б).

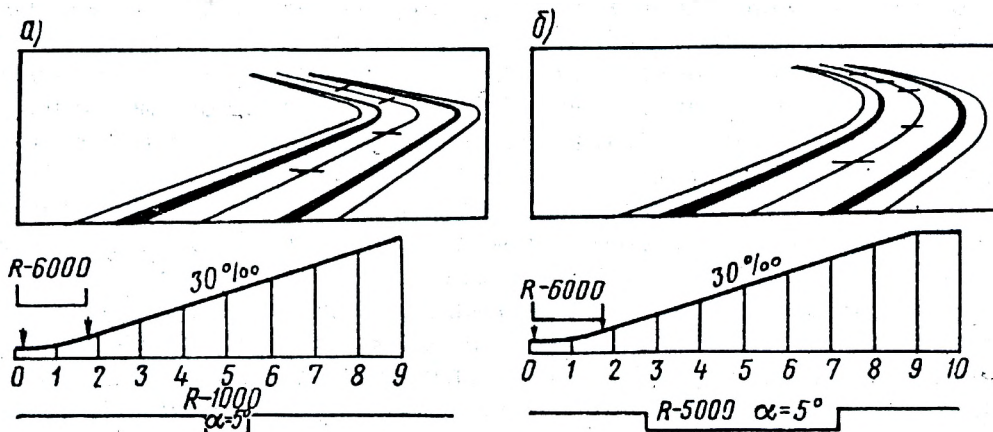


Рис. 17.19. Поворот дороги на малый угол: а – искажение в перспективе вида дороги при малом радиусе кривой; б – улучшение вида дороги при введении кривой большого радиуса

При трассировании дорог в степных районах особый интерес представляют пересечения глубоких долин малых рек. Следуя общему направлению дороги, их часто пересекают длинными прямыми. При этом получаются затяжные глубокие выемки, очень некрасивые особенно при взгляде из автомобилей, поднимающихся на подъем. Это впечатление может быть устранено расположением выемки на кривой. Откосы выемки маскируются растительными посадками. Конечно, при этом должны строго соблюдаться требования к видимости.

Целесообразность искривления плана дороги на крутых подъемах после пересечения долин связана также с возникающим в этом случае оптическим обманом. Луч зрения водителя при движении по спуску в долину направлен параллельно проезжей части. Поэтому последующий подъем после долины представляется ему значительно более крутым, чем на самом деле (рис. 17.20). У водителя создается иллюзия, что он движется по горизонтальному участку, и ему предстоит преодолеть подъем с крутизной, равной сумме уклонов обоих участков. В некоторых случаях это приводит к чрезмерным скоростям движения в нижней части склонов, в намерении форсировать кажущиеся крутые подъемы с использованием предварительного разгона.

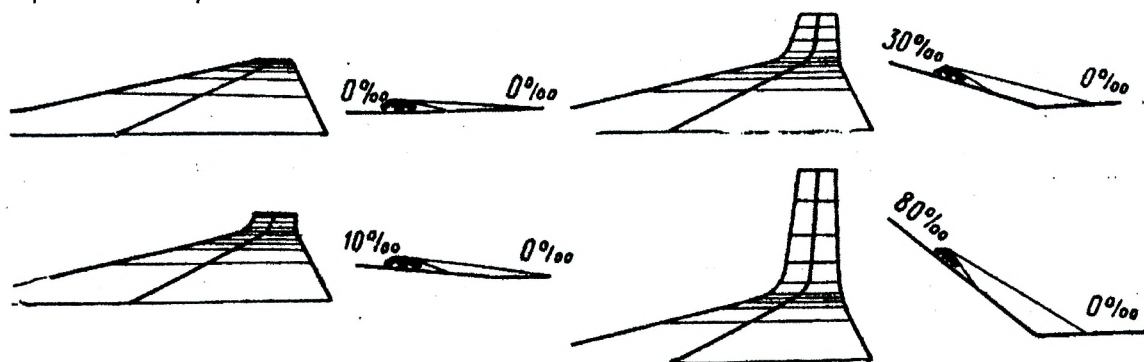


Рис. 17.20. Обман зрения при спуске по участку дороги с уклонами разной крутизны

**Ландшафты заболоченных низменностей или орошаемых районов.** Эти ландшафты отличаются по условиям рельефа от степного большей ровностью и отсутствием глубоких оврагов или балок. Они характеризуются ярко выраженной организационной и созидательной деятельностью человека, превращающего системой ирригационных или мелиоративных каналов ранее неосвоенную территорию в плодородные сельскохозяйственные угодья.

Каналы, расчленяющие территорию на сетку прямоугольников, обычно окаймленных рядами деревьев, определяют положение дорог прямыми участками, по возможности совмещаемыми с направлением каналов и соединяемыми кривыми больших радиусов. Плоский характер рельефа местности и неблагоприятные гидрогеологические условия в связи с высоким уровнем грунтовых вод вызывают необходимость расположения дороги в невысоких насыпях.

**Лесисто-болотистый ландшафт.** Ландшафт частично заболоченных лесов характерен для лесной зоны умеренного климата. Рельеф местности, как правило, равнинный с волнообразными, слабо выраженными возвышенностями и отдельными невысокими холмами. Долины ручьев и рек извилистые, широкие и неглубокие, с пологими склонами. Пониженные места с необеспеченным стоком и водораздельные плато заболочены. Значительная часть площади покрыта лесами.

Элементы рельефа не создают существенных препятствий для трассирования, так как, за малыми исключениями, дороги можно прокладывать по любому направлению, удовлетворяя требованиям технических условий. Из эстетических соображений в больших лесных массивах целесообразны периодические изменения в направлении дороги через 2-3 км, так как длинные прямые участки, особенно при постоянной ширине просеки выглядят как однообразный прямолинейный коридор. Лесные участки образуют самостоятельный ландшафт, разнообразие которого вызывается различием окраски листвы и форм крон деревьев и кустарников. В разное время года – весной, в период цветения, и осенью, перед листопадом, эти контрасты бывают особенно значительны и вносят существенное разнообразие, делая дорогу привлекательной и интересной.



При криволинейности трассы ландшафт оживляется контрастами света и тени.

Ширина просеки должна гармонизировать с шириной земляного полотна и высотой деревьев. Это необходимо, в первую очередь, для обогрева придорожной полосы солнечными лучами. Земляное полотно дорог, проходящих в широтном направлении, может быть смещено к северной стороне просеки, чтобы увеличить количество часов освещения солнцем.

Исследования показали, что к назначению ширины просеки может быть приложен общий архитектурный принцип «золотого сечения». Применительно к обозначениям на рис. 17.21 этому удовлетворяют соотношения  $h/b = b/a = 0,618$ .

Следует отметить, что действующие нормативы на ширину полосы отвода не обеспечивают соблюдения указанного условия. Для дорог с двумя проезжими частями и разделительной полосой отношение  $b/a$  не превышает 0,4-0,5. С другой стороны, высота придорожных насаждений, необходимая для удовлетворения указанному соотношению для дорог II-V категорий, составляет от 9 до 5 м.

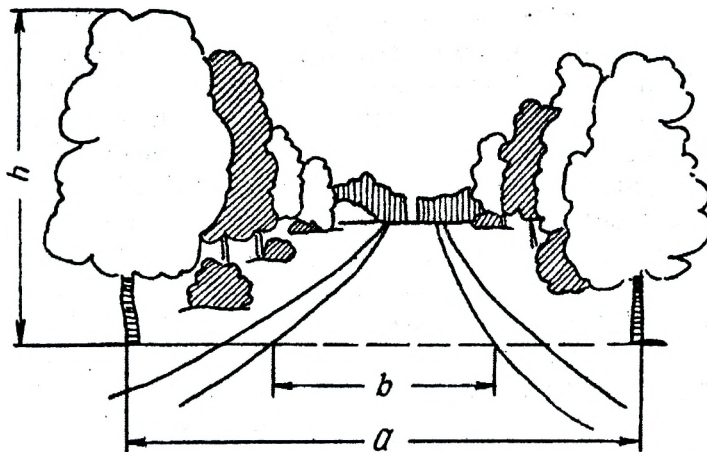


Рис. 17.21. Определение рациональной ширины просеки из принципа соблюдения соотношений «золотого сечения»

Длинная прямая просека с геометрически правильными параллельными краями кажется особенно некрасивой при широкой полосе вырубki, главным образом из-за голыи поверхности полос боковых обрезов. Этого впечатления не создается при узкой просеке, когда деревья расположены непосредственно за внешней бровкой канав. Первоначальный вид широкой просеки впоследствии улучшается при зарастании обрезов кустарником и молодыми деревьями, когда в поперечном профиле получается плавный переход от низкорослых кустарников у края дороги к высоким деревьям основного леса.

Резкая прямолинейная граница просеки постоянной ширины некрасива. Желательно делать ее волнистой и исправлять посадкой оторванных от общего массива древесных групп и устройством уширений – лужаек, на которых целесообразно располагать площадки отдыха (рис. 17.22).

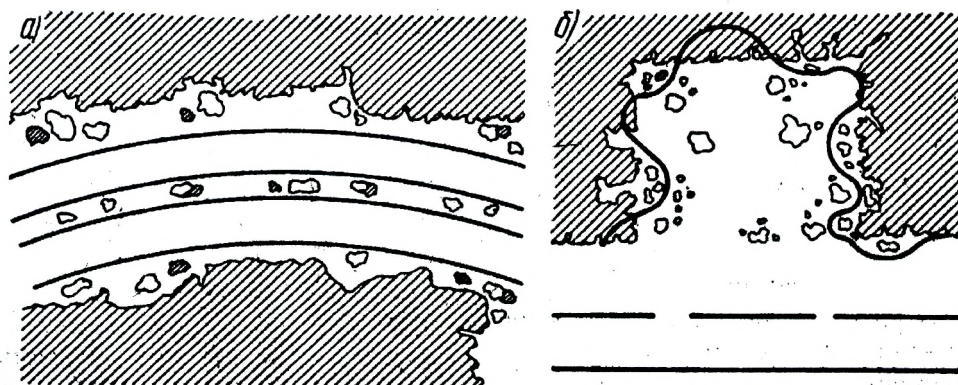


Рис. 17.22. Устранение прямолинейности краев просеки и исправление прямолинейных границ вырубki: а – устройство местных уширений и посадка деревьев; б – улучшение придорожной поляны приданием ее контурам неправильной формы и посадкой деревьев и кустарников

Особенно живописны опушки, если в групповые посадки ввести иные породы, чем составляющие основной массив (лиственные при хвойном лесе и наоборот).

Чтобы расчленивать однообразные пейзажи, иногда устанавливают на придорожной полосе беседки для отдыха или скульптуры. Отличаясь от зеленого фона леса по окраске и привлекая издали внимание водителей, они, по идее, должны были бы устранять утомляющее воздействие однообразия стены леса. Однако, несоответствие формы многих сооружений их функциональному назначению (беседка в виде гриба-мухомора) или их явная ненужность и бесполезность (статуи медведей или лосей, часто окрашенные в серебряный или зеленый цвет) иногда производит раздражающее впечатление.

Пользующиеся дорогой смотрят на ландшафт из движущегося автомобиля. Глядя вперед по направлению движения, они находятся в лучших условиях, чем пассажиры железнодорожного поезда. Однако они все же не располагают временем на длительное разглядывание придорожного ландшафта. Это делает необходимым увязывать размеры групп посадок или расчисток для открытия перед едущими красивых пейзажей с продолжительностью времени, в течение которого их видят пассажиры и водители. Пешеходу, идущему со скоростью 5 км/ч, для разглядывания вида в течение 5 сек достаточно разрыва в придорожных насаждениях в 7 м. Едущим в автомобиле со скоростью 100 км/ч необходим разрыв 130 м. Однако фактически нет необходимости вести расчеты величины групп и просветов между ними на расчетные или приближающиеся к ним скорости. Выше уже отмечалось, что взгляд водителя сосредоточивается на поверхности дороги с ростом скорости. Настроение пассажиров, едущих с высокой скоростью, также подчинено целям и задачам поездки. Вероятнее всего осматривать придорожный ландшафт будут пассажиры автомобилей, едущих со скоростью равной или меньшей средней скорости потока, т.е. порядка 60-70 км/ч. Поэтому можно рекомендовать минимальные размеры групп ландшафтного озеленения 40-50 м.

Хорошим средством оживления придорожной полосы является расчистка и прореживание леса, чтобы открыть вид на расположенные вдоль дороги озера или реки (рис.17.23).



Рис. 17.23. Расчистка леса для открытия вида на озеро

**Ландшафт лесостепи.** Лесостепь характеризуется более развитыми формами рельефа, наличием долин водотоков – на севере заросших балок, на юге – чаще всего действующих оврагов. Большая глубина оврагов (10-20 м), их крутые, почти вертикальные стенки, длина, достигающая нескольких километров, оказывают существенное влияние на выбор трассы дороги. Балки имеют склоны более пологие и задернованные. Ширина и глубина их больше, чем у оврагов. Леса в лесостепной зоне расположены своеобразными островами. В



северной части относительно крупные лесные массивы чередуются с лугами и полями, на юге лесостепи на водораздельных плато рассеяны отдельные рощи.

В зависимости от протяжения вдоль дороги лесных и полевых участков различают «закрытый», «полузакрытый», «полуоткрытый» и «открытый» придорожные ландшафты (рис. 17.24).

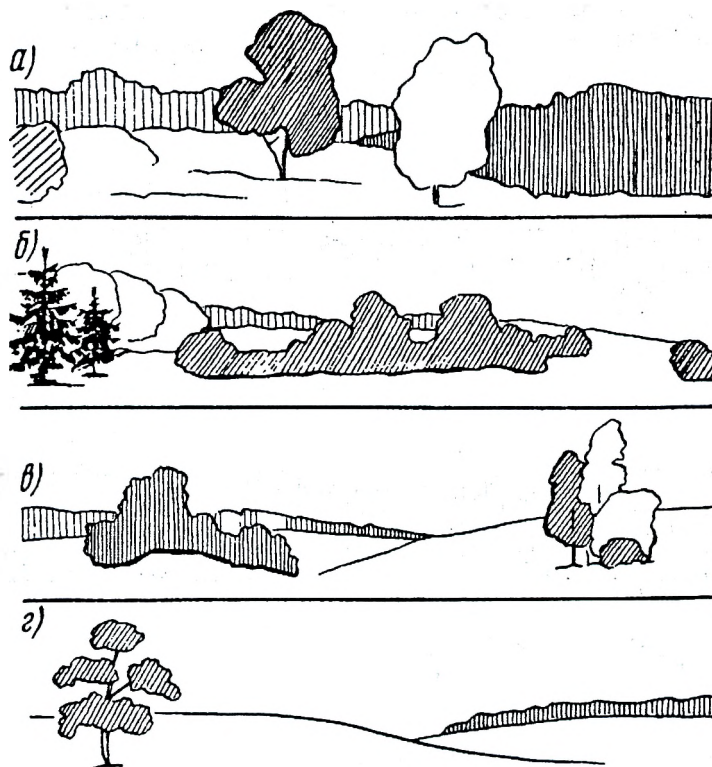


Рис. 17.24. Схемы различных категорий природных ландшафтов: а – закрытый; б – полузакрытый; в – полуоткрытый; г – открытый

С точки зрения живописности дороги наилучшими являются «полузакрытый» и «полуоткрытый» ландшафты, в которых дорогу оживляет чередование лесных участков и дальних видов. В лесостепи проложение трассы, наряду с элементами рельефа, определяется также и лесными массивами (рис. 17.25).



Рис. 17.25. Автомобильная дорога в лесостепи

Дорога огибает их или пересекает, разделив при неудачном проложении на зрительно изолированные друг от друга части. Примером является прорезание лесного массива длинной прямой. Всегда желательно поэтому, чтобы автомобильные дороги входили в лес на кривом участке, или кривая начиналась бы вскоре в лесу, и просека оставалась бы незаметной. Вид входного участка может быть еще более улучшен посадкой деревьев и кустарников (рис. 17.26), целесообразной не только с эстетической точки зрения, но и в отношении уменьшения заносимости входного участка дороги снегом, перемещаемым вдоль опушки.

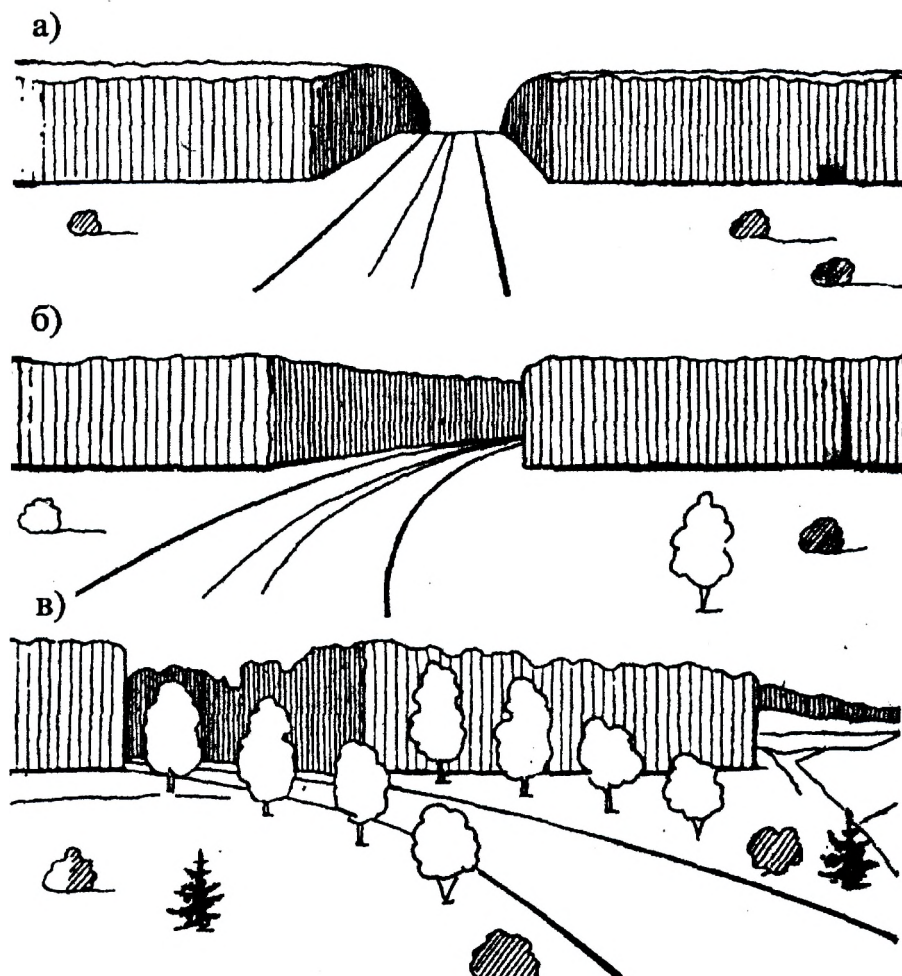


Рис. 17.26. Особенности проектирования автомобильных дорог на участках входа в лес: а – прямолинейное пересечение леса; б – вход в лес на кривой; в – посадка деревьев и кустарников на входных участках

При обосновании выбора трассы дороги следует учитывать, что инструкция о порядке отвода земель для автомобильных дорог запрещает всем землепользователям сплошную вырубку леса в полосе шириной по 250 м с каждой стороны дорог I, II, III категорий. Поэтому лесные массивы можно рассматривать как постоянный и неизменный элемент ландшафта.

Посадка деревьев и кустарников по краям просек приобретает в условиях лесостепной зоны большее значение, чем в лесной и лесисто-болотистой. Необходимо подбирать породы подсаживаемых деревьев таким образом, чтобы устранить однообразие. Цветущие кустарники, а также деревья или кустарники, имеющие осенью яркие листья, весьма оживляют дорогу. Проложение дороги вдоль опушки лесных массивов менее мешает сельскому хозяйству, так как не вызывает необходимости перепланировки полей и не отрезает от них узких полос, на которых трудно выполнять механизированные работы.

В южной части лесостепной и степной зоны большое значение приобретает сохранение при строительстве дороги существующих лесов. Практика показывает, что часто даже весьма незначительное смещение трассы дает возможность сохранить группы деревьев, а при реконструкции дороги использовать существующие придорожные насаждения для устройства затененных автомобильных стоянок (рис. 17.27).



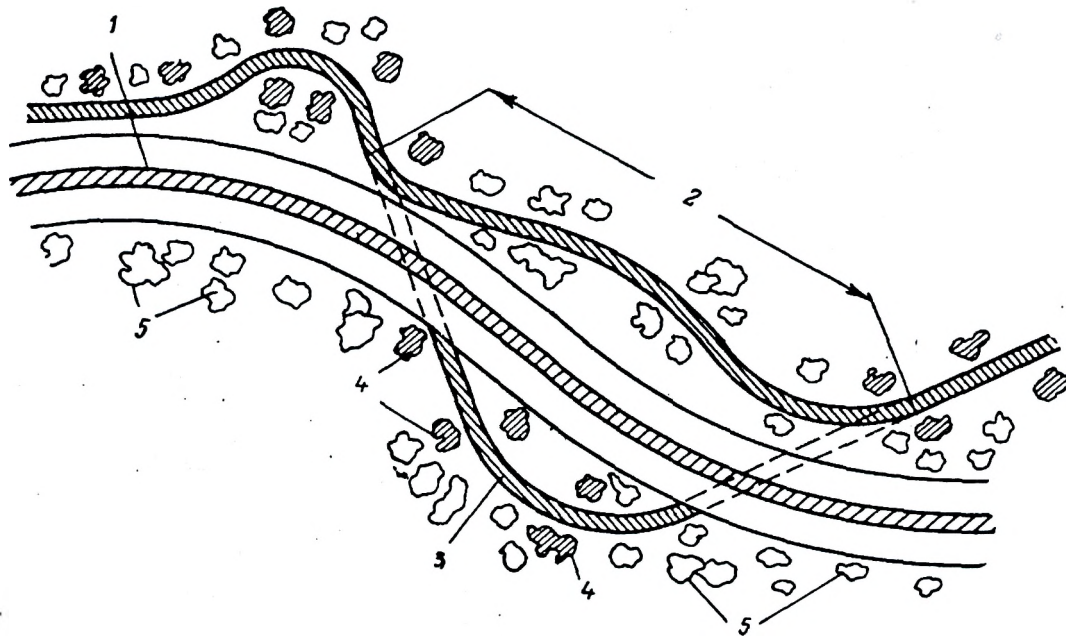


Рис. 17.27. Сохранение и использование существующих придорожных посадок при реконструкции дорог: 1 – новая дорога; 2 – новый участок дороги для местного движения; 3 – полоса для стоянки автомобилей; 4 – старые деревья; 5 – новые посадки

Стремление сохранить растительность приводит к тому, что зачастую на автомагистралях большие раскидистые деревья часто сохраняют даже в пределах разделительной полосы, делая на ней плавные местные уширения (рис. 17.28).



Рис. 17.28. Сохранение красивых деревьев на разделительной полосе

Для безопасности движения при этом от края проезжей части до деревьев должно сохраняться достаточно большое расстояние, не меньше радиуса их кроны. В США считают, что оно не должно быть менее 15 м. В отдельных случаях возможна установка железобетонных ограждений барьерного типа, маскируемых подсадкой кустарников. Предусматривая сохранение в пределах земляного полотна существующих деревьев, следует иметь в виду, что при земляных работах не должна быть засыпана их корневая шейка.

В районах распространения оврагов должны рассматриваться варианты обхода и пересечения оврагов и балок. В последнем случае, если только позволяют геологические условия, наиболее целесообразен вариант устройства придорожных водохранилищ (рис. 17.29).





Рис. 17.29. Придорожное водохранилище

Неправильно ограничивать роль дорожников в создании водохранилищ отсыпкой насыпи – плотины. Проект должен обосновывать размеры зеркала образующегося пруда и постоянство его величины путем углубления верхней части оврага, обычно мелкой и быстро заболачивающейся, не менее чем до 1,0-1,5 м. Однако устройство придорожных водохранилищ требует очень внимательных предварительных гидрогеологических обследований водопроницаемости грунтов дна оврага и тщательного выполнения плотины и водосливных устройств. Нарушение этих требований явилось причиной малой эффективности ряда построенных водохранилищ, а в некоторых случаях – и их разрушений.

В согласовании строящейся дороги с ландшафтом большое значение имеет укрепление и благоустройство оврагов. Оно должно включать в себя посадку деревьев и кустарников по склонам и верхним бровкам откосов и обязательное закрепление дна оврагов.

#### 17.6.2. Трассирование в холмистой местности

**Холмистый ландшафт.** Этот ландшафт складывается из крупных элементов рельефа. Трассирование дороги в холмистой местности длинной прямой приводит к ненужному нарушению форм ландшафта при выполнении больших объемов работ, необходимых для обеспечения постоянства уклона. С другой стороны, экономия в земляных работах и проложение дороги по обертывающей проектной линии при примерно постоянной величине рабочих отметок приводит к нерациональному и неудобному для эксплуатации продольному профилю из чередующихся подъемов и спусков, сопряженных вертикальными кривыми малых радиусов при необеспеченной видимости.

Наиболее целесообразным является проложение трассы в виде плавной извилистой линии, вписывающейся в элементы рельефа и расположенной в переходной зоне между крупными элементами ландшафта (рис. 17.30) при обеспеченной видимости.

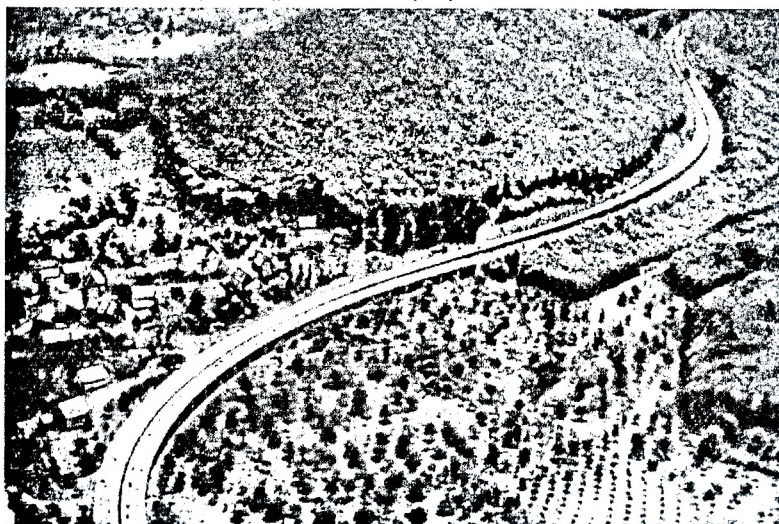


Рис. 17.30. Пример трассы дороги в холмистом ландшафте



Очертание элементов рельефа зависит от геологического строения местности. При сохранении общности в принципах проложения трассы и сопряжения ее элементов между собой, трассы автомобильных дорог в холмистых районах могут отличаться величиной радиусов кривых и характером их сочетания между собой. Поэтому, для рационального проложения трассы требуется глубокий анализ закономерностей структуры каждого ландшафта.

Дорога в холмистой местности обычно открыта для обзора на большом протяжении, особенно при взглядах вниз, при спуске с водоразделов, и на подъем, при пересечении водотоков. В то же время сложность рельефа предъявляет высокие требования к плавности сочетания с ними элементов плана, продольного и поперечного профилей дороги. Нарушение принципа сочетания элементов плана и профиля с элементами ландшафта в этом случае особенно резко бросается в глаза.

«Жесткое» трассирование дороги с радиусами кривых в плане и профиле, меньшими, чем размеры элементов рельефа, дает беспокойную, изломанную и неприятную на вид трассу. Насколько не гармонирует с общими условиями местности такая трасса, состоящая из длинных прямых и кривых малого радиуса, показано на рис. 17.31а. Отсутствие зрительной плавности дороги отражается в таких случаях и на условиях движения. Водителям кажется, что радиус кривых очень мал, приближаясь к ним, они снижают скорость и проезжают кривые медленнее, чем допускают их радиусы.

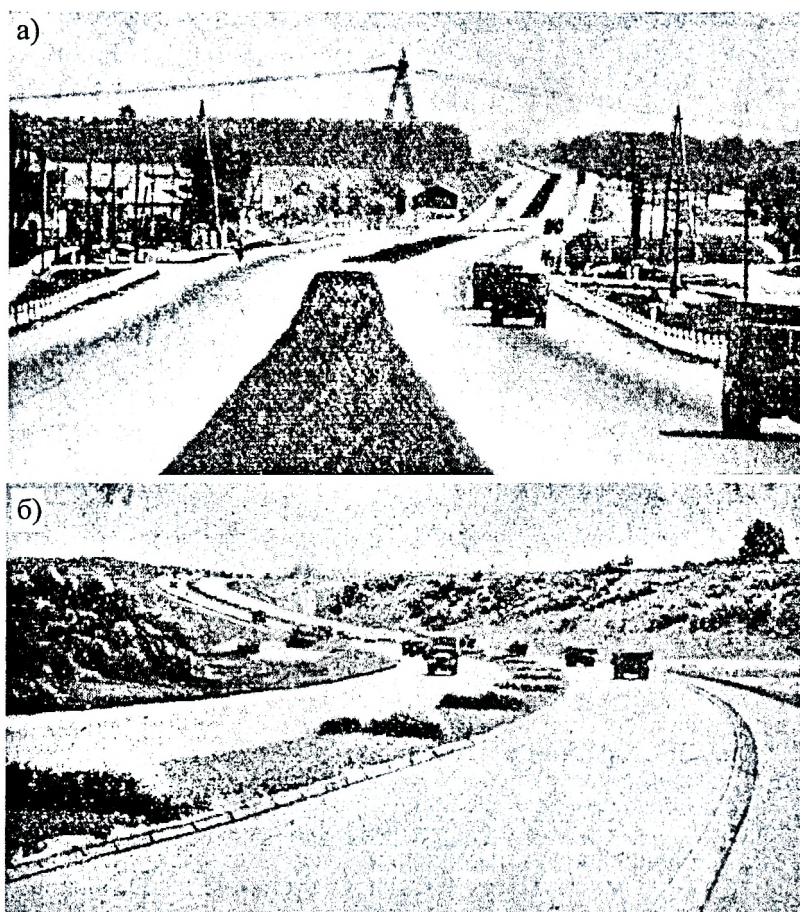


Рис. 17.31. Зависимость плавности вида дороги от соотношения элементов плана и профиля: а – «жесткая» трасса; б – плавная трасса

Совершенно иное впечатление создают трассы дорог, состоящие из сопряженных между собой плавных кривых, увязанных с основными естественными изгибами местности, соответствующих общему ритму рельефа и ландшафта и не подчиняющихся их мелким изменениям (рис. 17.31б).

Лучшей агитацией за повышение требований к плавности трассы является опыт эксплуатации участков дорог. В этом отношении очень поучительно строительство автомагистралей в Японии. Первая автомагистраль Кобе – Нагоя строилась без предъявления строгих требований к плавности трассы. Прямые участки составляют на ней 42% общей длины. Проанализировав условия движения по этой дороге и собрав отзывы пользующихся, строи-



тели приняли решение придать большую плавность продолжению трассы – дороге Нагоя – Токио, на которой длина прямых не будет превышать 5%.

*Трассу можно считать однородной, если ее прямые и кривые участки не выглядят отдельными, взаимно независимыми элементами. Обычно для этого длина кривых должна превышать 20% общего протяжения дороги.*

При трассировании дорог в холмистой местности главная трудность заключается в выявлении основных форм рельефа, с которыми должно быть увязано ее проложение, без подчинения мелким второстепенным элементам. Трасса должна складываться из минимально необходимого количества пологих кривых большого радиуса.

Чем выше категория дороги и шире ее земляное полотно, тем с более крупными элементами рельефа должна увязываться дорога. Это связано с тем, что для обеспечения плавности трассы при широком земляном полотне требуется использование кривых больших радиусов, чем при узком земляном полотне. Влияние пересекаемых дорогой небольших впадин и холмов должно нивелироваться планировочными работами и плавным сочетанием откосов земляного полотна с окружающей местностью.

Не рекомендуется сквозное («в лоб») пересечение холмов. Некрасивые вырезы в контурах холмов становятся менее заметны, если выемка пересекает хребет косо. При строительстве итальянской автомагистрали «Дорога Солнца», предназначенной преимущественно для автотуристов из северных стран Европы, в некоторых случаях из эстетических соображений отказывались от устройства глубоких выемок, заменяя их тоннелями, хотя это и удорожало строительство (рис. 17.32а). Также глубокие долины пересекают высокими виадуками (рис. 17.32б).

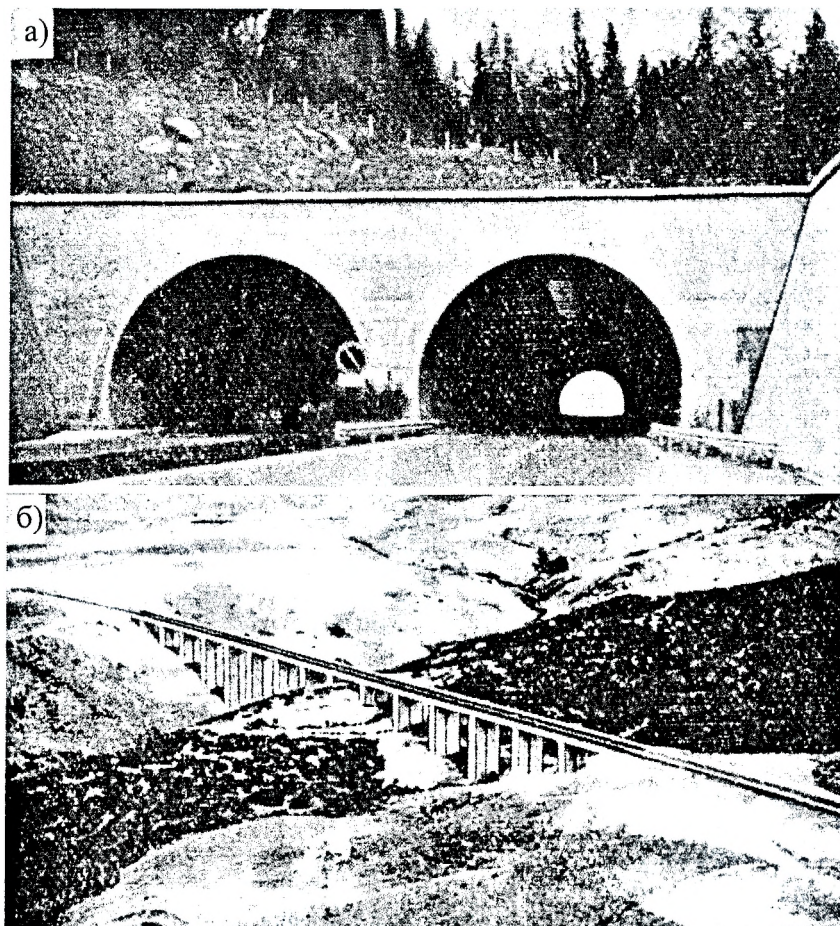


Рис. 17.32. Замена из эстетических соображений глубокой выемки тоннелем (а) или высокой насыпи виадуком (б)

Такое проектное решение более красиво и избавляет от необходимости устройства насыпи, позволяет уменьшить занимаемую площадь земли. Дорога получается с более высокими транспортно-эксплуатационными качествами, чем при обычно практикуемой спуске предельным уклоном по склонам и устройстве небольшого моста через водоток.

Весьма важной и трудной задачей трассирования дорог в холмистой местности является совместное решение их плана и продольного профиля как единой плавной пространственной линии. Элементы рельефа никогда не имеют геометрически правильных очертаний. Поэтому сочетание только прямых и круговых кривых не может обеспечить полного слияния трассы дороги с ландшафтом. Распространенный до сих пор принцип трассирования путем вписывания круговых кривых в изломы прямых ходов оказывается недостаточным для автомагистралей. Становятся необходимы более гибкие элементы трассы, которые могли бы плавно сочетать между собой более жесткие элементы – прямые и круговые кривые. Такими элементами являются переходные кривые большой длины, с помощью которых может быть обеспечено плавное вписывание дороги в рельеф местности.

Поэтому для проектирования автомагистралей стало характерным использование переходных кривых как самостоятельного элемента трассы, равноправного с прямыми и кривыми. Введение переходных кривых повышает оптическую плавность трассы (рис. 17.33).

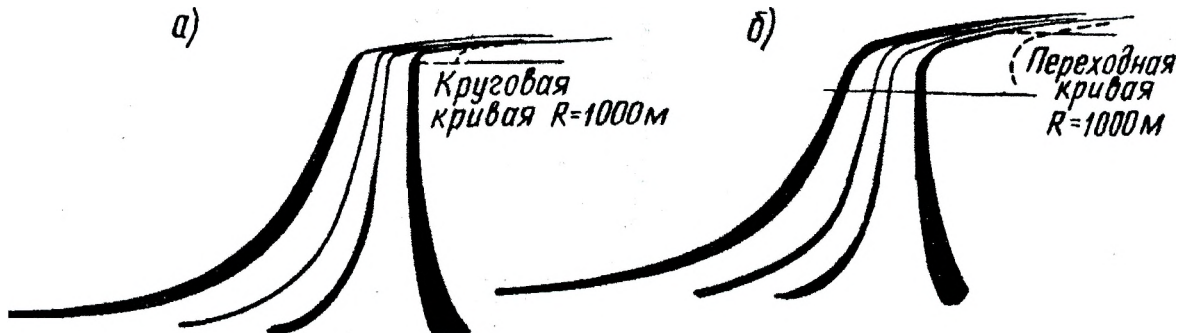


Рис. 17.33. Улучшение вида дороги в перспективе при введении переходной кривой: а – дорога без переходной кривой; б – с переходной кривой

При близком расположении углов поворота между переходными кривыми практически не остается прямых участков. Поэтому при сильно пересеченном рельефе трасса дороги может включать только сопрягающиеся круговые и переходные кривые, практически без прямых вставок. Примером таких дорог являются построенные автомагистрали Германии. Радиусы кривых в плане на них находятся в пределах 1200-4000 м, но уменьшаются до 600-700 м в местах, где это необходимо для согласования с элементами рельефа. Многие кривые общей длиной 2-4 км состоят из дуг окружностей одного направления с радиусами 1000-6000 м (автомагистраль Франкфурт – Нюрнберг).

Исключение или сведение к минимуму прямых участков как бы меняет сам принцип трассирования. Вместо ходов по прямым и вписывания между углами поворота круговых кривых (**тангенциальное трассирование**) укладывают в соответствии с горизонталями местности круговые кривые больших радиусов и сопрягают их переходными кривыми (**клотоидное трассирование**) (рис. 17.34).

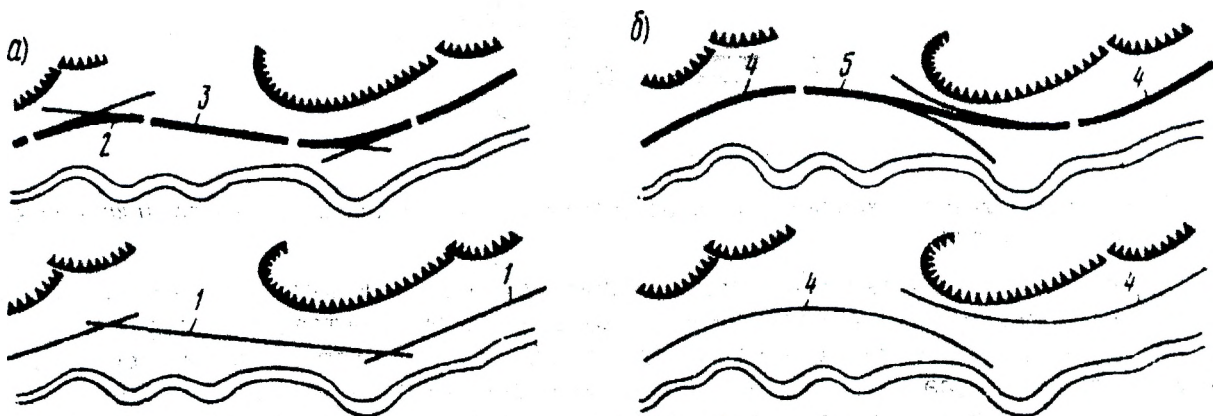


Рис. 17.34. Разница в принципах трассирования автомобильных дорог: а – трасса, запроектированная методом тангенциального трассирования; б – клотоидная трасса; 1 – прямые линии; 2 – круговые кривые, вписанные в углы прямых линий; 3 – прямой участок трассы; 4 – круговые кривые, вписанные в элементы рельефа; 5 – переходные кривые, сопрягающие круговые кривые



На рис. 17.35 показан участок плана трассы дороги, на котором для большей наглядности круговые кривые нанесены жирными черными линиями. Места сопряжений между собой переходных кривых показаны кружками. В табличках выписаны параметры круговых и переходных кривых.

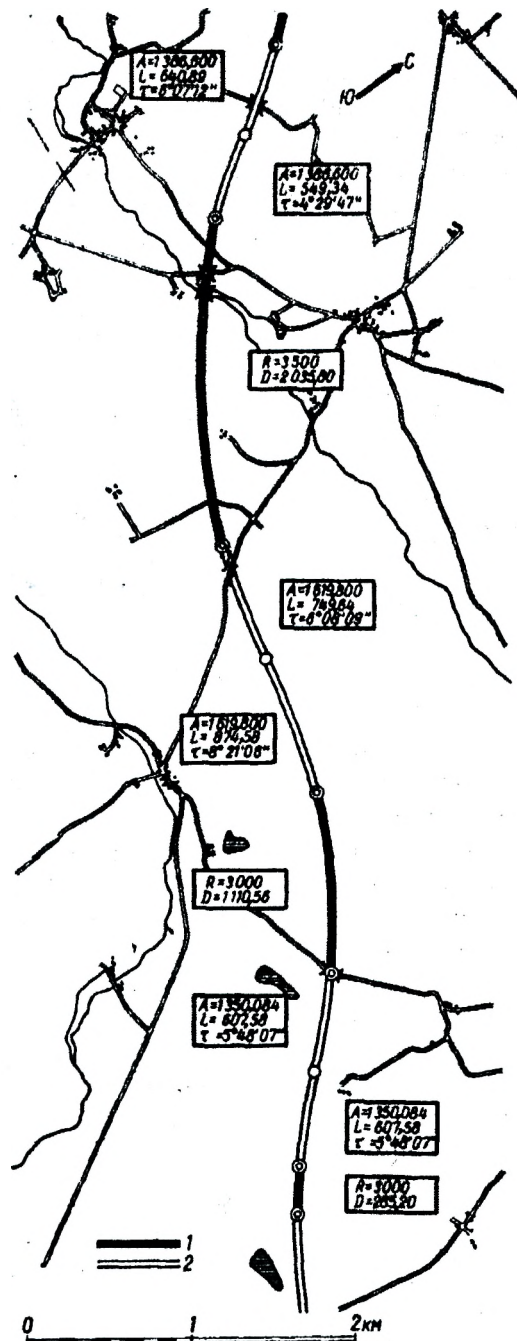


Рис. 17.35. Пример участка клотоидной трассы (дорога Лион – Париж): 1 – участки круговых кривых; 2 – участки клотоид

Такую трассу называют «клотоидной» (рис. 17.36) от немецкого названия радиоидальной спирали (радиоиды). Длины переходных кривых клотоидной трассы, как правило, значительно превышают необходимые для плавного нарастания бокового усилия при въезде на кривую малого радиуса. Такие длины необходимы для устранения оптических иллюзий крутого перелома дороги в плане, возникающих у водителей при взгляде издалека на участки непосредственного сопряжения прямых с круговыми кривыми. При введении больших переходных кривых, называемых в подобных случаях «эстетическими переходными кривыми», можно легко устранить эффект кажущегося излома дороги, который приводит к произвольному снижению скорости водителями.



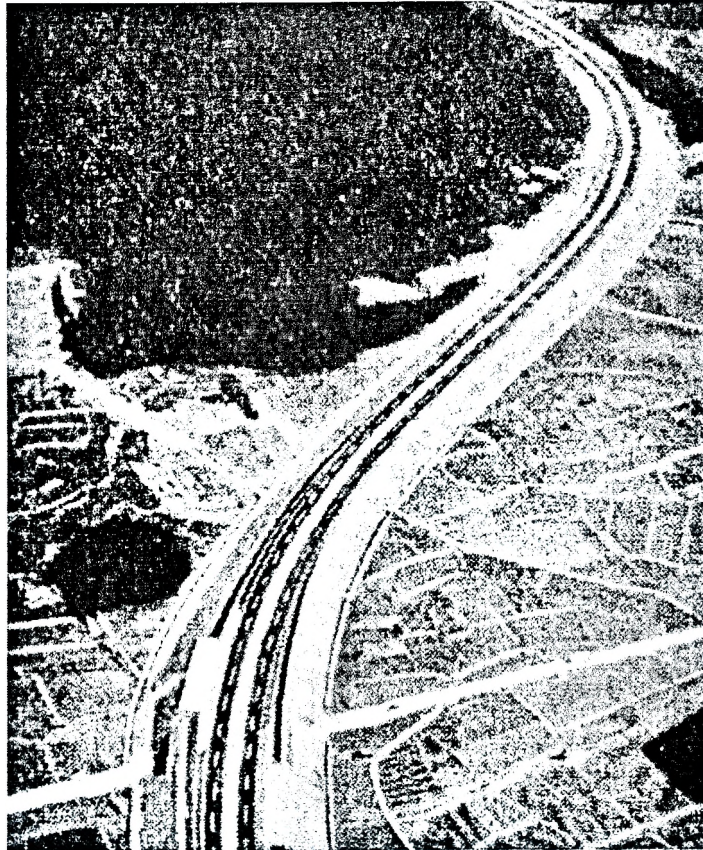


Рис. 17.36. Общий вид клотоидной трассы

Введение переходных кривых для обеспечения оптической плавности трассы необходимо лишь при радиусах кривых в плане, меньших 5000-6000 м. Искажение в перспективе кривых больших радиусов настолько мало, что поворот сохраняет плавный вид и без переходных кривых.

Клотоида имеет уравнение  $A^2=RL$ . Изменяя величину параметра  $A$ , можно варьировать крутизну переходных кривых в очень широких пределах. Проектирование клотоидных трасс и разбивка их на местности облегчается наличием подробных таблиц (Ксенодохов В.И. Таблицы для клотоидного проектирования и разбивки плана и профиля автомобильных дорог).

**Криволинейная клотоидная трасса имеет ряд преимуществ** для движения по сравнению с прямолинейными участками дорог:

- на кривых больших радиусов, на которые не распространяются ограничения правил движения, водители лучше, чем на прямых, оценивают условия обгона;
- можно считать, что условия оценки скорости встречного автомобиля значительно улучшаются, если из-за кривизны трассы угловая скорость его поперечного по отношению к встречному автомобилю перемещения достигает 15-30 угл. мин./с.;
- на кривых водитель менее подвергается опасности ослепления фарами встречных автомобилей;
- при движении по кривым водитель более контрастно видит элементы ландшафта и ситуации, не только надвигающиеся на него, но и перемещающиеся перед его глазами перпендикулярно направлению движения – смена пейзажей уменьшает утомляемость;
- криволинейность клотоидной трассы дает возможность тщательно учитывать при проложении дороги смену грунтов и геологических напластований, а также гидрогеологические условия. Используя грунтово-геологические поперечные профили притрассовой полосы (литологические поперечники), можно наметить трассу дороги таким образом, чтобы в земляное полотно попадали устойчивые однородные грунты, а врезки земляного полотна в косогор не затрагивали неустойчивых, разуплотняющихся или подверженных выветриванию грунтов;
- трассирование сопрягающимися переходными кривыми позволяет лучше вписать дорогу в ландшафт, обеспечив повышение устойчивости земляного полотна и уменьшение объемов земляных работ.



Применение клотоидной трассы, несмотря на кажущееся противоречие самой ее идеи геометрической аксиоме «прямая – кратчайшее расстояние между двумя точками», не приводит к существенному удлинению трассы по сравнению с обычным методом трассирования прямыми и круговыми кривыми. Хотя замена прямой линии переходными кривыми вызывает удлинение трассы, в связи с малым отклонением их друг от друга удлинение весьма мало.

Во Франции при опытном проектировании разными способами участка дороги Париж – Лион протяжением 15 км удлинение клотоидной трассы составило всего лишь 3,67 м. Однако более тщательное вписывание трассы в рельеф приводит обычно к существенной экономии земляных работ.

Сравнительное опытное проектирование участка дороги обычным методом и сопрягающимися переходными кривыми показало, что при клотоидной трассе уменьшение объемов выемок в среднем на 9,5% и насыпей до 30% по сравнению с трассой, проложенной тангенциальным методом. Эти примеры подтверждают экономическую и техническую целесообразность трассирования с тщательным вписыванием дорог в рельеф местности.

Ранее встречались возражения, основывающиеся на легкости разбивки прямых участков дорог, возможности движения по ним с высокими скоростями, превышающими расчетные, и на кажущейся легкости управления автомобилем при движении по прямым и кривым постоянного радиуса. Одновременно высказываются соображения о том, что движение по криволинейной трассе утомительно для водителя, поскольку требует непрерывного изменения положения рулевого колеса в соответствии с изменением направления дороги.

Этим объясняется проведение во многих странах в 1960-1980 годы обширных опытов по изучению режимов движения автомобилей в разных дорожных условиях. На основе их результатов вносятся уточнения в теоретические расчетные формулы и делаются выводы о наиболее рациональных очертаниях трассы.

Соображения, связанные с большой трудоемкостью вычислительных работ при расчетах элементов клотоидной трассы, в настоящее время уже не имеют существенного значения, так как имеются разработанные программы для ЭВМ.

При сильно пересеченном рельефе местности проложение по склонам холмов дорог с разделительной полосой требует выполнения значительных объемов работ для размещения широкого земляного полотна. При этом дорога начинает резко выделяться на местности, искажая ландшафт большими обнаженными поверхностями откосов. Это бывает особенно заметно на склонах, покрытых лесом. Глубокая врезка земляного полотна в грунтовые напластования создает опасность возникновения оползней. Более рациональное и экономичное решение достигается при расположении проезжих частей уступами в разных уровнях, что эффективно уже при разностях отметок проезжих частей более 0,1 м (рис. 17.37).



Рис. 17.37. Ступенчатое расположение проезжих частей на косогоре: а – при малой разнице высот; б – при большой разнице высот

**Расположение проезжих частей автомагистралей в разных уровнях имеет ряд достоинств:**

– дорога приобретает более красивый вид, откосы полотна имеют меньшую площадь, чем при расположении проезжих частей в одном уровне, менее подвержены размыву и быстрее зарастают;

- значительно повышается безопасность движения из-за уменьшения, а иногда и полного предотвращения ослепления водителей светом фар автомобилей;
- повышается устойчивость земляного полотна против сползания на косогорных участках;
- уменьшается объем земляных работ. При проектировании одной из автомагистралей в США были сопоставлены объемы земляных работ при совместном и ступенчатом трассировании проезжих частей. В первом случае они составляли 133 000 м<sup>3</sup>/км, во втором – уменьшились до 28 000 м<sup>3</sup>/км, т. е. почти в 5 раз. Это свидетельствует о большой целесообразности раздельного проектирования проезжих частей автомагистралей в холмистой местности;
- отпадает необходимость устройства подпорных стенок;
- невысокие откосы могут быть плавно сопряжены с прилегающей местностью путем округления их верхних кромок;
- позволяет на туристских дорогах лучше обозревать открывающиеся пейзажи в разных направлениях. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем больше разность отметок проезжих частей;
- позволяет лучше согласовать автомобильную дорогу с элементами рельефа, устраняя впечатление несоразмерной ширины земляного полотна.

Каждая из ступенчато расположенных частей должна удовлетворять основным нормативам плана и профиля. Изменение этих норм в пределах ступенчатого участка не допускается.

Переходы от общего продольного профиля и плана к индивидуальному для каждой из проезжих частей не должны нарушать плавности участка в целом (рис. 17.38).

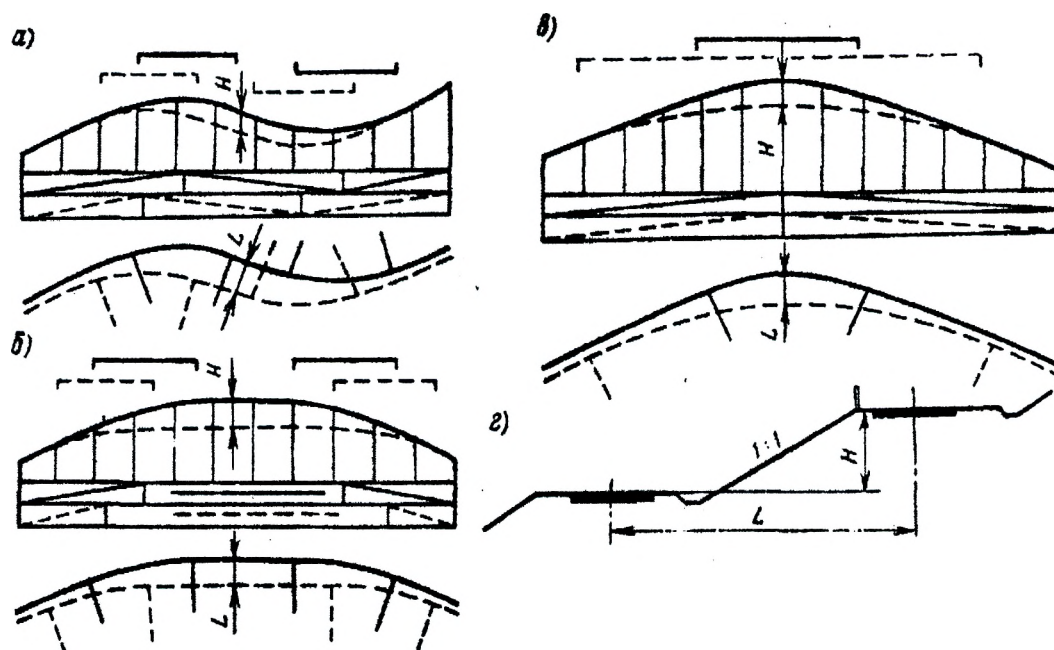


Рис. 17.38. Способы перехода от обычного расположения проезжих частей к ступенчатому на дорогах с разделительной полосой: а, б, в – продольные профили и планы трассы; г – поперечный профиль

Чем меньше заметен переход от расположения проезжих частей в одном уровне к ступенчатому, тем лучше запроектирована дорога. Неправильно, когда одна из проезжих частей отдалается от другой при помощи S-образных обратных вспомогательных кривых, ухудшающих условия движения. Для обеспечения плавности переход, как в плане, так и в профиле, наиболее целесообразно начинать с криволинейного участка.

Расстояние, на которое должны быть удалены друг от друга проезжие части, по горизонтальному и вертикальному направлениям на ступенчатых участках зависит от поперечного уклона местности. При крутых косогорах иногда приходится прибегать к устройству подпорных стенок и более сложных эстакад. При высоте откосов ступенчатых проезжих частей более 1 м должны быть предусмотрены ограждения барьерного типа.



*Вписыванию автомагистралей в ландшафт помогает также устройство разделительной полосы переменной ширины.*

При трассировании по крутым склонам вдоль речных долин прибегают также к самостоятельному трассированию обеих проезжих частей. В этом случае строятся две идущие в одном направлении дороги, по каждой из которых происходит одностороннее движение (рис. 17.39а).

а)



б)



*Рис. 17.39. Раздельное трассирование проезжих частей на косогоре*



Обеспечивая уменьшение объемов работ, такое проектирование повышает одновременно безопасность движения – устраняется опасность ослепления светом фар встречных автомобилей, возможность их столкновения. В принципе можно прокладывать дорогу для автомобилей, идущих на подъем с меньшими продольными уклонами, что существенно повышает ее транспортные качества.

Сложность в данном случае представляет задача сохранения единства впечатления одной дороги. Для этого проезжие части периодически должны сближаться и быть видны одна с другой (рис. 17.39б). В первом приближении можно считать, что эффект единого целого начинает теряться при удалении проезжих частей на расстояние, в 2-3 раза превышающее ширину земляного полотна.

**Дороги в долинах равнинных рек.** Для дорог, проходящих по речным долинам, согласование с ландшафтом определяется его элементами, совпадающими по направлению с дорогой: самим водотоком и *речными террасами* – более или менее ровными горизонтальным или слегка наклонными площадками, возникшими в результате воздействия на берега водного потока.

Террасы в речных долинах могут быть расположены в два, три и более ярусов. Обычно террасы параллельны дну ложа долины. В этом случае проложение дороги по одной из речных террас выглядит совершенно естественным и обеспечивает устойчивость земляного полотна. Проложение дороги в отдельных местах по уступу террасы может быть оправдано только необходимостью обеспечения постоянного продольного уклона. При этом нарушается целостность ландшафта из-за образующихся некрасивых голых обнаженных поверхностей откосов. Продольный профиль долинных дорог очень спокойный. Плавность трассы в плане зависит от условия вписывания в изгибы берегов выше уровня высоких вод, пересечения впадающих водотоков и от степени однородности и устойчивости грунтов пойменной террасы (рис. 17.40).

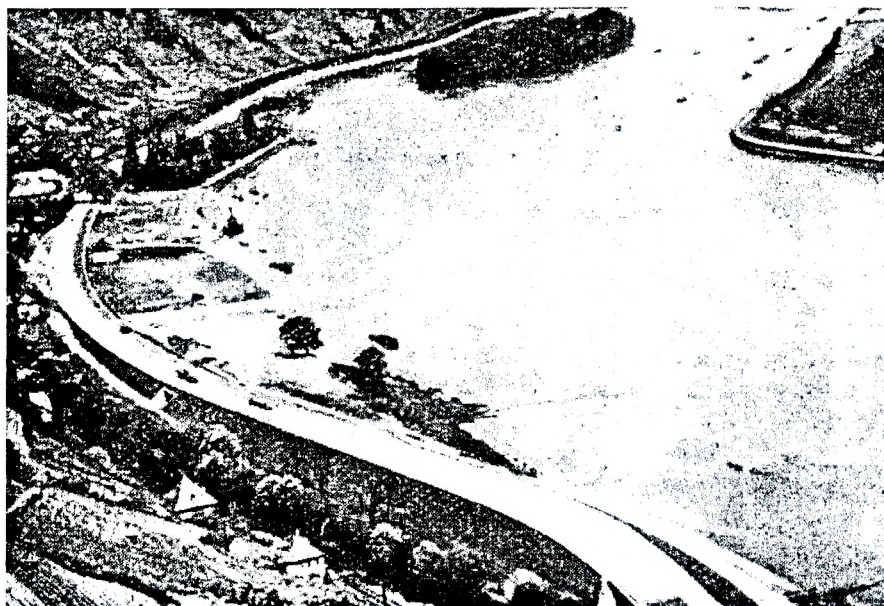


Рис. 17.40. Дорога в долине реки

### 17.6.3. Трассирование в горной местности

При проложении трассы в горной местности могут встретиться **три типичных случая** проектирования автомобильной дороги в увязке с окружающим ландшафтом:

- 1) в предгорьях;
- 2) в долинах горных рек;
- 3) на перевальных высокогорных участках.

*Первый случай* не отличается по принципам трассирования от уже рассмотренных выше. Предгорье обычно представляет собой наклонную равнину, переходящую в холмистую местность вблизи гор. В зависимости от удаления трассы от горной цепи могут быть использованы методы трассирования, описанные выше в разделах о степном и холмистом рельефах.



*Дороги в горных долинах* обычно связывают расположенные в них населенные пункты с дорожной сетью предгорья или являются начальным участком магистральной дороги, пересекающей горные цепи. Их проектирование должно учитывать особенность горно-долинного ландшафта – ширину долины, ее поперечный профиль и характер геологического строения склонов.

В нижней части, у выхода рек на предгорье, долины имеют большую ширину. Значительная их часть образована аллювиальными отложениями, в которых водоток прокладывает себе постоянно меняющееся положение – «блуждающее» русло. Блуждающие русла вызывают необходимость строительства сложных берегоукрепительных сооружений, что делает целесообразным лишь один прием трассирования – проложение дороги по нижней береговой террасе. Такие трассы называют *стесненными в плане*, поскольку продольный уклон дороги определяется продольным уклоном речной долины, как правило, много меньшим, чем предельный допустимый продольный уклон.

Ближе к верховьям горные долины сужаются, а уклон их увеличивается. Склоны становятся более крутыми. На них появляются выходы скал. Высотные элементы ландшафта начинают настолько преобладать, что неподчинение им направления дороги сопряжено с устройством дорогостоящих инженерных сооружений.

***Поэтому согласование с ландшафтом для большинства горных дорог сводится к огибанию элементов горного рельефа, с отклонением на минимальную величину, необходимую для соблюдения требований к элементам плана и профиля в трудных условиях рельефа.***

Наиболее правильно расположение дороги на полке, вырубленной в скале. При широком земляном полотне становится целесообразным раздельное проектирование проезжих частей для движения в разных направлениях иногда при значительном смещении их по высоте. В некоторых случаях приходится прибегать к строительству сложных эстакад и подпорных стенок (рис. 17.41).

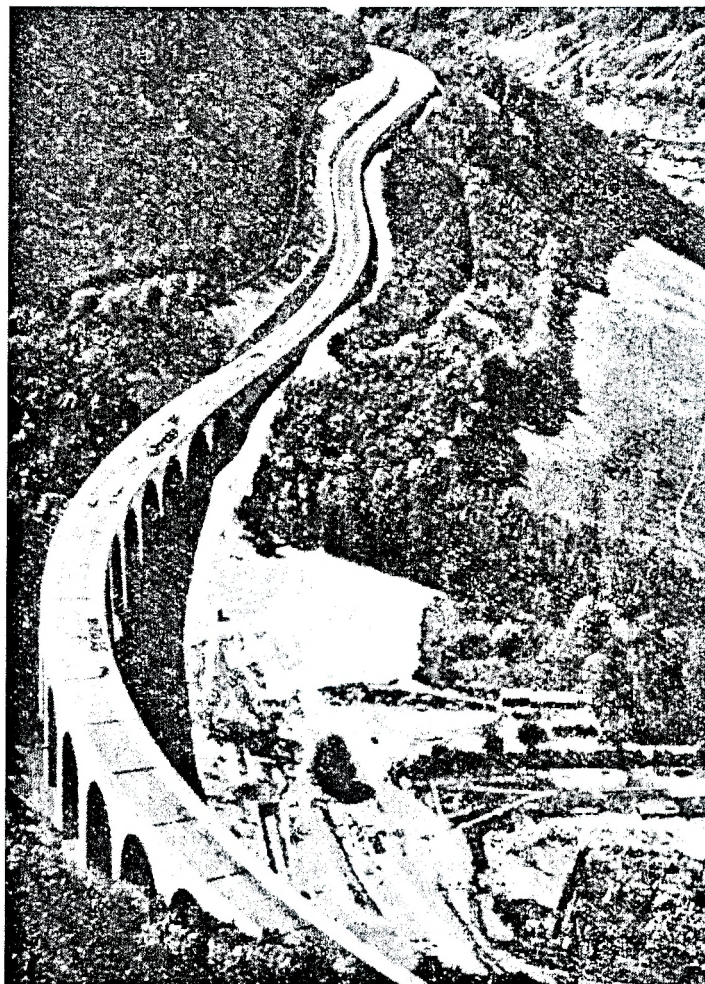


Рис. 17.41. Горная дорога с криволинейной эстакадой



Трасса дороги, проходящая по склону горной долины, пересекает впадающие в нее многочисленные водотоки. При малом расходе ливневых вод наиболее целесообразно строить трубы с подходными руслами, обеспечивающими гашение скорости протекающей воды. Для пересечения больших водотоков в целях уменьшения длины и высоты моста приходится осуществлять заход в боковую долину. Это мероприятие, бесполезно удлиняющее дорогу в нижней части долины при максимальном допустимом продольном уклоне дороги, большем уклоне долины ( $i_{max} > i_{дол}$ ), становится основным приемом трассирования, позволяющим проложить дорогу в верхней части долины при  $i_{дол} > i_{max}$ .

Пересечение водотока в боковой долине приходится осуществлять в стесненных условиях, не позволяющих применять большие радиусы кривых в плане. Однако в большинстве случаев можно получить трассу с приемлемыми технико-экономическими показателями, располагая мост на кривой. Распространенная ранее практика строительства прямого моста с непосредственно примыкающими к нему подходами по кривым весьма малого радиуса не правильна и приводила к весьма неудобным и опасным участкам дорог (рис. 17.42).

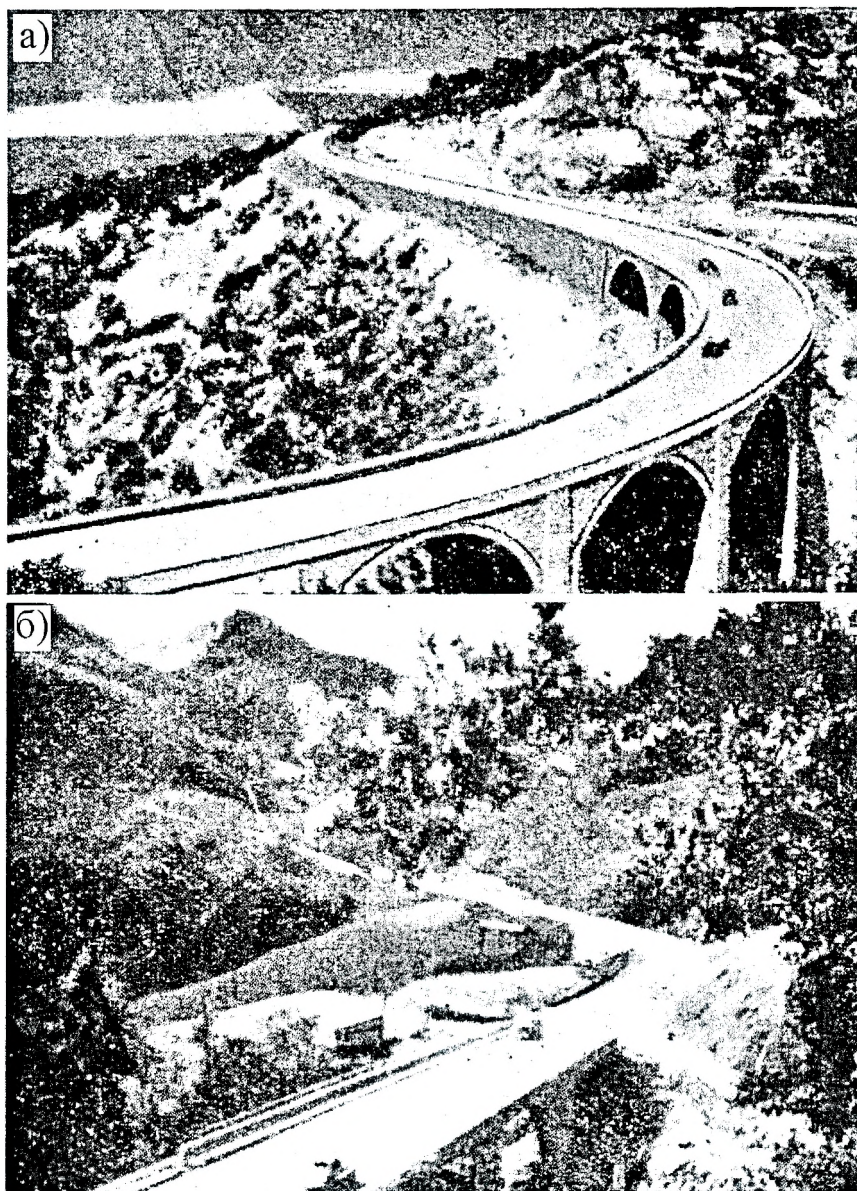


Рис. 17.42. Различные способы расположения моста через водотоки в боковых долинах: а – правильный; б – неправильный

При проложении по склонам дорога прорезает скальные выступы короткими тоннелями или глубокими выемками. Устройство внутренней облицовки тоннелей в этом случае обычно не требуется, но необходимо уделить должное внимание оформлению порталов (рис. 17.43).



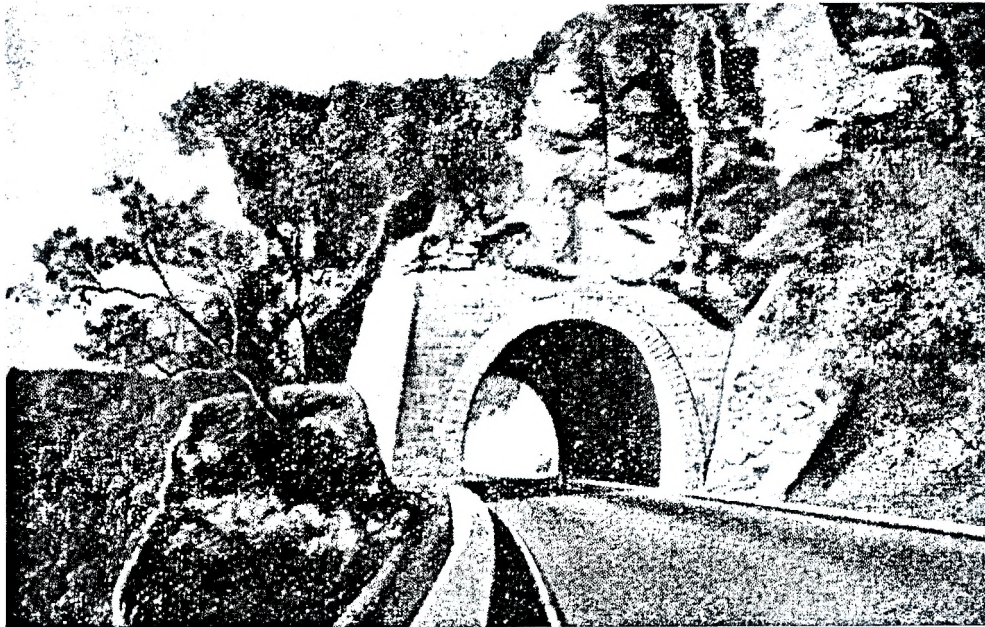


Рис. 17.43. Портал малого тоннеля

При выемках нужно удалять остающийся с внешней стороны скальный выступ, некрасивый и мешающий зимнему содержанию дороги (рис. 17.44). Красивые выходы естественных скальных обнажений на откосах надо сохранять и подчеркивать.

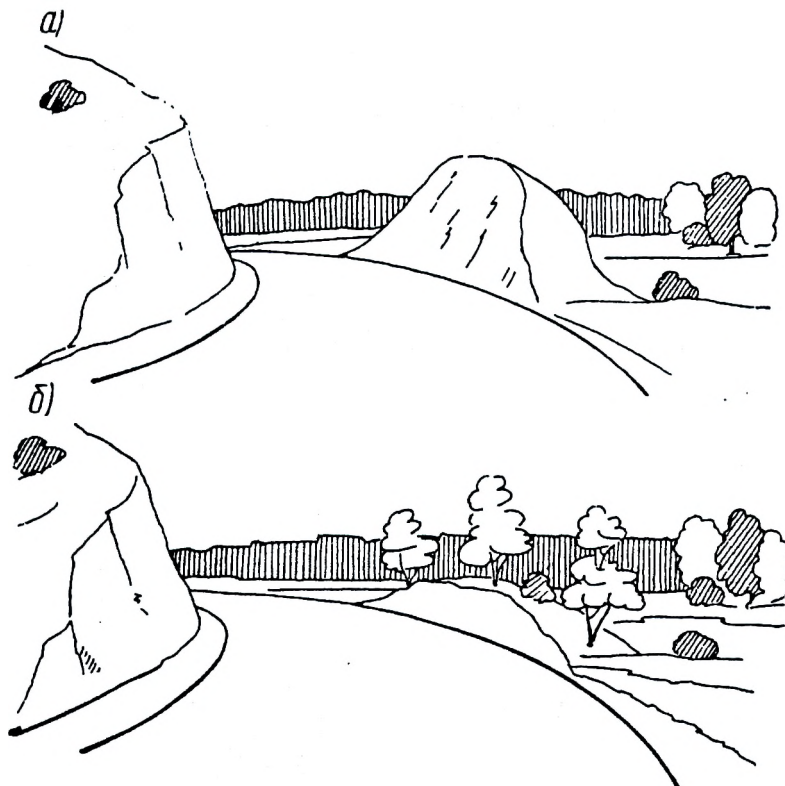


Рис. 17.44. Удаление скального выступа выемки: а – выемка со скальным выступом; б – срезанный скальный выступ

Дорога магистрального типа, при строительстве которой необходимо выдержать достаточно высокие технические нормативы, приобретает решающую роль в формировании нового ландшафта горной местности. Контраст между легкими очертаниями современных мостов и массивными суровыми формами горных склонов подчеркивает их наиболее выразительные особенности. Мосты кажутся еще более изящными, ущелья и покрытые лесом горы – еще более дикими и величественными (рис. 17.45а, б).



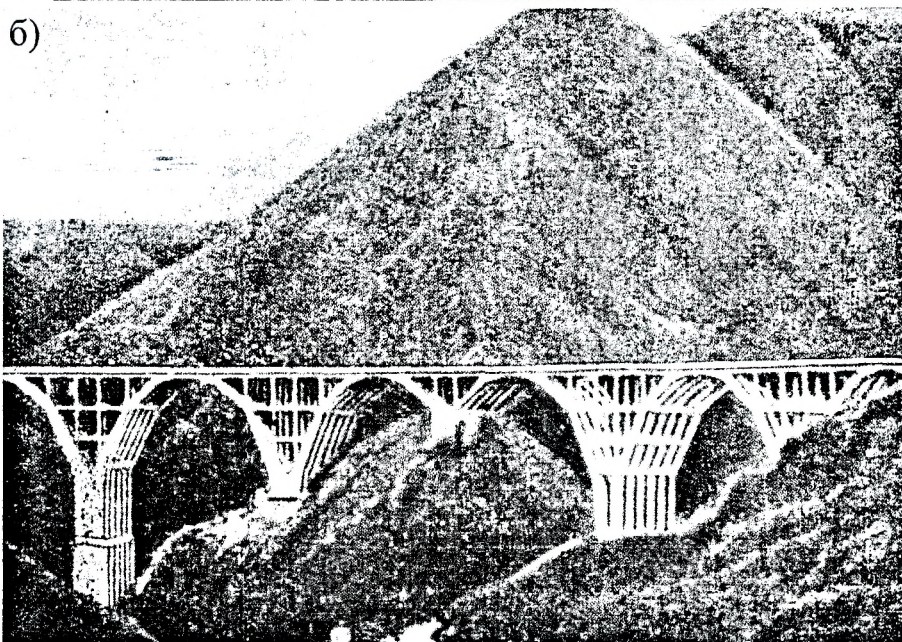
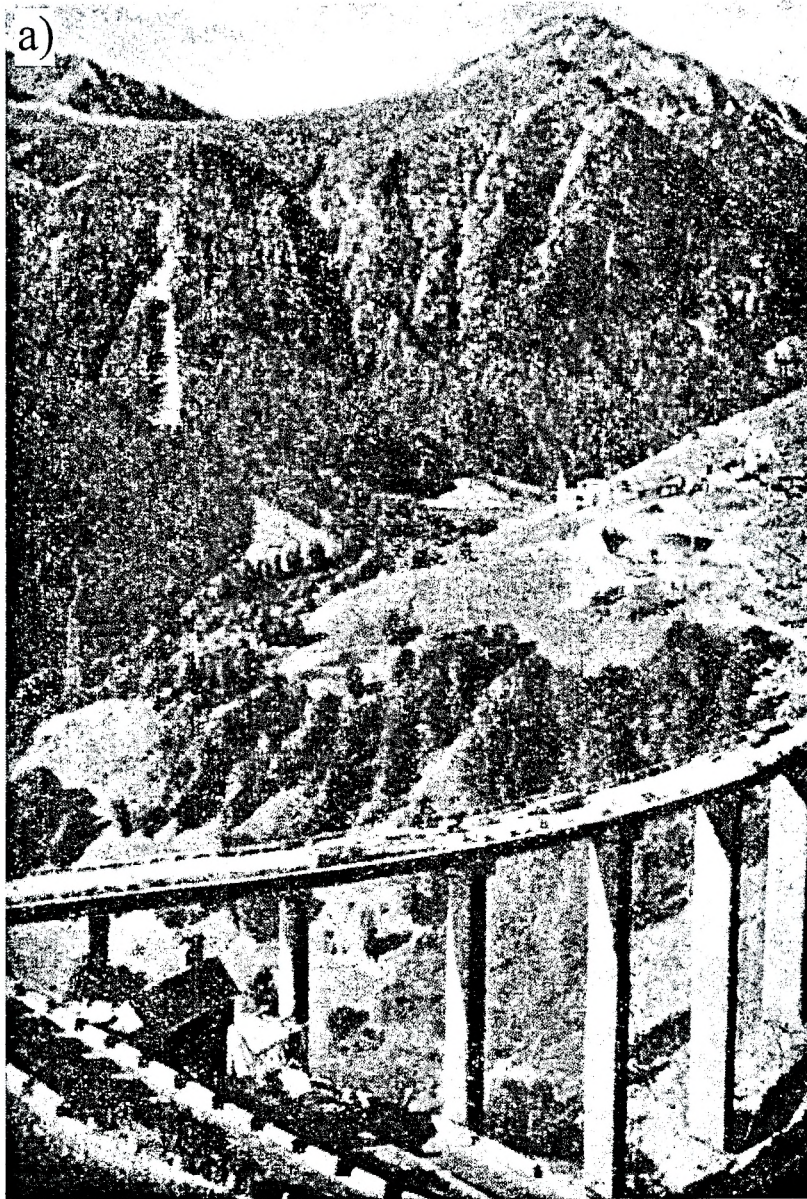


Рис. 17.45. Автомагистрали в горном районе: а – переход глубокой долины виадуком, расположенным на кривой; б – переход двух долин общим виадуком



При строительстве дорог в горных районах приходится выполнять значительные объемы земляных работ, устраивать многочисленные петли и серпантины, подпорные стенки, мосты и специальные сооружения – тоннели, противолавинные и противоселевые галереи. Эти монументальные сооружения, выделяясь на однообразной поверхности склонов, сосредоточивают на себе внимание и становятся благодаря этому характерными элементами, определяющими и обогащающими ландшафт. В данном случае гармоническое сочетание дороги с ландшафтом достигается контрастом между геометрически правильными элементами земляного полотна и искусственных сооружений и бессистемной хаотичностью горного ландшафта.

Автомагистраль в горах, смело прорезающая скальные выступы и перекрывающая арочными или висячими мостами горные потоки и ущелья, оценивается зрителями как доказательство созидательной мощи человека, подчиняющего себе природу.

По мере приближения к перевальным участкам глубина долины уменьшается, а в плане она приобретает форму сложного замкнутого пространства. На высокогорных участках долины имеют ступенчатый продольный и корытообразный поперечный профили (*троги*). Большие уклоны вынуждают при трассировании дороги прибегать к искусственному развитию трассы. При этом, в зависимости от условий рельефа, используют один из следующих приемов:

- развитие линии с заходом в боковую долину;
- развитие линии с устройством петель и серпантин (рис. 17.46);
- устройство глубокой выемки или тоннеля.

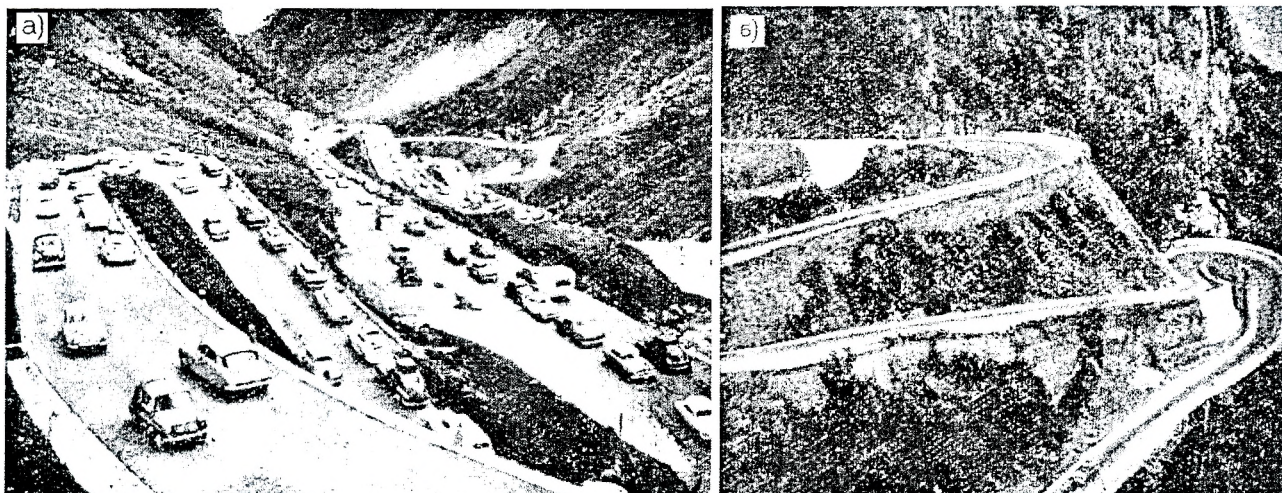


Рис. 17.46. Развитие линии трассы при помощи серпантин: а – при переходе из ущелья к подъему на перевал; б – на крутом косогоре

Прибегая к одному из этих решений, следует учитывать, что на высокогорных участках, выше уровня лесов, дорога становится господствующим и организующим элементом однообразных крутых склонов безлюдного необжитого ландшафта. Особое значение приобретает плавность ее трассы, сосредоточивающей на себе внимание на фоне горного склона. Несмотря на это, при проектировании горных дорог методы ландшафтного проектирования не должны вступать в противоречие с решениями, необходимыми для обеспечения устойчивости земляного полотна и защиты дороги от оползней, осыпей, лавин или селевых выносов. Выбор трассы, в первую очередь, определяется инженерно-геологической оценкой горных склонов. Перед инженером-дорожником стоит трудная задача нахождения в сложных геофизических условиях проектного решения, удовлетворяющего требованиям транспорта, прочности и красоты.

В согласовании горных дорог с ландшафтом большое значение имеет оформление откосов и обнажений, получающихся при устройстве земляного полотна на полке. Высокий оголенный склон подвержен эрозионным процессам, зарастает медленно и надолго портит местность, по которой проходит дорога.

Утраченный тонкий поверхностный слой почвы трудно восстановить, а посадка отдельных деревьев и кустарников в искусственные карманы, выдолбленные в склоне и заполненные растительным грунтом, или в прикрепленные к скале проволочные сетки с грун-



том слишком дорогое и трудоемкое мероприятие, чтобы можно было рассчитывать на его широкое распространение.

В благоприятных климатических условиях хорошие результаты для маскировки обнаженных откосов может дать посадка вьющихся растений типа плюща. Откосы в неустойчивых, подверженных осыпанию или сплывам грунтах нуждаются в устройстве одевающих подпорных стенок. Как показывает опыт японских дорожников, применение сборных элементов дает возможность сочетать простоту и достаточную дешевизну строительства с красотой сооружения (рис. 17.47).

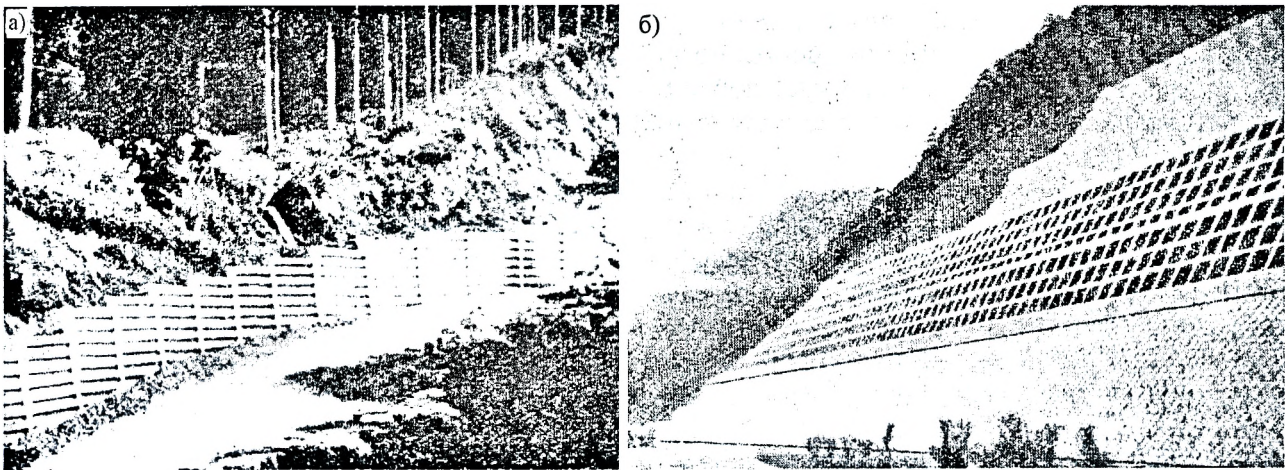


Рис. 17.47. Подпорные стенки из сборных элементов: а – из элементов балочного типа; б – из сборных бетонных элементов

Хорошие результаты дает применяемое в Японии укрытие осыпающихся откосов свешивающимися проволочными сетками. При правильном выборе тона окраски сетки защита дороги от камнепада сочетается с сохранением естественного вида горных склонов. Совсем иначе выглядит закрепление подверженных выветриванию скальных выходов торкретированием, также часто применяемое в Японии. Гладкие цементированные поверхности, контрастно выделяясь на фоне смежных естественных поверхностей, создают впечатление грубо отремонтированных мест. Поэтому прогрессивный метод укрепления должен сочетаться с отделкой поверхности бетона и посадками декоративных вьющихся растений.

Желательно, чтобы одевающие подпорные стенки не закрывали вид со стороны дороги на верховой откос. Если подпорная стенка слишком высока, у едущих создается впечатление «тоннельности» – неприятное ощущение движения в тесном, ограниченном сбоку пространстве. Оно приводит к смещению траектории движения к оси дороги и к снижению скорости, что способствует дорожно-транспортным происшествиям.

### 17.7. Согласование земляного полотна с ландшафтом

В согласовании автомобильных дорог с ландшафтом существенную роль играет поперечный профиль земляного полотна. Принцип увязки дороги с ландшафтом требует, чтобы дорога резко не выделялась на окружающей местности. Поэтому были предложены конструкции земляного полотна с округленными очертаниями пологих откосов, плавно сливающихся с поверхностью прилегающих элементов рельефа.

Пологие обтекаемые откосы имеют ряд несомненных достоинств по сравнению с обычно применяемыми откосами геометрически правильных очертаний:

- повышается безопасность движения, поскольку при замене боковых канав мелкими, поросшими травой округленными лотками, автомобиль, потерявший управление, может съехать по пологому откосу с насыпи на прилегающую полосу отвода;
- повышается психологическая уверенность водителей, так как они видят весь откос, а не только бровку земляного полотна, как при движении по дороге с крутыми откосами;
- пологие откосы на невысоких насыпях при коэффициентах заложения 1:4 и положе позволяют отказаться от установки боковых ограждений барьерного типа. На автомагистралях такие ограждения иногда становятся причиной тяжелых аварий, так как при заезде автомобиля за разделительную полосу встречные автомобили не имеют возможности уклониться от столкновения, съехав с дороги на придорожную полосу;



- обеспечивается лучшее обтекание земляного полотна снеговетровым потоком, в результате чего снег переносится через дорогу, не откладываясь на проезжей части;
- пологие откосы меньше размываются водой и быстрее зарастают травой;
- улучшается испарение влаги из земляного полотна, что благоприятно влияет на его водно-тепловой режим;
- пологий откос переменной крутизны позволяет плавно сочетать земляное полотно дороги с прилегающей местностью.

В начальный период строительства к земляному полотну автомагистралей предъявлялись те же требования, что и при строительстве железных дорог. Земляное полотно подчеркнуто выделялось на местности своими четкими геометрическими очертаниями, правильными плоскостями крутых откосов насыпей и выемок с резко очерченными бровками. Вскоре, однако, выявилась нецелесообразность таких решений с точки зрения безопасности движения и удобства эксплуатации.

Поэтому, начиная примерно с 1935 г., в проектах разных автомагистралей, строящихся в США и в Западной Европе, было предложено большое количество типов поперечных профилей обтекаемого земляного полотна. Их осуществление в процессе строительства при современных средствах механизации для производства земляных работ не вызывает никаких затруднений.

В СССР обтекаемые поперечные профили были применены впервые на Московской кольцевой автомобильной дороге (рис. 17.48).

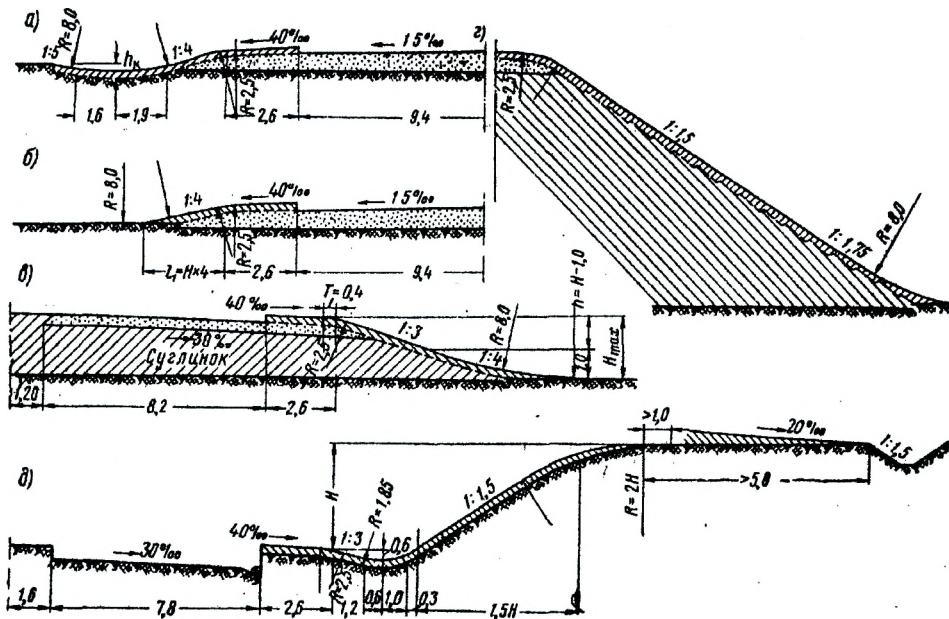


Рис. 17.48. Поперечные профили земляного полотна Московской кольцевой дороги а – невысокая насыпь с лотком вместо боковой канавы; б – невысокая насыпь с пологими откосами; в – насыпь высотой до 2 м; г – высокая насыпь с откосами переменной крутизны; д – выемка с лотками и округленными кромками откосов

Несмотря на значительное разнообразие предложенных конструкций обтекаемого земляного полотна, их анализ позволяет установить следующие **общие тенденции** в области проектирования поперечных профилей:

**1. Мелкие выемки и невысокие насыпи обязательно устраивают с пологим заложением откосов.** Коэффициент заложения откосов принимают тем большим, чем ниже насыпь. У малых насыпей и мелких выемок откосы делают с заложением до 1:5-1:6. Устройство таких откосов позволяет отказаться от установки дорожных ограждений. Характерно, что такие поперечные профили, предложенные отчасти из эстетических соображений, имеют большие преимущества с точки зрения обеспечения безопасности движения.

Опыты, проведенные на испытательном полигоне фирмы «Дженерал Моторс», подтвердили безопасность пологого поперечного профиля (рис. 17.49) при съезде автомобиля, потерявшего управление. Этот профиль предложен Американской ассоциацией сотрудников дорожных организаций (AASHTO).

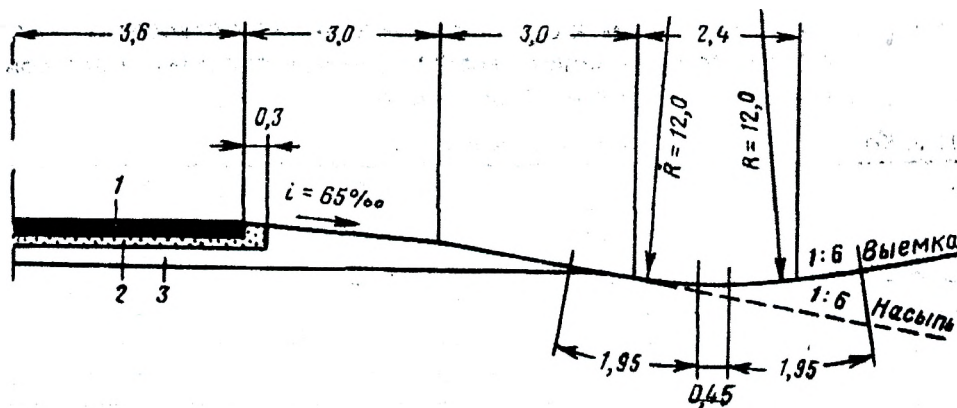


Рис. 17.49. Поперечный профиль земляного полотна, рекомендуемый в США: 1 – асфальтобетон мощностью 7,5 см; 2 – гравелистый грунт (30 см); 3 – гравий (20 см)

**2. Высоким насыпям придают постоянное по всей высоте заложение откосов** или же делают откосы ломаными, с крутизной, уменьшающейся по мере приближения к подошве. Откосы выемок чаще всего устраивают с постоянной крутизной заложения.

Высокие насыпи и глубокие выемки могут быть сделаны менее заметными на местности путем посадки на их откосах деревьев или кустарников (рис. 17.50). Устройство бермы на уровне низа посадок создает архитектурный эффект, скрадывающий глубину выемки.

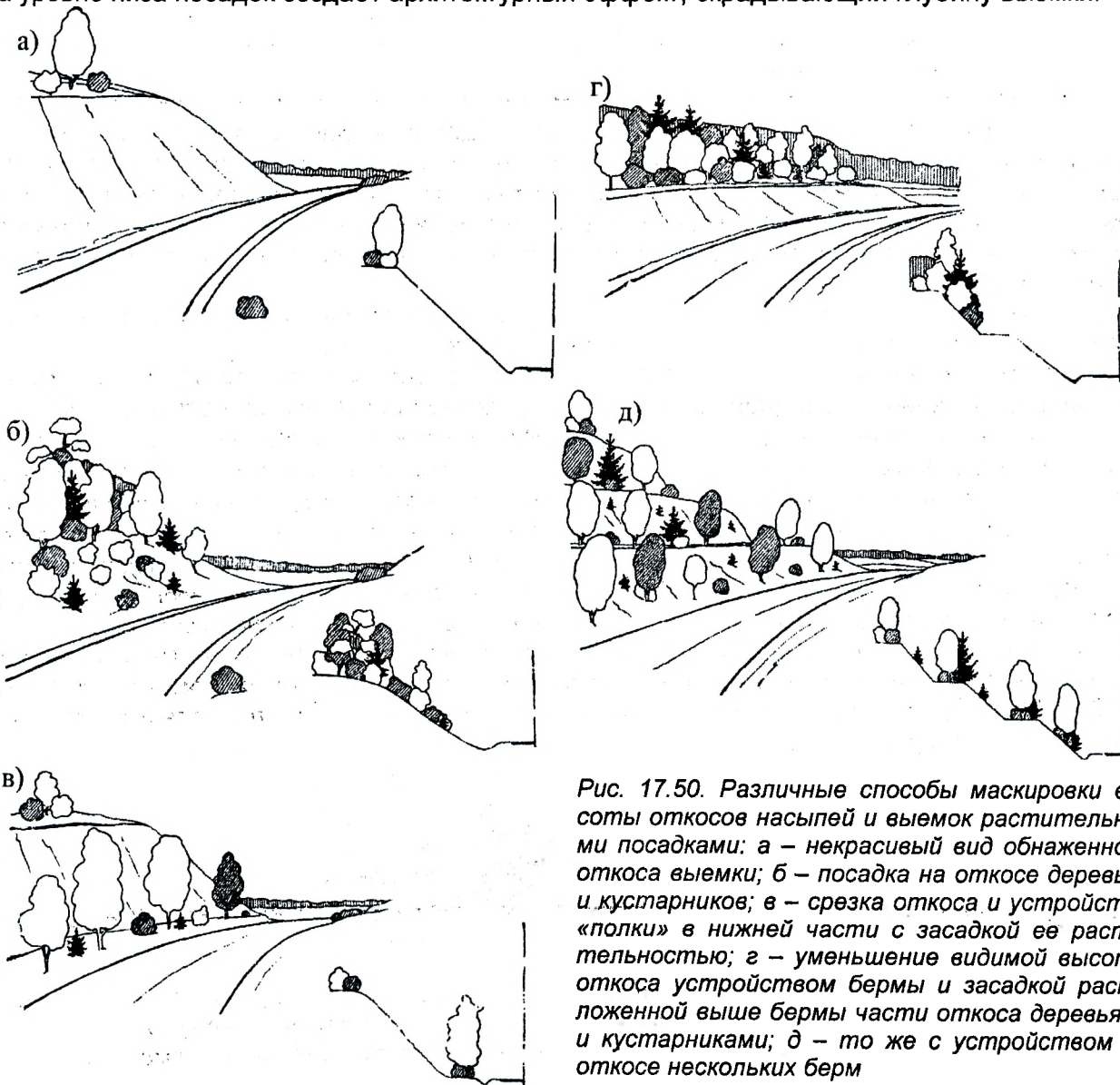


Рис. 17.50. Различные способы маскировки высоты откосов насыпей и выемок растительными посадками: а – некрасивый вид обнаженного откоса выемки; б – посадка на откосе деревьев и кустарников; в – срезка откоса и устройство «полки» в нижней части с засадкой ее растительностью; г – уменьшение видимой высоты откоса устройством бермы и засадкой расположенной выше бермы части откоса деревьями и кустарниками; д – то же с устройством на откосе нескольких берм



Устройство насыпей и выемок с постоянной крутизной откосов по высоте типично для США. В табл. 17.2 приведены величины коэффициентов заложения откосов, предусмотренные техническими условиями США на дороги между штатами.

Таблица 17.2. Коэффициенты заложения откосов (США)

Высота насыпи или глубина выемки, м	Крутизна откосов при рельефе		
	равнинном или слабо холмистом	пересеченном	горном
1,2	1:4	1:4	1:4
1,2-3,0	1:4	1:3	1:2
3,0-4,5	1:3	1:2,5	1:1,75
4,5-6,0	1:2	1:2	1:1,5
6,0	1:2	1:1,5	1:1,5

3. В Европе обычно устраивают откосы насыпей **с переменной крутизной заложения**. Так, например, по техническим условиям Германии предусматриваются коэффициенты заложения откосов насыпей на разных уровнях от поверхности земли (табл. 17.3).

Таблица 17.3 Коэффициенты заложения откосов (Германия)

Коэффициент заложения откосов	Высота откосов, м	
	крутые откосы	пологие откосы
1:4	—	> 1,5
1:3	< 1,5	1,5-3,0
1:2,5	—	3,0-4,5
1:2	1,5-3,0	> 4,5
1:1,75	—	—
1:1,5	> 3,0	—

Чтобы упростить разбивку и облегчить производство земляных работ, было предложено достигать **переменности крутизны откосов земляного полотна** путем сохранения постоянной величины заложения, выдерживая при разбивке постоянное расстояние от бровки земляного полотна до подошвы насыпи или верха откоса выемки. Австралийские инженеры признают, что это обеспечивает земляному полотну «очень приятный вид без занятия излишних земель».

Верхнюю часть откосов выемок и подошву насыпей плавно сопрягают с прилегающей поверхностью грунта, обычно по круговым кривым малого радиуса.

В лесной местности округление должно обязательно сопровождаться посадкой деревьев для создания переходной зоны между высокими деревьями и откосами выемки.

В условиях **пересеченного рельефа**, когда при проектировании ставится задача лучшего вписывания дороги в ландшафт, крутизну откосов выемок и насыпей меняют как по высоте, так и по протяжению дороги в зависимости от величины рабочих отметок. Особенно это важно для длинных выемок на прямых участках, которые оставляют у едущих впечатление траншей. Таким образом, желание слить дорогу с ландшафтом приводит к необходимости отказа от постоянства коэффициента заложения откосов и к изменению крутизны откосов с учетом самых разнообразных форм прилегающего рельефа.

4. Наряду с округлением кромок земляного полотна необходимо использовать **возможность плавных форм перехода земляного полотна в окружающие элементы ландшафта**. Пример такого поперечного профиля автомагистрали, проходящей по берегу озера, показан на рис. 17.51.

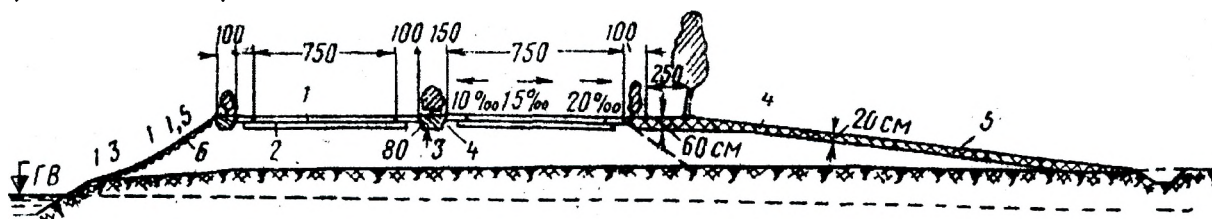


Рис. 17.51. Поперечный профиль автомагистрали, проходящей по берегу озера: 1 – цементбетонное покрытие; 2 – щебеночное основание; 3 – суглинок; 4 – растительный грунт; 5 – пологий откос, плавно сочетающий земляное полотно с лугом; 6 – укрепление прибрежного откоса, рассчитанное на набег волн

Высота насыпи и очертание ее берегового откоса определялись возможностью набегания волн с озера. Противоположный откос для лучшего согласования с местностью и плавности перехода насыпи в прилегающий луг устроен очень длинным. Пологий откос покрыт слоем растительного грунта, позволяющим быстро получить хороший травяной покров.

**5. Участки перехода из выемок в насыпи** нужно устраивать с очень пологими откосами, устраняя для едущих впечатление въезда в траншею. Это способствует также уменьшению заносимости дороги снегом. У коротких выемок для нарушения симметрии и лучшего сочетания с элементами рельефа откосы у входа и выхода (а на косогорах – и с разной стороны дороги) можно устраивать различной крутизны. Уположивание откосов на переходных участках от выемок к насыпям имеет также большое значение для безопасности движения, устраняя опасность потери управляемости при внезапном воздействии бокового ветра на автомобили, выезжающие с высокой скоростью из глубокой выемки. При пологих откосах давление ветра нарастает более замедленно, и водитель успевает к нему приспособиться.

В выемках, расположенных на кривых, иногда в целях обеспечения видимости вместо уширения можно делать внутренние откосы более пологими. Это улучшает условия видимости, так как при обеспечении расчетного расстояния видимости для легковых автомобилей позволяет видеть более высокие грузовые автомобили на большем расстоянии. Внешнему откосу, который способствует лучшему ориентированию водителей в направлении дороги («оптическое трассирование») можно придавать более крутое заложение, до 1:1,5.

На косогорных участках для лучшего слияния выемок и насыпей с природными склонами местности целесообразно заполнять пазухи с верховой стороны насыпей и срезать невысокие низовые откосы выемок. Последнее мероприятие существенно облегчает защиту дороги от снега.

**6. В местах, где дорога пересекает местность геометрически правильными очертаниями мостов и путепроводов, прилегающим участкам земляного полотна также следует придавать геометрически правильные очертания**, плавно переходя от них через 20-25 м к обтекаемым поперечным профилям.

Устройство пологих откосов, округление бровок выемок и подошв насыпей дает возможность в местах с ценными землями приблизить посевы к бровке дороги и тем самым уменьшить площади земли, изымаемые из сельского хозяйства. При очень ценных орошаемых землях, например в Японии, для сокращения площади отводимой под дорогу земли низовой откос дороги, проходящей у подошвы холмов, заменяют вертикальными подпорными стенками, которые хорошо гармонируют с прямоугольными клетками поливных рисовых полей.

## 17.8. Требования к придорожной полосе

Сочетаясь с окружающей местностью в ландшафтном отношении, автомобильная дорога должна быть отделена от нее достаточно широкой открытой полосой по соображениям безопасности движения. При этом должны быть соблюдены условия боковой видимости. Если ее нельзя обеспечить, то необходимо применять дорожные ограждения.

Целесообразно ширину полосы отвода увязать и с вероятностью неожиданного появления на дороге людей, увеличивая полосу вблизи от населенных пунктов и перекрестков или расчищая придорожную местность.

Механическое выделение постоянной по длине дороги полосы отвода оправдано только на время строительства. На период эксплуатации ширина полосы отвода должна быть пересмотрена. Тщательно спланированные широкие и мелкие резервы, покрытые сохраненным при строительстве дороги растительным слоем грунта, во многих случаях могут быть возвращены под сельскохозяйственное использование практически до бровки придорожных канав при условии разрешения дорожными организациями установки зимой на полях снегозащитных ограждений.

С другой стороны, ряд прилегающих к дороге менее ценных для сельского хозяйства земель, но отличающихся живописностью (берегам рек, около достопримечательных мест), целесообразно передавать под контроль дорожных организаций для сохранения и улучшения методами ландшафтной архитектуры.

На рис. 17.52 показан пример целесообразного расширения зоны дороги за счет включения в нее некоторых примыкающих участков.



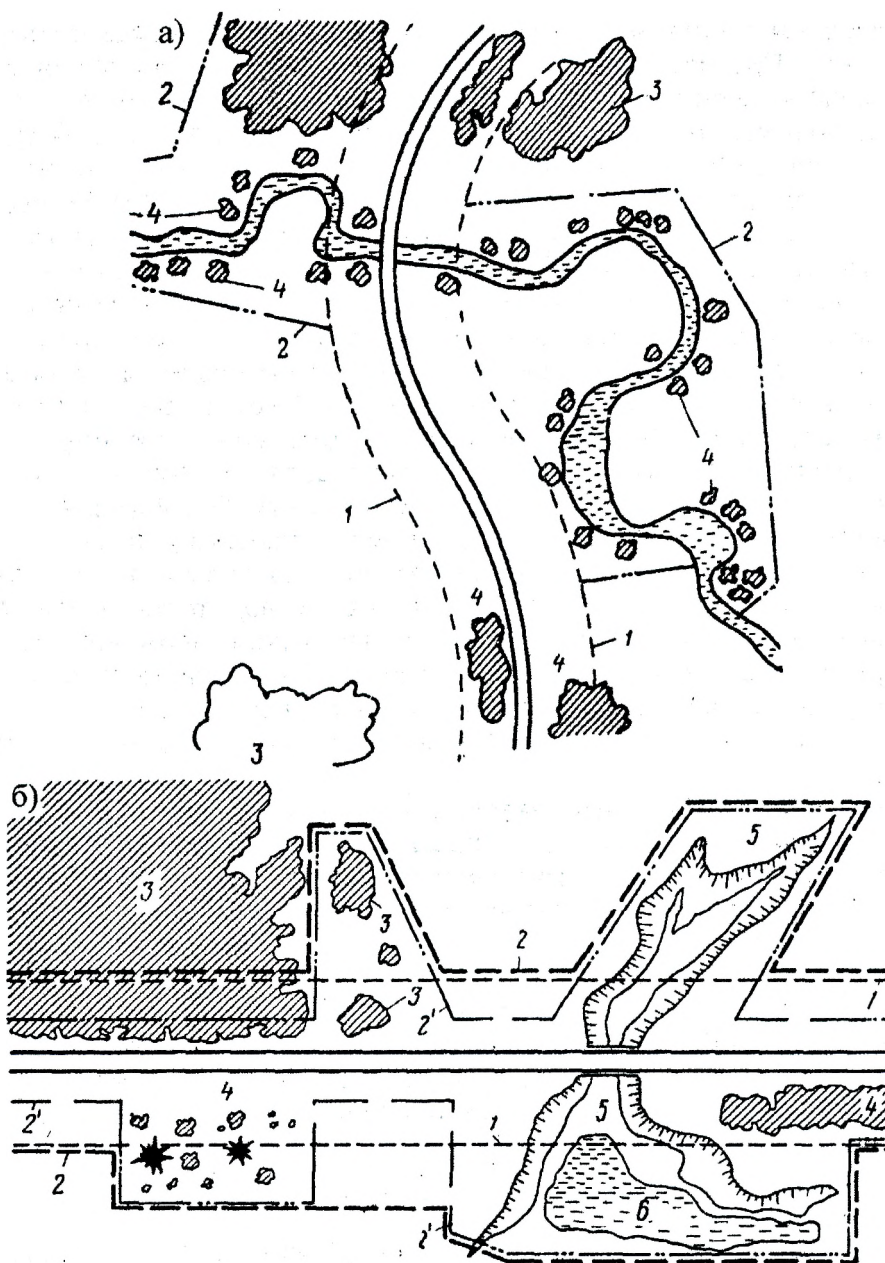


Рис. 17.52. Расширение придорожной полосы путем включения в нее малоэффективных для сельского хозяйства, но живописных, участков: а – поймы реки; б – оврага и водоема; 1 – граница полосы отвода с учетом категории дороги; 2, 2' – граница прилегающей зоны, передаваемой под контроль дорожников (2' – граница первоочередных работ по благоустройству); 3 – существующие рожи и отдельные деревья; 4 – декоративные придорожные посадки; 5 – овраг; 6 – водоем

Сохранение неизменности существующих ландшафтов без изъятия их из сельскохозяйственного использования не является принципиально новым. Примером могут служить Пушкинский заповедник Михайловское и Тригорское или поле Бородинской битвы. Нужно шире использовать эту практику в отношении придорожных ландшафтов, особенно около туристских дорог.

В настоящее время весьма жестко нормирована ширина полосы отвода на ценных сельскохозяйственных землях, зависящая от категории дорог:

категория дороги	I	II	III	IV	V;
максимальная ширина полосы отвода, м	47	31	26	24	11.

В ряде зарубежных стран, в том числе весьма густо населенных, требования к ширине полосы отвода выше, чем в Беларуси. Польские специалисты считают, что граница полосы отвода должна отстоять на 50 м от оси дороги, а допустимая линия застройки – на 100 м от края земельного полотна.

Технические условия на проектирование национальной системы междуштатных и стратегических дорог США установили следующую ширину полосы отвода в сельских районах:

<i>число полос движения</i>	2	4	6	8;
<i>ширина полосы отвода, если не устраивают параллельной дороги для местного движения, м</i>	45	45	52,5	60;
<i>при одновременном устройстве дороги для местного движения, м</i>	75	75	82,5	90.

При строительстве парковых и туристских дорог во многих странах резервируют широкую полосу отвода, рассматривая ее как своеобразную зону отдыха.

Примером весьма продуманного подхода к назначению полосы отвода для дороги важного значения являются планировочные решения Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД). Первоначально зона дороги была условно определена в среднем равной 400 м, по 200 м в каждую сторону от трассы. Впоследствии, при разработке более подробно проекта планировки, благоустройства, озеленения и архитектурного оформления зоны МКАД было решено отодвинуть на многих участках внешнюю границу зоны дороги.

Причинами явилось желание усилить санитарно-гигиеническую изоляцию прилегающей жилой застройки, а также стремление сохранить участки с ценными природными ландшафтами. Зона расширена в тех случаях, когда к ней примыкают участки с интересным в эстетическом отношении ландшафтом: поймы рек, водоемы, ложбины и т.п. На ряде участков с особо привлекательным ландшафтом запрещено в пределах зоны видимости с дороги, т.е. на расстоянии 1,5-2,0 км, всякое строительство и другие работы, могущие отрицательно повлиять на сложившийся ландшафт.

В последние годы в США и Англии появилось новое понятие о придорожном ландшафтном пространстве (*Scenic corridor*). Оно значительно шире полосы отвода и включает в себя все расположенные в зоне видимости с дороги живописные места и предметы, привлекающие внимание едущих.

Характерными элементами придорожного ландшафтного пространства являются озера и искусственные водоемы, водотоки и ручьи, необычные обнажения и выходы скал, красивые роцци и сельскохозяйственные пейзажи, открывающие виды на расположенные вдалеке населенные пункты и промышленные предприятия с красивым архитектурным силуэтом, сооружения культурного и исторического значения и т. д.

Строительство дороги всегда вызывает стремление к усиленному освоению и застройке придорожной полосы. Поэтому, чтобы сохранить ее в первоначальном виде, в США при строительстве дорог в живописных местах, не говоря уже о государственных заповедниках, часто стремятся зарезервировать полосы шириной до 450--550 м, но ни в коем случае не менее 90 м. В частности, парковая дорога из Тенесси в штате Миссисипи протяженностью 820 км имеет полосу отвода шириной 180-210 м.

У площадок отдыха, устраиваемых в местах с красивыми видами, в США резервируют полосы шириной:

- в равнинной или слабо пересеченной местности – 90-105 м;
- у основания холмов, используемых как пастбища – 15-30 м;
- вдоль рек или ручьев – 150-180 м.

Дорожники стремятся обеспечить сохранность придорожного ландшафта на длительное время после строительства дороги. В США, при строительстве дороги Маунт – Вернон Мемориал вблизи Вашингтона, была приобретена полоса леса между дорогой и рекой Потомак, имевшая ширину от 60 м до 1,5 км и более, чтобы гарантировать на долгое время возможность использования дороги как парковой.

В Англии при строительстве автомагистрали Лондон – Бирмингем и обходов ряда городов с владельцами прилегающих земель оформляли соглашения, что на прилегающей к дороге стометровой полосе будут сохранены все имеющиеся живописные деревья.

Сочетание дороги с ландшафтом требует органической связи земляного полотна и прилегающей местности. Поэтому *должна быть устранена существующая вдоль многих дорог «переходная зона» в виде неблагоустроенной полосы отвода.*



Правила отвода земель для строительства дорог предусматривают, что резервы по окончании работ должны быть приведены в состояние, пригодное для ведения сельского или лесного хозяйства. На практике обычно ограничиваются грубой планировкой бульдозером. Резерв остается впадиной, выделяющейся из окружающей местности и часто заболачивающейся. Выработанные песчаные карьеры представляют собой глубокие ямы с вертикальными стенками и неровным дном, а кавальеры – бесформенные отвалы грунта.

После окончания строительства приведение в порядок полосы отвода и ее благоустройство необходимо предусматривать еще в проектах. Целесообразно рассмотреть возможность устройства прудов в карьерах. В ряде случаев можно оборудовать выработанные притрассовые карьеры под стоянки и площадки отдыха.

В настоящее время в районах с весьма ценными для сельского хозяйства землями, например в местах поливного земледелия, *земляное полотно возводят из привозного грунта, разрабатываемого в карьерах в стороне от дороги.*

Более широкое применение принципов ландшафтного проектирования автомобильных дорог требует распространения этого метода выполнения земляных работ и на участки дорог, с которых открываются красивые виды. В связи с этим заслуживает внимания метод закладки резервов в покрытой густым лесом местности, примененный при строительстве дороги в Бразилии. Резервы закладывали параллельно дороге, оставляя между ними узкую полосу незатронутого леса (рис. 17.53), в которой через равные интервалы были сделаны просеки для проезда скреперов.

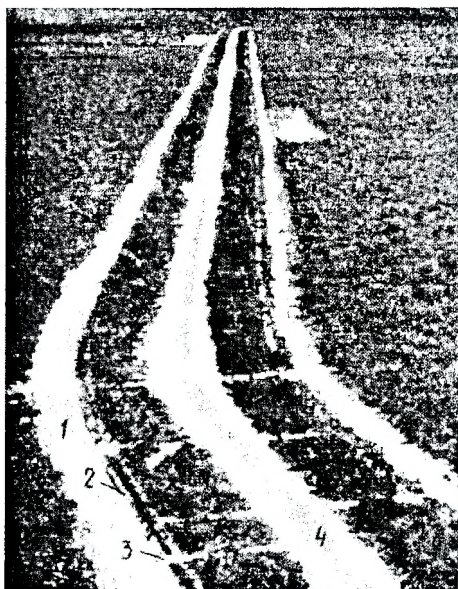


Рис. 17.53. Сохранение леса на придорожной полосе при производстве земляных работ: 1 – резерв; 2 – сохраняемая полоса леса; 3 – узкие проезды к дороге; 4 – основная дорога

Разработка каменных карьеров часто портит окружающую местность. Печальным примером может служить гора Кинжал около Пятигорска, которая была обезображена строителями дороги, заложившими со стороны, обращенной к дороге, карьеры камня.

Сегодня несомненен тот факт, что природа является национальным богатством, не только доставляющим эстетическое удовлетворение, но и приносящим большие доходы в связи с привлечением иностранных туристов. Нарушение этих красот при строительных работах наносит непоправимый ущерб, тяжесть которого будет в полной мере оценена только будущими поколениями.

Примером бережного отношения к ландшафтам может служить принятое в Венгрии решение прекратить разработку каменных карьеров на тех сторонах высоких холмов, окружающих озеро Балатон, которые обращены к курортным поселкам, расположенным по берегам озера.

За рубежом при строительстве автомагистрали грунт, получаемый во время разработки выемок, стремятся использовать для засыпки пониженных мест рельефа, а при невозможности этого отсыпают вблизи от дороги в виде искусственных холмов, на основе проектов, предварительно разработанных ландшафтным архитектором (рис. 17.54).



Рис. 17.54. Макет архитектурного оформления отвалов грунта

Восстановлению придорожной полосы может помочь рациональное использование верхних почвенных горизонтов. Широко практикующееся при строительстве аэродромов предварительное снятие растительного грунта с сохранением его в валах до конца строительства и выполнения планировочных работ в практике дорожного строительства приобрело широкое распространение и предусмотрено правилами производства земляных работ.

Помимо увязки искусственно созданного рельефа придорожной полосы с природным рельефом местности необходимо восстановление и дополнение растительных комплексов, нарушенных при строительстве дороги.

### 17.9. Площадки отдыха и стоянки

Площадки отдыха являются обязательной частью современных автомобильных дорог, предназначенных для дальних сообщений. Во время поездки пассажиры и водители часами находятся в одном положении и нуждаются в периодической разминке.

Поэтому для безопасности и удобства движения на автомагистралях специально оборудуют площадки отдыха, где автомобили, отведенные в сторону от дороги, не создают помех для движения, а водители и пассажиры могут отдохнуть вблизи от них в спокойной обстановке. Необходимость оборудования площадок отдыха доказывается опытом эксплуатации магистралей, по которым происходят дальние грузовые перевозки и туристические поездки (дороги Москва – Симферополь, Москва – Брест, Киев – Харьков и др.). У рек, в рощах, а в степных районах у полезащитных полос, стихийно возникают места, где изо дня в день останавливается для отдыха большое количество автомобилистов.

Места, специально оборудованные для этой цели, например, Парк Курской дуги, расположенный на дороге Москва – Харьков в месте одной из решающих битв Великой Отечественной войны, пользуются большой известностью.

В настоящее время дорожно-эксплуатационная служба оборудует площадки отдыха на большинстве дорог. Очень часто для них используют участки старых дорог, оставшиеся после спрямлений или увеличения радиусов кривых.

Во всех случаях целесообразнее стремиться к увеличению числа площадок отдыха, а не к развитию их площади. На автомагистралях Германии площадки отдыха располагают примерно через 8 км. Технические условия Чехии рекомендуют расстояние 5-7 км. В Беларуси площадки отдыха устраивают согласно СНиП 2.05.02-85 на дорогах I и II категорий через 15-20 км.

Планировка площадок отдыха должна быть индивидуальна в зависимости от местных условий – рельефа и ландшафта, состава движения, характера перевозок по дороге и т.д. Во всех случаях они должны обеспечивать возможность отдыха на свежем воздухе, а летом для туристов – достаточно продолжительные остановки для отдыха, приготовления пищи, купания и т. д.; в жаркую погоду желательно в прохладной тени, осенью и весной, наоборот, – на солнце в укрытом от ветра месте.

Вместимость площадок отдыха регламентируется одновременной остановкой 20-50 автомобилей на дорогах I категории при интенсивности до 30 000 авт./сут, 10-15 автомобилей на II и III категории и 10 – на дорогах IV категории.

Устройство стояночных площадок необходимо во всех достопримечательных местах, вызывающих особый интерес у едущих. Поэтому площадки следует располагать около живописных мест, пунктов исторических событий, водотоков и озер, в степных районах – у лесных массивов, в лесу – наоборот, у открытых полей.

Желательно, чтобы вблизи от площадок отдыха имелись источники воды: река, озеро, родник или просто колодец. Однако на площадках отдыха, если только для этого не оборудованы специальные места, должно быть запрещено облуживание или мытье автомобилей.



Площадка должна быть удалена от дороги и защищена от нее посадками деревьев или кустарников, чтобы остановившиеся для отдыха туристы по возможности не слышали шума проезжающих автомобилей и не ощущали запаха выхлопных газов.

Опыт устройства площадок отдыха показывает, что на них полезно иметь следующие зоны (рис. 17.55):

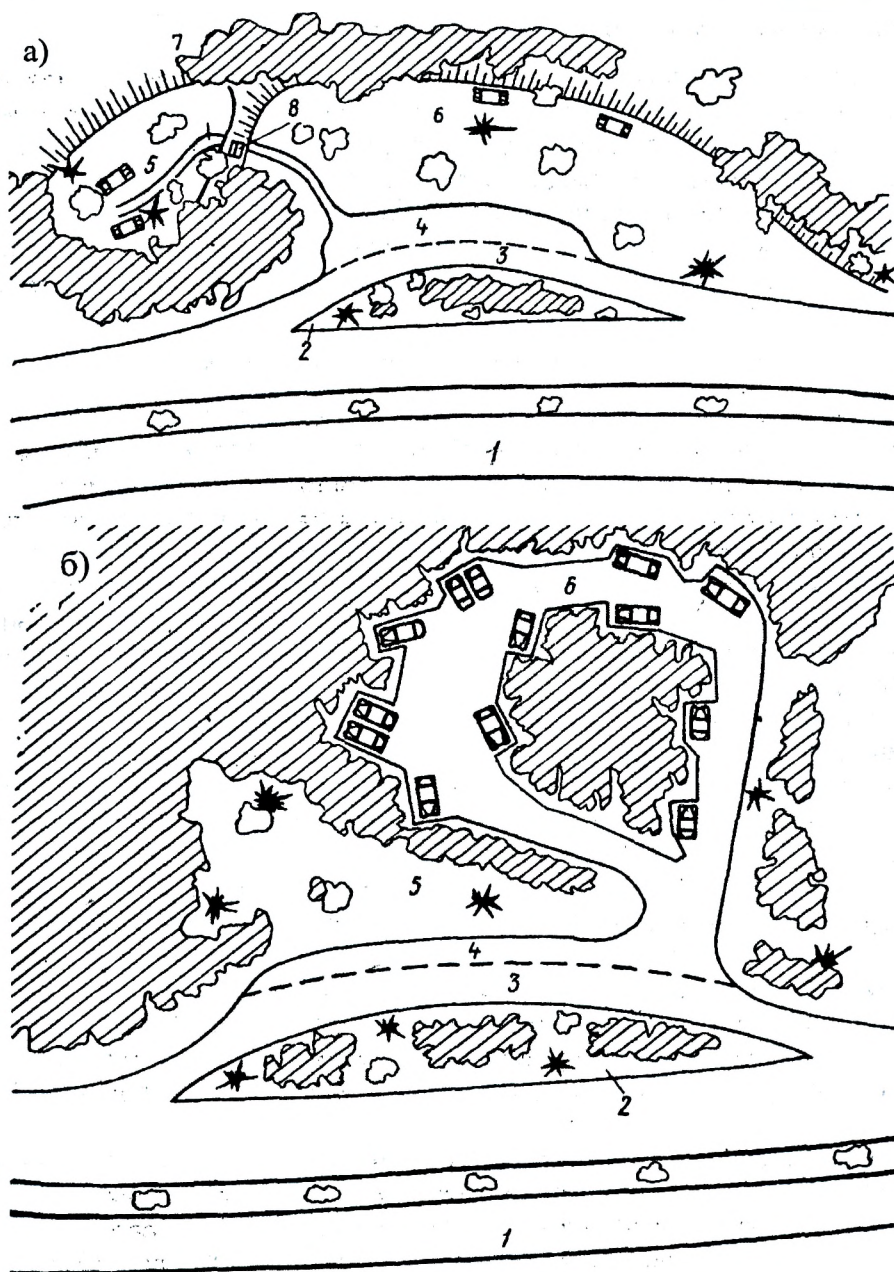


Рис. 17.55. Схемы площадок отдыха: а – площадка отдыха у места, с которого открывается красивый вид; б – площадка отдыха в лесу; 1 – основная дорога; 2 – разделительный островок; 3 – объездной путь; 4 – стояночная полоса; 5 – лужайка для отдыха; 6 – места для стоянки легковых автомобилей; 7 – пешеходная дорожка; 8 – родник или колодец

– разделительный островок шириной 5-20 м, отделяющий площадку отдыха от автомобильной магистрали. Обычно островок засаживают высокими кустарниками или деревьями, создающими живой заслон;

– полосу сквозного проезда, по которой автомобили въезжают на площадку отдыха; движение по этой полосе происходит с малой скоростью, поэтому ее ширина не превышает 1,0-1,5 ширины полос движения;

– примыкание к основной дороге производят под углом от 7 до 20°, с введением переходных кривых;

– место стоянки с дорожной одеждой, рассчитанной на тяжелые автомобили;



– полоса (обочина) с устойчивым или укрепленным грунтом, используемая как тротуар людьми, вышедшими из автомобилей. Ширина ее должна быть достаточна для прохода при открытых дверях автомобиля (4-6 м). Деревья должны располагаться не ближе 1,8 м от края одежды;

– площадки, на которых можно отдохнуть, не отходя далеко от автомобиля, на лугу или под деревьями. В местности, покрытой лесом, вырубают просеку в виде неправильного кольца с устройством покрытия облегченного типа. Для стоянки в лесу по обеим сторонам просеки создают ниши; на площадках должны быть выделены места для разведения костров, выложенные каменными плитами, устроены туалеты и мусорные ящики для отбросов, замаскированные растительными посадками.

– зона отдыха, по которой не разрешается проезд; иногда ее отделяют от площадки отдыха живыми изгородями.

Места стоянки следует располагать таким образом, чтобы стоящие автомобили не закрывали вид на окружающий ландшафт. Обычно для этого их следует размещать с нагорной стороны.

Далеко не во всех случаях природные условия удовлетворяют приведенным требованиям. Наряду с планировочными работами большое значение приобретает озеленение, выполняемое по специальным проектам.

На дорогах, используемых преимущественно для грузового движения, а также в стесненных условиях рельефа, в горной местности, в местах с землями, особенно ценными для сельского хозяйства, могут устраиваться упрощенные площадки отдыха в виде уширения проезжей части на коротком участке (рис. 17.56а).

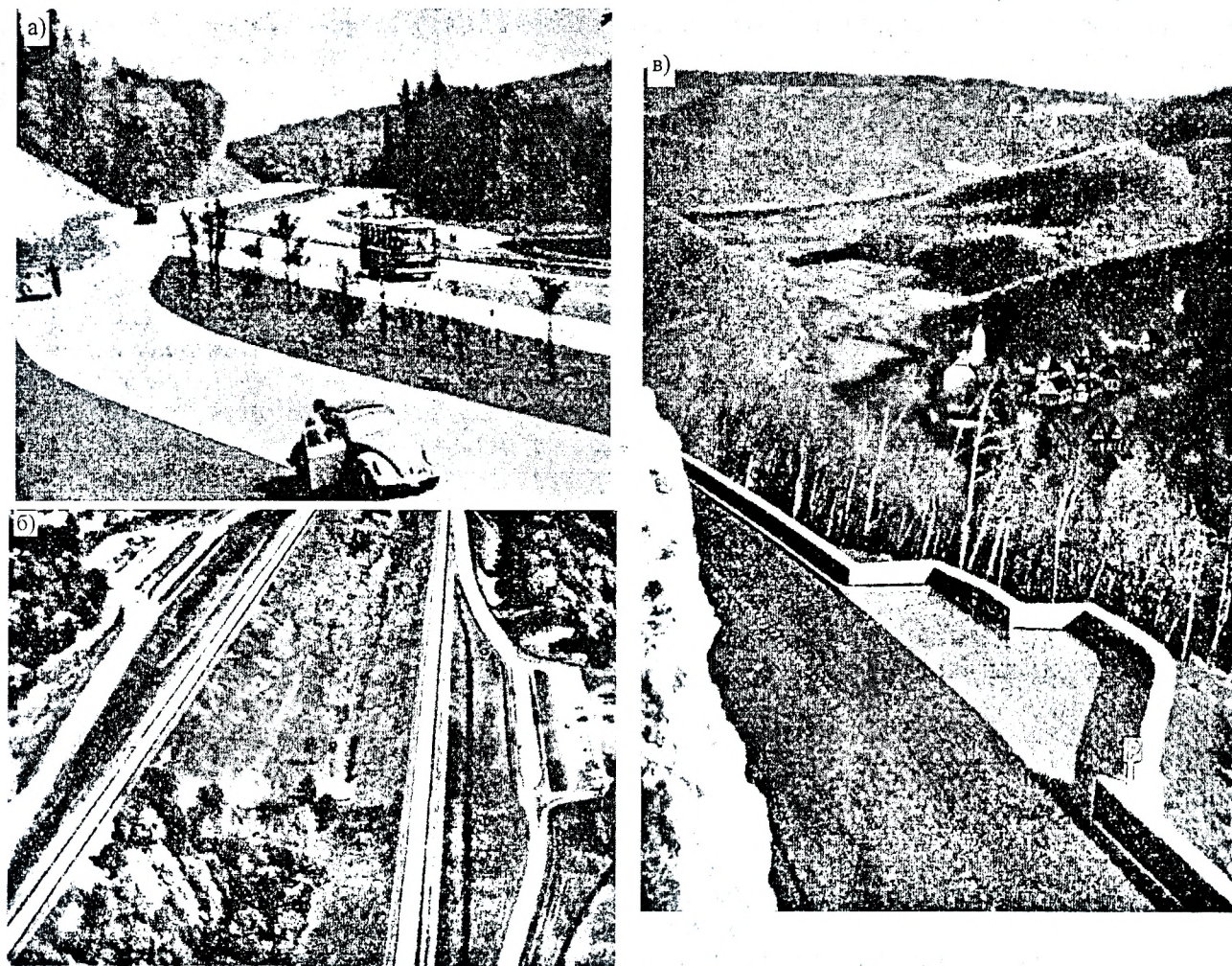


Рис. 17.56. Примеры стояночных площадок на автомагистралях: а, б – на участках со ступенчатым расположением проезжих частей; в – видовая площадка

В местах, где с дороги открываются красивые виды (например, на горных перевалах), могут устраиваться площадки для обзора. Так как остановки на них автомобилей бывают



сравнительно непродолжительными, видовые площадки делают меньших размеров, ограничиваясь обычно уширением земляного полотна (рис. 17.56б, в).

### 17.10. Дорожные знаки и рекламные щиты на придорожной полосе

Дорожные знаки и разного рода рекламные щиты, устанавливаемые на придорожной полосе, становятся элементами придорожного ландшафта.

Необходимость установки на придорожной полосе дорожных знаков всем ясна. *Знаки должны быть хорошо видимы и резко выделяться на фоне местности.* Таким образом, принцип сочетания дорожных сооружений с ландшафтом не может быть распространен на дорожные знаки за исключением указателей наименования крупных населенных пунктов, выполняемых по индивидуальным проектам. Эти знаки обычно устанавливают у границ планировочной территории, где вступают в силу ограничения скорости движения.

Количество дорожных знаков должно ограничиваться строго необходимым количеством. Каждый лишний знак отвлекает водителей, а ненужный или вводящий необоснованное ограничение режима движения ослабляет доверие к последующим знакам. Между тем каждый знак, накладывающий то или иное ограничение на скорости или режимы движения, является своеобразной распиской – признанием дорожников в неполноценности построенной ими дороги. Поэтому размещать знаки следует на основе изучения закономерностей изменения скоростей движения транспортного потока.

Первоначально знаки нужно устанавливать по расчетной эпюре скоростей в тех местах, где снижается величина коэффициента безопасности до 0,6. Через некоторый период эксплуатации, когда водители в какой-то степени изучат дорогу и сложатся режимы движения транспортных потоков, расстановка знаков должна быть уточнена. Особое внимание необходимо обращать на видимость знаков. Они должны быть заметны издали и не закрываться от водителей растительностью или элементами рельефа. В условиях однообразной, утомляющей местности, знак может являться фактором, заинтересовывающим водителя и повышающим его внимательность.

Размеры дорожных знаков заданы стандартом. Поскольку водители различают их по помещенным на знаках символическим изображениям, дорожные знаки удовлетворяют своему назначению при сравнительно малой величине. Иначе обстоит дело с указателями направлений. Надписи на них должны быть видимы на значительном расстоянии, чтобы водители могли их прочесть раньше, чем потребуются выполнить тот или иной маневр. Малые указательные знаки вынуждают водителей снижать скорость, что при неожиданном выполнении маневра часто связано с опасностью дорожных происшествий. Примером могут служить некоторые указательные знаки на развязках МКАД, которые можно прочесть, только подъехав к ним вплотную. Указательные знаки на дорогах магистрального типа должны иметь большие размеры. Во многих случаях их помещают на специальных рамах над проезжей частью. В странах, где снеговой покров непродолжителен, широко используются надписи на проезжей части.

Кроме дорожных знаков на придорожной полосе часто устанавливают щиты с рекламой. В Германии, где раньше дорожные организации получали до 5 млн. немецких марок в год (до 1985 года) за выдачу разрешений на установку реклам на придорожной полосе автомагистралей, в настоящее время установка рекламных щитов на скоростных автобанах запрещена.

Не должно делаться исключений и для щитов, призывающих водителей к внимательному соблюдению требований безопасности движения. Водитель должен помнить об опасности двойного обгона и без поставленного в случайном месте щита на придорожной полосе. На придорожной полосе допустима только установка объявлений о достопримечательных местах, исторических памятниках. Эти объявления должны удовлетворять эстетическим требованиям и устанавливаться в увязке с ландшафтом. Категорически должны быть запрещены надписи на скалах, деревьях, исторических памятниках.

Пояснительные тексты в местах исторических событий следует делать на стояночных и видовых площадках. Хорошим примером такого решения является мемориальная доска на дороге Новороссийск – Сочи у Цемесской бухты, где в 1918 г. по приказу Советского правительства были затоплены корабли Черноморского флота, которым угрожал захват германскими империалистами.

### 17.11. Озеленение дорог

Озеленение автомобильных дорог при ландшафтном проектировании приобретает более широкое значение, чем обычно понимается дорожниками. Озеленение преследует цель не украшения дороги, а усиление ее связи с окружающей природой. Оно включает в себя не только посадку новых деревьев и кустарников, но и сохранение на придорожной полосе существующей растительности, дополнение ее новыми посадками для приведения в соответствие с типом ландшафта или маскировки некрасивых мест, а в отдельных случаях и частичную вырубку, когда это необходимо для раскрытия живописных видов и достопримечательностей.

На рис. 17.57 показан предусмотренный в проекте благоустройства полосы МКАД разрыв в зеленом массиве, позволяющий видеть памятник архитектуры.



Рис. 17.57. Разрыв в зеленом массиве для раскрытия красивого вида

Насаждения являются органической частью запроектированной в соответствии с ландшафтом дороги. Нельзя, как часто думают, посадкой придорожных насаждений превратить плохо запроектированную и небрежно построенную дорогу в красивую автомагистраль.

Сказанное не отрицает, однако, возможности в некоторых случаях замаскировать посадками отдельные дефекты строительных работ (рис. 17.58).

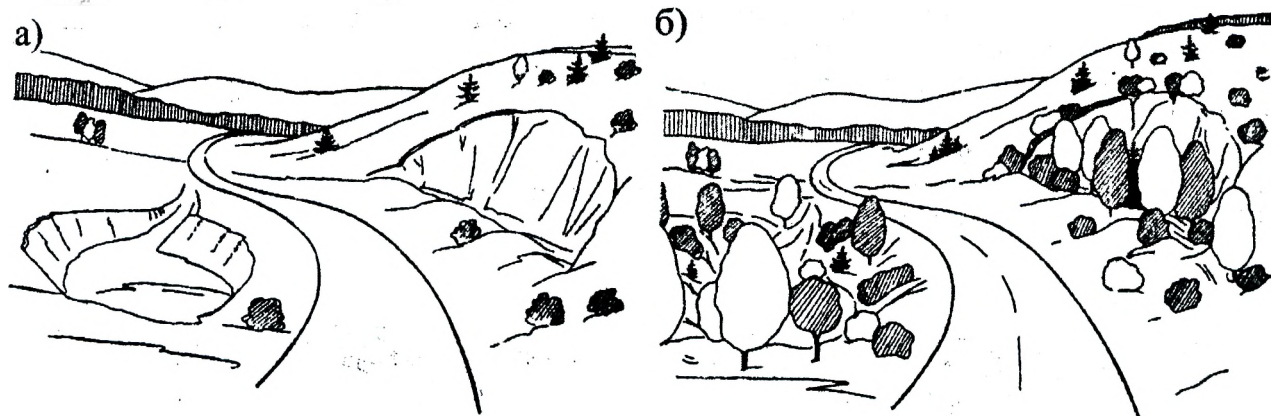


Рис. 17.58. Маскировка грунтового карьера посадкой деревьев: а – придорожная полоса после строительства; б – после декоративных посадок

Отказ от шаблонного озеленения дорог рядовыми посадками требует проведения озеленительных работ на основе специальных проектов, максимально используя существующие деревья. При их разработке приходится учитывать замедленность достигаемого эф-



фекта и изменение ландшафтных композиций во времени, по мере роста деревьев и кустарников.

Придорожные насаждения достигают своих проектных размеров через 10-20 лет. Принципиальную возможность сократить эти сроки посадкой взрослых деревьев реализовать практически невозможно из-за высокой стоимости таких работ. Независимо от того, что озеленительные работы, как правило, выполняет служба эксплуатации в течение ряда лет после окончания строительства, проект озеленения наиболее целесообразно разрабатывать в процессе общего проектирования, чтобы подчинить его тем же идеям, что и проложение трассы дороги.

**Цели мероприятий по озеленению можно свести в следующие группы.**

**1. Строительные и эксплуатационные:**

– восстановление растительности, уничтоженной или поврежденной при строительных работах:

- устройство живых изгородей, отделяющих дорогу от прилегающих полей и пастбищ;
- устройство густых придорожных посадок, задерживающих снег перед дорогой;
- закрепление осыпей, оползневых участков, оврагов, задержание снега на лавиноопасных участках;
- снижение шума, доносящегося с дороги к расположенным вблизи домам.

**2. Повышение безопасности движения:**

– оптическое трассирование – обозначение трассы дороги на значительном расстоянии, особенно за пределами фактической видимости поверхности проезжей части, предупреждение о примыканиях и перекрестках;

– защита водителей от ослепления светом фар встречных автомобилей путем посадок на разделительной полосе; обычно для этой цели, перпендикулярно к оси дороги, через 25-30 м располагают полосы густых кустарников, не развивающих толстых стволов; на кривых разделительную полосу часто засаживают сплошь, если это не создает опасности образования на дороге мощных снеговых отложений;

- защита от бокового ветра при помощи гасящих или отражающих рядовых посадок;
- устройство кустарниковых посадок, задерживающих автомобили, съехавшие с проезжей части.

В Германии было установлено, что густые сильно разветвляющиеся кустарники могут удерживать на расстоянии 3-4 м автомобиль, сошедший при скорости 90 км/ч с проезжей части под углом 30°. В США были проведены опыты по испытанию для тех же целей зарослей японского шиповника (*Rosa multiflora*).

**3. Укрепление дороги и обеспечение лучшего включения ее в ландшафт:**

– закрепление растительностью грунтовых откосов, обнаженных при устройстве выемок или созданных при отсыпке насыпей;

– сочетание дороги с прилегающими формами ландшафта; подчеркивание и выявление отдельных элементов рельефа, например, увеличение кажущейся высоты холма посадкой на нем кустарников или деревьев;

– скрадывание геометрически правильных очертаний земляного полотна посадкой кустарников на откосах;

– создание на придорожной полосе декоративных растительных групп, которые разнообразят и членият монотонный пейзаж, украшают дорогу или закрывают сооружения на придорожной полосе или некрасивые виды (рис. 17.59).

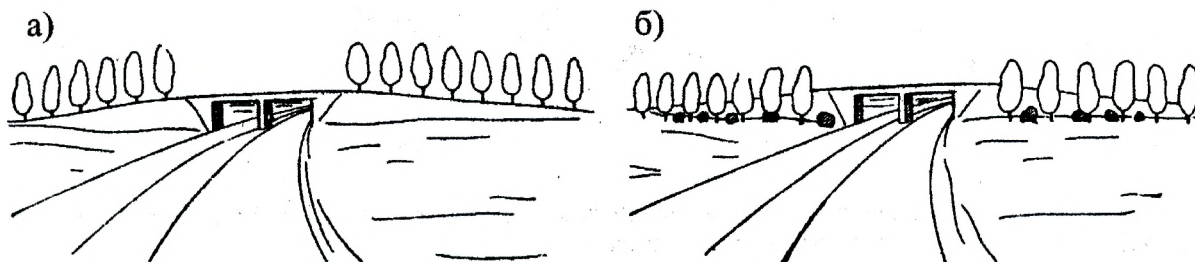


Рис. 17.59. Маскировка некрасивой насыпи на подходах к пересечению в разных уровнях: а – посадка деревьев на насыпи зрительно увеличивает ее высоту и делает ее еще более бросающейся в глаза и некрасивой; б – маскировка высокой насыпи посадкой высоких деревьев у ее подошвы

#### **4. Технологические и сельскохозяйственные задачи:**

- участие вместе с комплексом полезащитных насаждений в улучшении климатических условий путем создания микроклимата придорожной полосы;
- устройство плодовых и ягодных придорожных садов.

**Различают два основных типа лесонасаждений – снегозадерживающие и декоративные.** Снегозадерживающие насаждения конструируют как многорядные полосы из деревьев и кустарников разной высоты. Они создают заслон на пути переносимого ветром снега и вызывают его отложения. Число рядов снегозащитных насаждений назначают исходя из точного учета количества снега с прилегающих к дороге открытых пространств – «снегоборных бассейнов». Шаблон в этом отношении так же недопустим, как и в других вопросах проектирования.

В зависимости от объема снега, приносимого за зиму, количество рядов может изменяться от 2 до 12, а ширина полосы, занимаемой снегозадерживающими насаждениями, от 24 до 112 м. Для размещения снегозадерживающих насаждений выделяются дополнительные земли вдоль полосы отвода. Работающая часть насаждений обязательно включает три группы деревьев и кустарников:

- высокие деревья, создающие основное торможение снеговетрового потока и отклоняющие его вверх;
- деревья средней высоты, гасящие скорость потока;
- кустарники, задерживающие переносимый над поверхностью земли снег и вызывающие его отложения.

Правила отвода земель для строительства дорог предусматривают, что все виды декоративных посадок могут размещаться только в пределах полосы отвода. Дополнительные площади для них не выделяются.

В Беларуси основным типом озеленительных декоративных посадок в открытой местности в настоящее время являются однорядные древесные посадки аллейного типа, располагаемые у границы полосы отвода. На многих старых дорогах на большом протяжении встречаются аллеи из взрослых деревьев, растущих непосредственно на обочинах.

Этот вид насаждений не удовлетворяет требованиям безопасности движения, часто становясь причиной тяжелых аварий, затрудняет уборку снега с дороги. Постепенно деревья на обочинах должны быть заменены новыми посадками, удаленными от дороги на большее расстояние.

*С точки зрения ландшафтного проектирования аллейные насаждения имеют ряд недостатков:*

- ряды аллейных и снегозадерживающих насаждений образуют своеобразный коридор, непроницаемый и закрывающий вид на прилегающие ландшафты. Вынуждая водителей сосредоточивать свой взгляд на полотне дороги, аллейные насаждения способствуют их быстрому утомлению;

- расположенные вблизи от дороги аллейные насаждения бросают на дорогу тень при низком стоянии солнца в утренние и вечерние часы. Чередование освещенных и темных мест на проезжей части дороги может вызывать неприятное ощущение мелькания в глазах у едущих в автомобиле. Аналогичное впечатление может возникать и при движении мимо побеленных стволов деревьев, растущих у бровки дороги. Практика показывает, что неприятное впечатление создается при частоте мелькания 10-15 периодов в секунду, например, при скорости 80-100 км/ч и расстоянии между деревьями 2-3 м.

Учитывая сказанное, можно считать, что *аллейные насаждения целесообразны лишь в некоторых специфических случаях проложения трассы* – на откосах высоких насыпей в долинах рек и на затопливаемых участках, в районах искусственного орошения, мелиорации или развития полезащитных насаждений, где существующий ландшафт уже включает в себя ряды насаждений или пересечен четкими геометрически правильными линиями каналов. Аллейные насаждения считают также наиболее подходящими для пригородных участков, где они по мере приближения к городу могут переходить в бульвары, а также на подъездах к расположенным около дороги памятным местам. В последнем случае аллеи, отделяя дорогу от окружающей местности, способствуют сосредоточению внимания, а иногда и торжественности.



Аллеейные насаждения наиболее типичны для равнинного рельефа. В холмистой местности необходимость обеспечения видимости на кривых и большая ширина выемок поверху нарушает параллельность рядов деревьев и кромки покрытия, в результате чего теряются присущие аллеям строгость и правильность очертания. Аллеейные насаждения наиболее привлекательны около узких дорог, когда высота деревьев превышает ширину полотна.

*Вдоль широких автомагистралей аллеейные насаждения невыразительны.*

Соображения безопасности движения требуют удаления деревьев от дороги. Посадка деревьев рекомендуется не ближе 5 м от дороги. Технические условия на государственные автомагистрали Германии установили расстояние аллеейных насаждений в 4,5 м от кромки проезжей части.

В насыпях и выемках деревья размещаются на откосах, причем отметка корневой шейки должна отличаться от отметки бровки не более чем на 1,5 м (рис. 17.60).

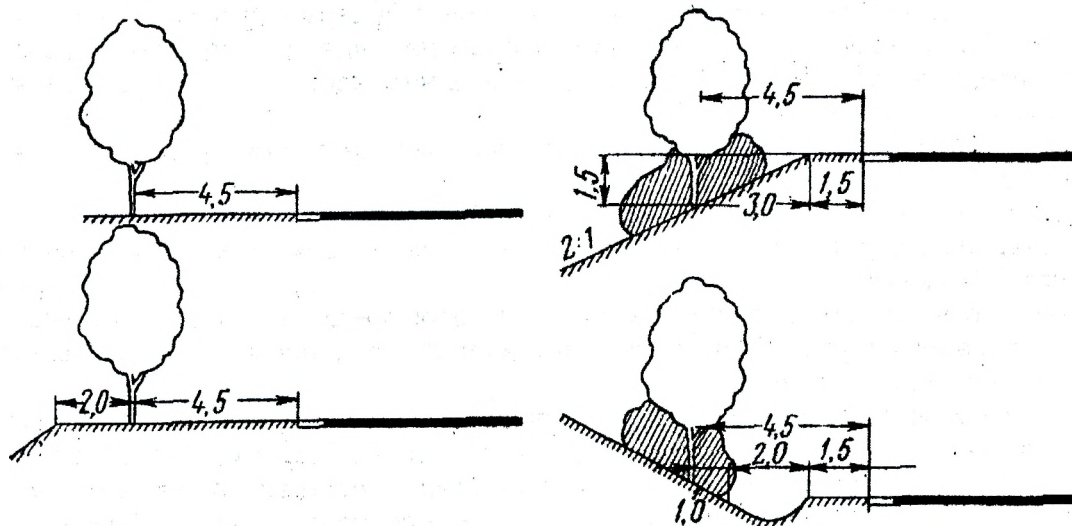


Рис. 17.60. Рекомендуемое удаление деревьев от дороги

Для уменьшения однообразности аллеейные посадки можно разнообразить приемами ландшафтной архитектуры – устройством просветов для раскрытия видов, включением групповых посадок на характерных участках дороги (перекрестки, остановочные пункты, места переломов продольного профиля, искусственные сооружения, границы просветов для открытия видов и др.).

Посадки на придорожной полосе фруктовых деревьев малодекоративны. Требования агротехники вынуждают располагать деревья на большом расстоянии друг от друга и ограничивать возможность заполнения пространства между ними кустарниками. Фруктовые посадки живописны лишь весной во время цветения. Для этой цели полезно включать вишню в придорожные насаждения.

Для придания придорожной полосе большого разнообразия ряды снегозадерживающих посадок, примыкающие к дороге, необходимо формировать из деревьев и кустарников разной высоты и конфигурации кроны, имеющих листья и цветы, отличающиеся по окраске.

Следует изыскивать все возможности и, прежде всего, учитывать господствующее направление ветра, чтобы отступать от параллельного дороге расположения снегозадерживающих насаждений. Примером такого подхода может служить создание на участках с интересными видами насаждений в виде 100-120 метровых отрезков, повернутых под углом 30° к оси дороги.

Членение однообразного зеленого фона леса, снегозадерживающих или рядовых насаждений может быть достигнуто включением в их крайний ряд, обращенный к дороге, отдельных деревьев, кустарников или их групп, а также посадкой между снегозадерживающими насаждениями и дорогой специальных декоративных групп (рис. 17.61). Эта растительность должна цвести (черемуха, сирень, вишня, шиповник и др.), обладать красивой листвой (остролистный клен, каштан, шелковица) или контрастной формой и расцветкой кроны и ствола (ель, береза, ива).

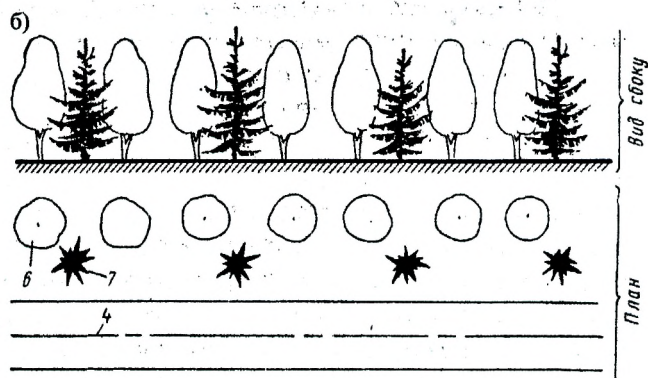
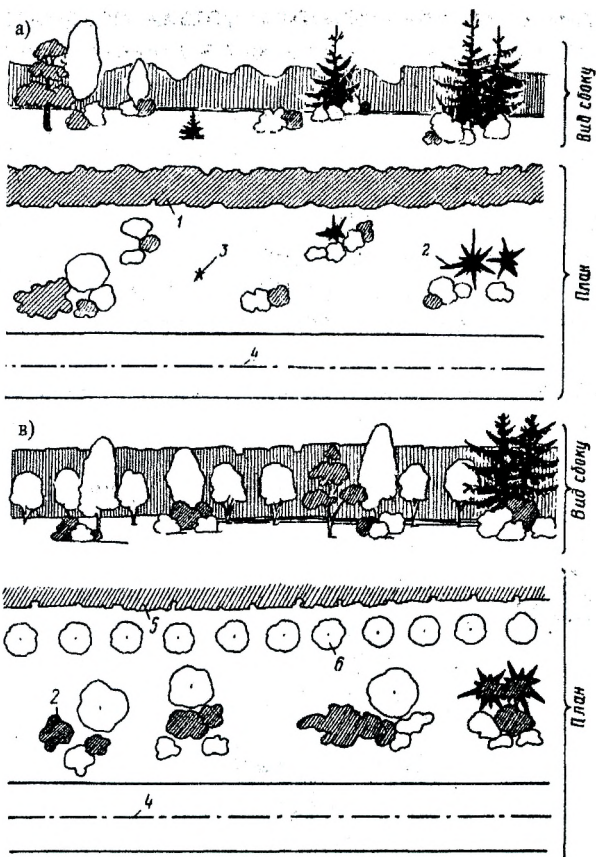


Рис. 17.61. Устранение монотонности снегозащитных насаждений посадкой на полосе отвода декоративных групп деревьев и кустарников; а – декоративные группы на полосе отвода; б – членение лиственных рядовых посадок хвойными; в – оживление вида опушки леса рядовыми посадками и декоративными группами на полосе отвода; 1 – ряды снегозащитных насаждений; 2 – декоративные группы разных деревьев; 3 – одиночные невысокие деревья и кустарники; 4 – ось автомобильной дороги; 5 – опушка леса; 6 – рядовые посадки; 7 – одиночные декоративные деревья

Особенно большое значение имеют цветовые контрасты. Стену хвойного леса хорошо оживлять подсадкой лиственных деревьев. Рациональный подбор пород позволяет сохранять разницу в цветах в течение всего теплого периода года, весной за счет цветения, осенью за счет ярких плодов, например, рябины.

Нецелесообразно создавать на большом протяжении дороги декоративное озеленение одного типа. Необходимо менять типы посадок в соответствии с изменениями ландшафта. Чередование и периодическое появление привлекающих к себе внимание изменений типа насаждений способствует более четкому и рельефному восприятию окружающего пространства в движении. Протяженность отдельных участков посадок целесообразно назначать через 2-5 мин. из условия обновления у едущих впечатлений. При средней скорости движения потока автомобилей 60-70 км/ч это соответствует 2,5-3,5 км. Поэтому правила озеленения предусматривают, что характер озеленения должен меняться не чаще, чем через 2-3 км, и не реже, чем через 10 км. На рис. 17.62 показано, как в соответствии со сменой ландшафтных бассейнов могут быть изменены и типы посадок.

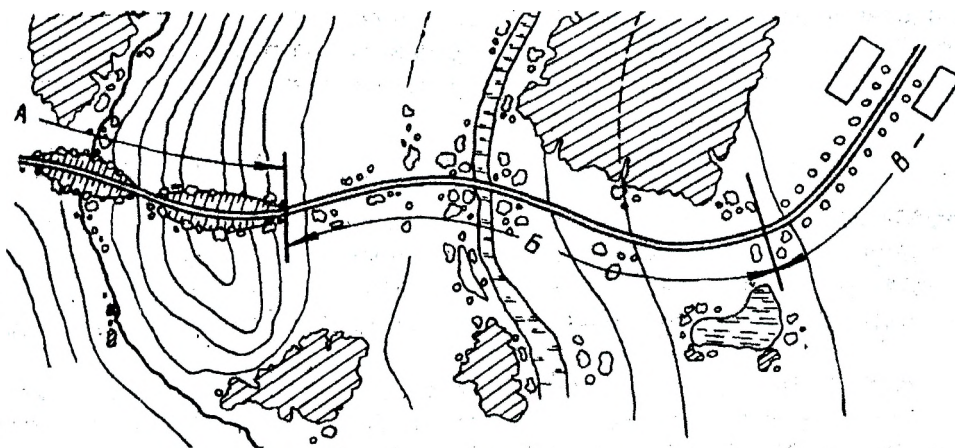


Рис. 17.62. Изменение типа придорожных насаждений при смене ландшафта: А – сельскохозяйственные угодья; Б – спуск к реке с большими деревьями; В – аллеи на подходе к городу



В левой части чертежа (участок А) в пределах холмистых пахотных угодий, предусмотрены кустарниковые насаждения. В средней части (участок Б) на спусках в долину пересекаемой реки – групповые посадки высокорослых деревьев и, наконец, на пригородном участке (участок В) – аллея или регулярные рядовые посадки, переходящие в улицу.

В проектах комбинированных посадок необходимо учитывать, как они воспринимаются с автомобиля, движущегося с высокой скоростью. При взгляде издали, под острым углом, отдельные малые группы зелени сливаются. По мере приближения относительная угловая скорость прохождения посадок перед глазом увеличивается и, если они расположены близко от дороги, отдельные детали перестают восприниматься. *Поэтому около дорог, предназначенных для движения с высокими скоростями, не рекомендуется располагать очень малые по размерам растительные группы.*

При составлении проекта декоративного озеленения дороги можно оценить достигаемый эффект и сравнить варианты размещения растительных групп.

Для этого после завершения земляных работ на дороге устанавливают в характерных поперечниках, намеченных по плану и профилю дороги, вешки высотой 2,5-3,0 м (рис. 17.63).

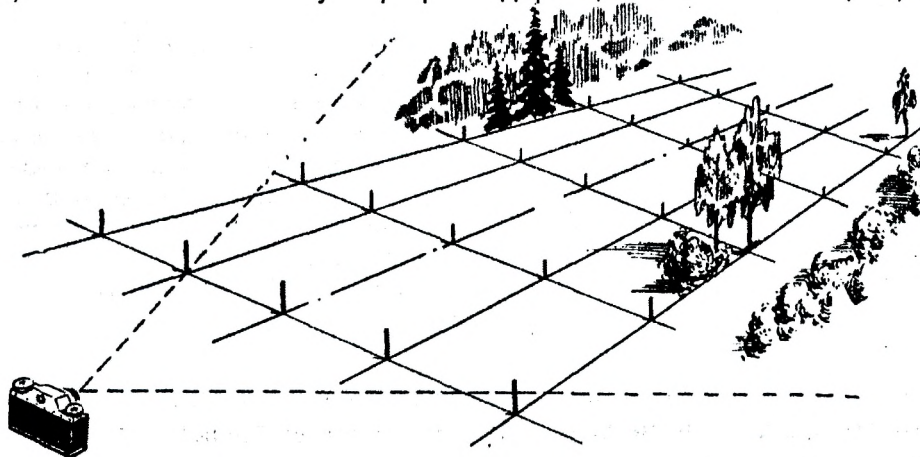


Рис. 17.63. Схема к методу построения вида озелененной дороги при разработке проекта озеленения

Изображения вешек создают на фотографии, снятой с оси дороги, своеобразную систему координат, пользуясь которой можно вмонтировать, в соответствии с проектом, снимки деревьев, кустарников или растительных групп. Для этого используют сделанные предварительно с разных расстояний фотографии деревьев и кустарников в возрасте 20-25 лет.

Чтобы оценить вид дороги в период роста деревьев, на фотографии монтируют с соблюдением масштаба снимки более молодых деревьев. Применение компьютерных программ, в том числе графических редакторов (Photoshop), позволяет моделировать на фотографии дороги различные декоративные и озеленительные группы деревьев и кустарников и оценивать вид придорожной полосы на перспективу. А используя возможность конвертирования пространственного вида трассы из специальных программ проектирования автомобильных дорог (Credo, MXRoad) в различные графические редакторы, возможна комплексная оценка участка запроектированной дороги с точки зрения ландшафтного проектирования.

### 17.12. Геометрия пространственной трассы дороги

Ранее проектирование дорог сводилось к последовательному рассмотрению изолированных друг от друга плана и профиля. Это было вынужденной мерой, поскольку исходными материалами для проектирования служили получаемые при геодезических съемках проекции рельефа и ситуации местности в виде плана и нивелировочные отметки по намеченному ходу.

*Проектирование велось в два этапа.* Вначале, наметив на местности или на плане в горизонталях трассу, проектировщик исправлял продольный профиль дороги, выравнивая его и обеспечивая предельно допустимую величину продольного уклона.

Лишь в 1950 годы наметился путь одновременного решения трассы как пространственной линии путем трассирования дороги непосредственно по стереомодели на стерео-

метрах и мультиплексе. Возможность автоматизации трассирования с использованием компьютеров полностью вытеснила практику раздельного проектирования плана и профиля.

Оценка пространственной трассы по ее проекциям приводит к неправильному представлению об ее фактической геометрической форме. Выделяются в плане и профиле отдельные элементы трассы, которые проецируются в прямые, дуги окружностей постоянной кривизны (горизонтальные и вертикальные кривые) и кривые плавно изменяющейся кривизны – переходные кривые. Фактически отдельные участки трассы дороги являются более сложными (рис. 17.64).

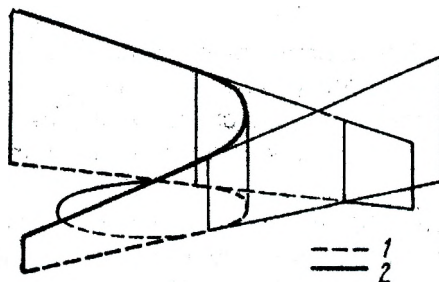


Рис. 17.64. Сочетание пространственной трассы из отдельных элементов: 1 – план трассы; 2 – трасса в пространстве

Кривая, изображенная в плане, как дуга окружности, совпадая с участком подъема в продольном профиле, является цилиндрической винтовой линией с постоянным шагом. Предшествующий ей участок переходной кривой – сложная пространственная кривая переменной кривизны.

Дуга окружности в продольном профиле (вертикальная кривая) на прямом участке дороги представляет собой сечение вертикальной плоскостью, перпендикулярной к образующей цилиндра, с горизонтальной осью. Совпадение вертикальной и горизонтальной круговых кривых дает сложную пространственную кривую.

Вопросы геометрии поверхностей, образующих полотно дороги, могли бы иметь значение для точной его разбивки, например, на виражах с переменным поперечным уклоном.

Указанные выше сложные пространственные кривые воспринимаются водителями в искаженном виде. Двигаясь по дороге, осью которой является та или иная пространственная кривая, водитель видит полотно дороги в перспективе искаженным из-за большого ракурса (угол между крайними вертикальными лучами зрения порядка 3-5°). Чем ниже располагается глаз водителя, тем больше перспективное искажение. Поэтому оно особенно сильно проявляется для водителей наиболее быстрых легковых автомобилей. Зрительно плавным может быть назван участок дороги, искаженное перспективное изображение которого имеет кажущуюся одинаковую или равномерно меняющуюся кривизну.

На прямом участке бровки дороги и кромки проезжей части в перспективе представляются сходящимися в одной точке. При горизонтальной дороге эта точка находится на линии горизонта, на участке местного подъема – над горизонтом, на участке спуска – под ним.

Вертикальные кривые на прямом участке в перспективе изображаются сходящимися кривыми. Вогнутые – гиперболическими, выпуклые – более медленно сходящимися эллиптическими. Вогнутые кривые видны на всем протяжении, выпуклые – только до переломной точки продольного профиля.

Особенно сильно искажаются в перспективе круговые кривые. Для наблюдателя, находящегося на проезжей части, внутренняя сторона дорожного полотна, по которой судят о кривизне, видна как сильно вытянутый эллипс с большой осью, ориентированной поперек направления движения (рис. 17.65).

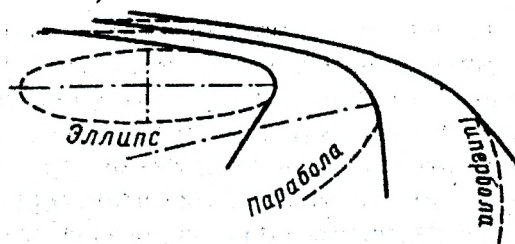


Рис. 17.65. Искажение отдельных точек полотна дороги в перспективе



Чем меньше угол, образуемый лучом зрения водителя и поверхностью дороги, тем больше вытянут эллипс. При малых углах поворота и малых радиусах круговых кривых у водителей создается впечатление резкого перелома трассы в плане, и они непроизвольно снижают скорость движения.

По мере приближения водителя к повороту угол между центральным лучом зрения и поверхностью дороги увеличивается, и круговая кривая воспринимается все более и более плавной. Поэтому оценку плавности кривых малого радиуса в перспективе следует вести с расстояния, соответствующего дальности взгляда водителя при движении со скоростью, типичной для данной дороги.

Степень искажения кривой в перспективе зависит от наличия продольного уклона на дороге. При взгляде с горизонтального участка на кривую, расположенную на подъеме, она кажется более плавной, расположенную на спуске – более крутой. Причина этого явления заключается в суммировании углов наклона дороги и луча зрения водителя по отношению к проезжей части.

Сочетание вертикальных и горизонтальных кривых при наличии продольных уклонов представляет собой сложную пространственную кривую, оценка которой может быть сделана только на основе анализа перспективного изображения.

Оптически плавными являются все пространственные кривые, которые проектируются на плоскость, перпендикулярную линии взгляда, в точку, прямую линию или в кривую малой кривизны. В связи с этим предложен метод исправления оптически неясных участков по фронтальным проекциям.

Особенностью вида в перспективе сочетаний кривых в плане и профиле для наблюдателя, стоящего на краю проезжей части, является наличие точек перелома или изгиба на другом крае проезжей части. Причина образования этой переломной точки ясна из схемы, показанной на рис. 17.66, для прямого участка с переломом продольного профиля без вертикальной кривой.

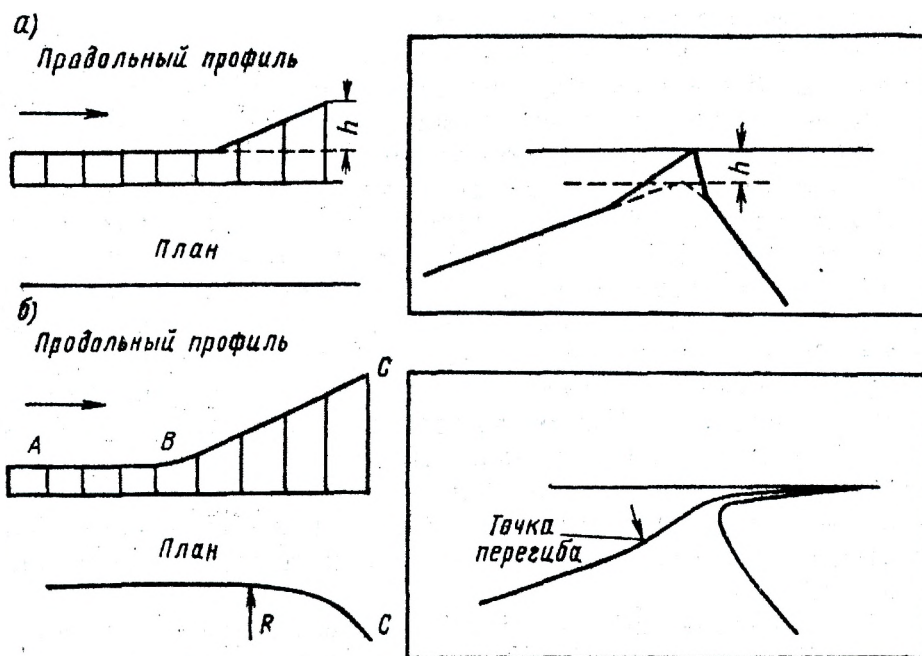


Рис. 17.66. Образование точки перелома на перспективном изображении участка дороги: а – подъем на прямом участке; б – подъем на кривой

При сочетании перелома профиля с кривой в плане одна из точек перегиба как бы выправляется горизонтальной кривой, а влияние другой проявляется еще более заметно, создавая у водителей впечатление местной просадки дороги. Оно проявляется особенно сильно при наличии по краям проезжей части направляющих краевых полос из белого бетона. Точки перегиба как бы перемещаются по мере движения зрителя по дороге. Это создает впечатление движущейся по дороге волны впереди автомобиля. Такое явление иногда называют «вибрацией трассы». Теоретический анализ показал, что точки перегиба не образуются, если продольный профиль описан по дуге синусоиды.

### 17.13. Обеспечение зрительной плавности дороги

Сочетание дороги с ландшафтом, о котором говорилось выше, одно не решает полностью проблемы обеспечения удобства, безопасности и экономичности автомобильных перевозок.

В неудачно запроектированной дороге каждый из элементов плана или продольного профиля, рассматриваемый изолированно от соседних с ним, может вполне удовлетворять требованиям технических условий и обеспечивать безопасность движения с расчетной скоростью. Однако дорога в целом будет неудобна или опасна для движения.

**Плавность взаимного сочетания элементов дороги требует соблюдения следующих условий:**

– смежные элементы дороги должны иметь такие характеристики, чтобы возможная скорость движения изменялась в небольших пределах (до 20%), т.е. движение по дороге происходило с практически постоянной скоростью и не было сопряжено с частыми торможениями;

– водитель должен быть ориентирован в направлении дороги и в дорожной обстановке на расстояние, значительно превышающее нормальное расстояние видимости; это обеспечивает возможность уверенного управления автомобилем;

– должны быть предотвращены оптические искажения впередилежащих участков дороги, связанные с тем, что водитель видит их в перспективе под малым углом зрения, а оптическая ось его глаза направлена не по горизонтали, как в обычных условиях, а параллельно по уклону того участка, на котором он в данный момент времени находится.

Установление критериев оптической плавности трассы было бы неправильно связывать непосредственно с технической категорией дороги. По дорогам всех категорий ездят одни и те же автомобили, водители которых стремятся развивать в благоприятных условиях одни и те же скорости и, как правило, не имеют никакого представления о категории дороги, по которой они едут.

Указание в технических условиях минимальных значений элементов плана и профиля, соответствующих расчетным скоростям, приводит к ухудшению транспортно-эксплуатационных качеств строящихся дорог из-за формального применения проектировщиками «основных рекомендуемых» значений радиусов кривых в плане и профиле.

Ландшафтное проектирование требует творческого индивидуального решения вопросов трассирования и увязки дороги и ландшафта в каждом конкретном случае. Шаблонные решения, вытекающие из бездумного использования цифр, приведенных в нормах, в этом случае много опаснее, чем при обычном трассировании.

Проектирование современной дороги немыслимо без понимания проектировщиком действий и психологии водителей. Намечая трассу дороги, он должен представлять себя как бы сидящим за рулем автомобиля, все время оценивая условия движения, создающиеся при каждом проектном решении.

В литературе высказывались различные предположения о расстоянии, с которого должна быть обеспечена зрительная плавность дороги. Кажущаяся крутизна кривой в плане зависит от расстояния, на котором она находится от водителя. По мере приближения к кривой ее зрительная плавность улучшается.

Поэтому основное значение имеет обеспечение зрительной плавности с такого расстояния, чтобы искажение не отражалось на режимах движения, т.е. с расстояния видимости при обгоне и не менее 1,75 видимости из условия торможения.

По опытным данным видимость из условия обгона составляет:

скорость, км/ч	40	60	80	100	120	150;
расстояние видимости, м	210	390	420	550	880	1120.

В условиях пересеченного рельефа, когда вид на кривую открывается с переломной точки вертикальной кривой, необходимо исходить из видимости с наиболее возвышенной точки дороги на водораздельном участке, а в равнинных условиях – с расстояния видимости из условия обгона.

Плавность трассы с точки зрения постоянства возможных скоростей движения обеспечивается достаточно просто. Удачность сочетания смежных элементов трассы в отношении обеспечиваемых скоростей движения может быть проверена на основе графиков скоростей, определенных расчетными методами.



*Для оценки относительной опасности дорожных происшествий при различных сочетаниях плана и профиля можно использовать методы построения графиков «коэффициента аварийности» и «коэффициента безопасности».*

Наиболее сложно решается вопрос об установлении критериев плавности сочетания отдельных элементов трассы дороги между собой с точки зрения восприятия дорожных условий водителями. В этом случае играет роль субъективность оценки. Один и тот же поворот одному водителю может представляться плавным, а другому – крутым. В этом случае при нормировании требований к плавности дороги проектировщики сталкиваются с проблемой удовлетворения требований подавляющего большинства водителей и с невозможностью, следовательно, удовлетворить пожелания абсолютно всех пользующихся дорогой.

Для накопления данных о том, какие повороты дороги можно считать плавными, полезной оказывается оценка большим числом водителей набора фотографий или перспективных изображений различных участков дороги. Проведенный в Московском автомобильно-дорожном институте в ограниченном масштабе подобный опыт показал, что суждения подавляющего большинства опрошенных совпадали (около 95%).

*Физиологический критерий оценки плавности связан с изменением направления и скорости движения глазного яблока при осматривании водителем участка дороги, расположенного впереди. Глаз бессознательно и быстро перемещается глазными мышцами таким образом, что соответствующее изображение движется скачкообразно по наиболее чувствительной центральной части сетчатки глаза.*

Всякий излом или крутой перегиб рассматриваемой линии, изменяющий ее направление, вызывает соответствующее быстрое изменение среднего направления движения глаза, которое требует дополнительного мышечного усилия, необходимого, в частности, для преодоления инерционных сил. Движение глаза по новому направлению за изломом требует напряжения внимания и дополнительного усилия глазных мышц.

Включение между изломами прямой линии криволинейного участка ослабляет это напряжение. Очевидно, что начиная с некоторой скорости изменения направления движения глаза, оно будет осуществляться незаметно, и тогда сочетания линий воспринимаются как плавные. Однако, неясность вопроса о том, какая угловая скорость поворота глаза является «удобной» для большинства водителей и может быть принята для оценки плавности трассы, затрудняет анализ плавности сочетаний элементов дороги методами аналитической геометрии.

Следует отметить, что при анализе плавности трассы и сочетания дороги с ландшафтом легче выявить «неприспособленность» дороги, которая сама бросается зрителю в глаза, чем привести примеры, удачные во всех отношениях.

Установление критериев пространственной плавности трассы затрудняется тем обстоятельством, что по условиям динамики автомобиля и обеспечения безопасности движения выдвигаются разные требования к изменениям закономерностей геометрических элементов дорог в плане и продольном профиле. Возможные переломы продольного профиля ограничиваются величиной максимальных преодолеваемых уклонов. Углы поворота трассы в плане ничем не ограничиваются. Различие в условиях видимости в профиле и плане и необходимость в последнем случае обеспечения устойчивости на кривых предъявляют разные требования к величинам радиусов вертикальных и горизонтальных кривых. *Поэтому нельзя предъявить единые требования к элементам дороги в пространстве.*

В течение ряда лет на строительстве автомагистралей Германии проводился анализ получающихся сочетаний элементов дорог. Затем в работу включились специалисты США, Венгрии и Англии. В результате постепенно был сформулирован ряд эмпирических правил трассирования. Эти правила перешли в математические закономерности. Их соблюдение в большинстве случаев приводит к получению трассы, удовлетворяющей всем современным транспортным и архитектурным требованиям.

Принципы ландшафтного проектирования в общих формулировках достаточно просты. Однако их практическая реализация в конкретных местных условиях применительно к тому или иному ландшафту требует от проектировщика опыта, художественного вкуса и способности к пространственному мышлению. Лучше всего принципы ландшафтного проектирования осваиваются на сопоставлениях удачных и неудачных примеров сочетаний элементов дорог, сбору и систематизации которых проектные организации должны уделять большое внимание.

В венгерских проектных организациях ознакомление молодых инженеров с принципами согласования дорог с ландшафтом производят путем демонстрации фотографий характерных участков дорог с последующим выездом на эти дороги.

Большое значение для развития и популяризации принципов ландшафтного проектирования может иметь издание альбомов примеров проектных решений. Это подтверждается широкой известностью ряда опубликованных подобных изданий – альбома рисунков под редакцией Лоренца (Германия) и подготовленного Бэккером, Нэпом и Овердиджинком альбома фотографий дорог в Нидерландах с характеристикой и анализом отдельных участков.

#### **17.14. Общие правила плавного сочетания элементов дорог в плане и профиле**

Описанные выше применительно к разным типичным ландшафтам общие принципы плавного сочетания трассы с ландшафтом могут быть сведены к ряду правил, соблюдение которых обеспечивает внутреннюю плавность трассы.

**1. Трассу дороги следует рассматривать как плавную линию в пространстве.** Изменения направления трассы должны удовлетворять требованиям динамики автомобиля, эстетическим критериям и учитывать особенности психологического восприятия водителями дорожных условий. При этом необходимо учитывать способность глаза легко улавливать нарушения плавности кривых линий в пространстве.

Для пространственной плавности необходимо, чтобы изменения трассы в плане и профиле соответствовали друг другу. Проектировщики при оценке плавности трассы часто ограничиваются рассмотрением только ее плана, полагая, что плавной следует считать трассу с большими радиусами кривых в плане, независимо от числа переломов продольного профиля.

Недопустимо проектировать трассу дороги в плане, продольном и поперечном профилях независимо друг от друга без учета их взаимного влияния, создаваемых условий движения и зрительного восприятия дороги едущими. Когда говорится отдельно о рациональных сочетаниях элементов дорог в плане или в продольном профиле, то отдается дань привычным методам проектирования и недостаточной изученности закономерностей трассы как пространственной кривой. При этом всегда имеются в виду вертикальные и горизонтальные проекции плавной пространственной линии.

**2. Плавность трассы должна быть обеспечена в пределах видимых водителем участков местности,** на которые ее расчленяют естественные высотные препятствия и элементы рельефа и ситуации («ландшафтные бассейны», «архитектурные пространства», «архитектурные бассейны»).

Наиболее часто границами ландшафтных бассейнов являются водоразделы. Ими могут служить также лесные массивы или большие населенные пункты, закрывающие дальние виды. При взгляде с участка дороги на водоразделе на окружающую равнину условной границей ландшафтного бассейна является расстояние, на котором теряется видимость дороги, т.е. практически 3-4 км.

Требования обеспечения плавности дороги, в первую очередь, предъявляются к участкам, расположенным в пределах каждого ландшафтного бассейна. На участках перехода из одного бассейна в другой, где водитель должен четко представлять себе дальнейшее направление дороги, большое значение приобретает соблюдение принципов оптического трассирования. Прямой участок, завершающийся выпуклой вертикальной кривой, должен продолжаться по этой же прямой в начале следующего ландшафтного бассейна. Поворот дороги в плане за переломом продольного профиля должен начинаться не ближе расчетного расстояния видимости поверхности дороги.

**3. Плавность трассы и наилучшее соответствие ее местности обеспечивается при подчинении дороги наиболее характерным элементам ландшафта.** Следует избегать использования предельно допустимых норм на элементы плана и профиля (минимальные радиусы кривых в плане и продольном профиле, максимальные продольные уклоны).

Всегда следует стремиться применять максимально возможные по условиям вписывания в ландшафт с допустимыми объемами работ радиусы кривых в плане и профиле.

Плавность продольного профиля обеспечивается сочетанием его из вогнутых и выпуклых кривых, сопрягающихся друг с другом непосредственно или через промежуточные пря-



мые вставки. Даже в умеренно холмистой местности на протяжении 25-50% общей длины трасса современной дороги проходит вертикальными кривыми.

*Обертывающая проектная линия*, точно следующая очертанию форм поверхности земли, *нерациональна*, так как при этом создаются многочисленные места с недостаточной видимостью или с некрасивой волнистой поверхностью. С другой стороны, длинные участки, запроектированные с постоянным продольным уклоном, обычно нерациональны даже при слабо пересеченном рельефе, поскольку их осуществление связано с необходимостью устройства неоправданных требованиями динамики автомобилей больших насыпей и глубоких выемок.

На участках подъемов вместо проектирования постоянных уклонов, меньших предельно допускаемых, более целесообразно придавать дороге в нижней и верхней частях склонов более пологие уклоны, а в средней – проектировать с максимально допустимым подъемом.

Такое проложение проектной линии уменьшает количество земляных работ и лучше удовлетворяет требованиям динамики автомобиля.

### 17.15. Требования к элементам плана дороги

Длины прямых и кривых участков дороги в плане должны соответствовать друг другу. *Нельзя допускать следующих сочетаний элементов дорог в плане*, которые из-за искажения их вида в перспективе кажутся негладкими и имеющими излом.

**1. Короткие кривые в плане, расположенные между длинными прямыми** кажутся издали водителю резким изломом дороги и вызывают снижение скорости (см. рис. 17.19). Эффект нарушения плавности в большой степени связан с длиной круговой вставки. Так, например, при анализе трассы Коннектикутской платной дороги в США было выявлено, что кривые длиной менее 90 м «слишком коротки». Из-за этой особенности зрительного восприятия повороты дороги на малые углы должны смягчаться вписыванием кривых больших радиусов.

На основе анализа большого количества перспективных изображений установлено, что для оптической плавности длина круговой кривой в плане ( $S$ ), в зависимости от расстояния от точки наблюдения до вогнутого перелома продольного профиля ( $L_v$ ) или до начала круговой кривой в плане ( $L_s$ ), не должна быть менее следующих величин:

$L_v, м$	150	200	250	300	350	400	500	600	700;
$L_s, м$	95	125	150	180	210	240	300	350	400;
$S, м$	110	150	200	240	280	320	400	500	600.

**2. Короткие прямые вставки между направленными в одну сторону кривыми** воспринимаются как неприятный для взгляда излом дороги (рис. 17.67).

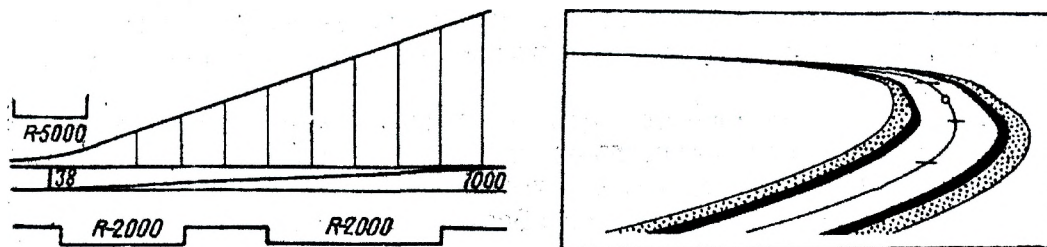


Рис. 17.67. Вид участка дороги с короткой прямой вставкой между двумя кривыми, направленными в одну сторону

Такие сочетания элементов дороги характеризуются повышенной опасностью дорожных происшествий, в связи с их неожиданностью для водителей, которые психологически бывают подготовлены к повороту дороги в обратную сторону для выдерживания общего постоянного направления. Особенно неблагоприятно такое сочетание при совпадении его с вертикальными кривыми.

СНиП 2.05.02.85 не рекомендует применять короткие прямые вставки между двумя кривыми в плане, направленными в одну сторону. При длине ее менее 100 м рекомендуется заменять две сопрягаемые кривые одной большего радиуса, при длине 100-300 м рекомендуется прямую вставку заменять переходной кривой большего параметра. Прямая вставка

как самостоятельный элемент трассы допускается для дорог I и II категорий при ее длине более 700 м, для дорог III и IV категорий – более 300 м.

Радиусы смежных кривых в плане должны различаться не более чем в 1,3 раза. Параметры смежных переходных кривых при сопряжении кривых рекомендуется назначать одинаковыми.

**3. Короткие прямые вставки между обратными кривыми** воспринимаются как элемент, нарушающий плавное проложение трассы. Более целесообразно увеличивать в этом случае радиусы кривых или увеличивать длину переходных кривых, чтобы их концы непосредственно сопрягались друг с другом. Прямые вставки между обратными кривыми могут быть оставлены, если их длина между концами переходных кривых, обеспечивающих зрительную плавность трассы, превышает 300 м.

**4. При малых углах изменения направления трассы для обеспечения оптической плавности необходимо вводить кривые больших радиусов или заменять круговые кривые непосредственно сопрягающимися переходными.**

В Венгрии нормированы следующие требования к минимальным радиусам кривых, сопрягающих малые переломы трассы в плане:

угол, град	5	4	3	2	1;
радиус кривой на дороге I категории, м	2500	3000	4000	6000	10000;
то же, на дороге II и III категорий,	1250	1500	2000	3000	5000.

В США при углах поворота менее  $5^\circ$  требуется вводить кривую радиусом не менее 1700 м. В Нидерландах для расчленения длинных прямых искусственно вводят углы поворота  $1-2^\circ$ , вписывая в них кривые радиусами 6000-10000 м. В Германии при углах поворота менее  $4^\circ$  вводят круговые кривые с тангенсами не менее 100 м, что соответствует радиусам 5000-10000 м.

При введении круговых кривых СНиП 2.05.02-85 рекомендует применять следующие наименьшие значения радиусов сопрягающих кривых при малых углах поворота:

угол поворота, град.	1	2	3	4	5	6	7-8;
радиус кривой, тыс. м	30	20	10	6	5	3	2,5.

**5. Длину прямых в плане следует ограничивать.** Она не должна превышать расстояния, проходимого автомобилем при расчетной скорости за 3-4 мин, и составлять не более 5-6 км (табл. 17.4).

Таблица 17.4. Предельная длина прямого участка при ландшафтном проектировании, км

Категория дороги	Равнинная местность	Холмистая местность
I	3,5-5,0	2,0-3,0
II-III	2,0-3,5	1,5-2,0
IV-V	1,5-2,0	1,5

*Примечание.* Большие длины допустимы при преимущественно легковом движении, меньшие – при грузовом.

Одним из основных элементов трассы современных дорог, обеспечивающих плавность и гармоничное включение дороги в ландшафт, стали **переходные кривые**.

При проектировании автомобильных дорог нашли широкое применение, как в отечественной практике, так и за рубежом, переходные кривые типа **клотоиды**, характеризуемые линейным законом увеличения кривизны по длине кривой и наилучшим образом отвечающие условиям движения автомобилей с постоянными скоростями (рис. 17.68).

При этом кривую на участке от начала ее ( $R=\infty$ ) до любой ее точки с радиусом  $R=R_k$  принято **называть клотоидой**. Кривую же от любой точки с радиусом  $R=R_{k1}$  до произвольной точки с радиусом  $R=R_{k2}$  называют **отрезком клотоиды**.

По сравнению с обычной трассой для клотоидной трассы характерно наличие существенно большего числа типов закруглений:

- 1) *биклотоида*, симметричная при  $A_1=A_2$  и несимметричная при  $A_1 \neq A_2$  (рис. 17.69а);
- 2) *биклотоида с круговой вставкой*,  $A_1=A_2$  и несимметричная при  $A_1 \neq A_2$  (рис. 17.69б);
- 3) *коробовая (составная) клотоида* (рис. 17.69в);
- 4) *комбинированное закругление* (рис. 17.69г).



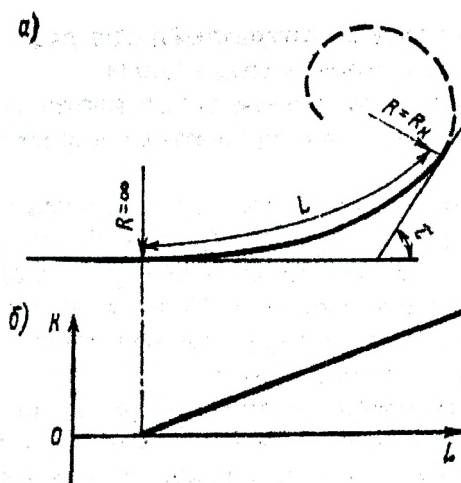


Рис. 17.68. Изменение кривизны по длине переходной кривой: а – клотоида; б – диаграмма кривизны

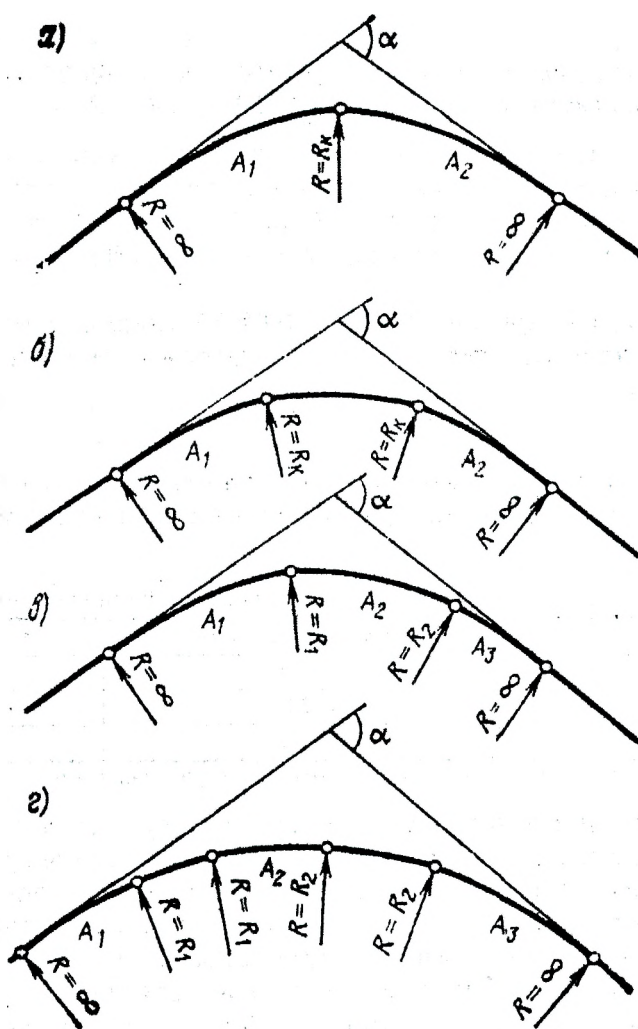


Рис. 17.69. Типы закруглений клотоидной трассы

Непосредственно сопрягать между собой и с прямыми участками в плане можно только кривые больших радиусов, порядка 4000-5000 м. Во Франции переходные кривые не вводят на кривых с радиусом более 4500 м, а в Венгрии – 5000 м. В Беларуси предусмотрено действующими СНиП 2.05.02-85 устройство переходных кривых при радиусах кривых в плане 2000 м и менее, и с нашей точки зрения, не обеспечивает зрительной плавности трассы.

Наилучшим образом плавность трассы достигается при использовании переходных кривых как самостоятельного элемента трассы, легко и гибко приспособляемого к местности и часто поэтому, вытесняющего прямые участки между круговыми кривыми (рис. 17.70).

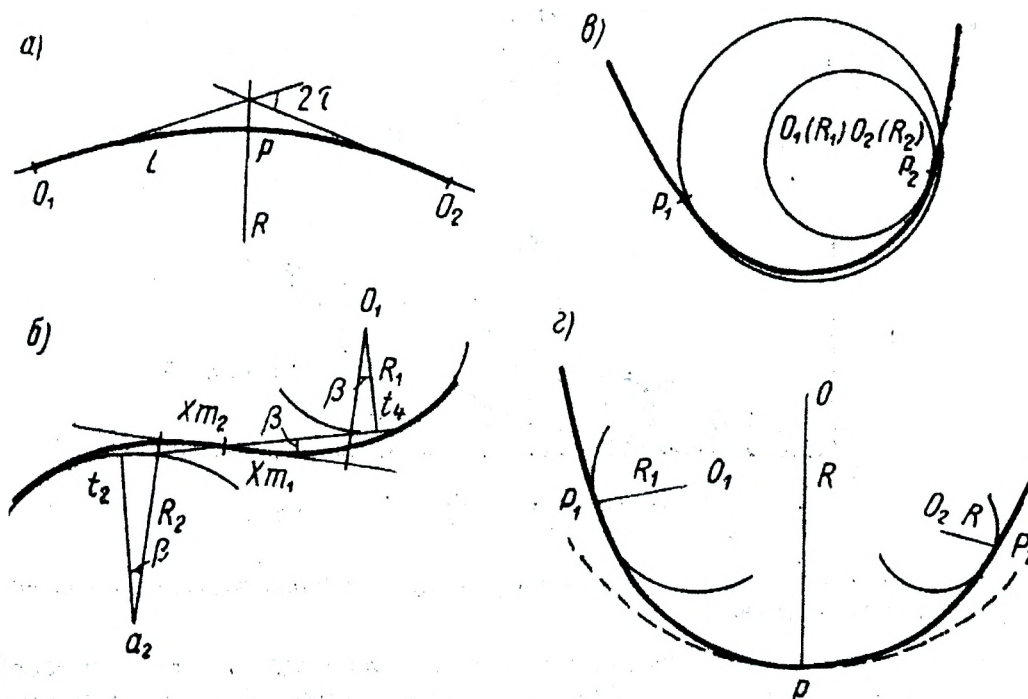


Рис. 17.70. Различные способы сочетания переходных кривых: а – непосредственно сочетающиеся переходные кривые без вставки круговой кривой; б – сопряжение обратных кривых; в – сопряжение кривых, направленных в одну сторону, одной переходной кривой; г – то же, двумя переходными кривыми

Такое трассирование типично для строившихся в последние годы дорог Франции, Германии и Австрий.

**Переходные кривые рекомендуется вводить во всех случаях сопряжения элементов трассы:**

- при переходе от прямых участков к круговым кривым;
- при сопряжении между собой круговых кривых в плане, направленных в одну сторону;
- при сопряжении обратных круговых кривых;
- при сопряжении вогнутых вертикальных кривых с прямыми в продольном профиле.

В США принято, что наиболее рациональное отношение между длиной круговой и переходной кривой должно составлять 4:1.

В настоящее время при трассировании дорог применяют почти исключительно переходные кривые, описанные по радиоидальной спирали с уравнением  $A^2=RL$ . Для вписывания переходной кривой по радиоиде, которая была бы оптически эффективна, необходимо изменение направления трассы не менее, чем на  $3^\circ$ .

Длину переходных кривых в нормах на проектирование дорог обычно назначают, исходя из допустимой скорости нарастания центробежного ускорения, величину которой принимают в пределах от  $0,3 \text{ м/с}^3$  (Англия) до  $1,0 \text{ м/с}^3$  (Венгрия и Франция). Проведенные наблюдения показали, что требованиям удобства управления и комфортабельности проезда, кривой соответствует первое значение.

Обеспечение оптической плавности трассы выдвигает дополнительные критерии к переходным кривым. Чтобы устранить иллюзию крутого перелома дороги в плане, параметр переходных кривых, по мнению инженеров Германии, должен находиться в пределах от  $0,3R$  до  $1,4R$ . Во Франции предусматривают, что  $A \geq R/3$ , т.е. не ограничивают, как в Германии, верхнего значения параметра.

Эти критерии соответствуют много меньшим, чем указанные выше, значениям скорости нарастания центробежного ускорения –  $0,01-0,10 \text{ м/с}^3$ .

Французские инженеры считают, что при введении переходных кривых для обеспечения зрительной плавности трассы полноценный эффект достигается только в случае, когда сдвигка  $\Delta R$  круговой кривой в глубь угла  $\tau$  (рис. 17.71) при введении переходной кривой превышает  $1,0 \text{ м}$ . Сдвигки менее  $0,5 \text{ м}$  оптически неэффективны, так как не исправляют зрительного впечатления излома трассы.



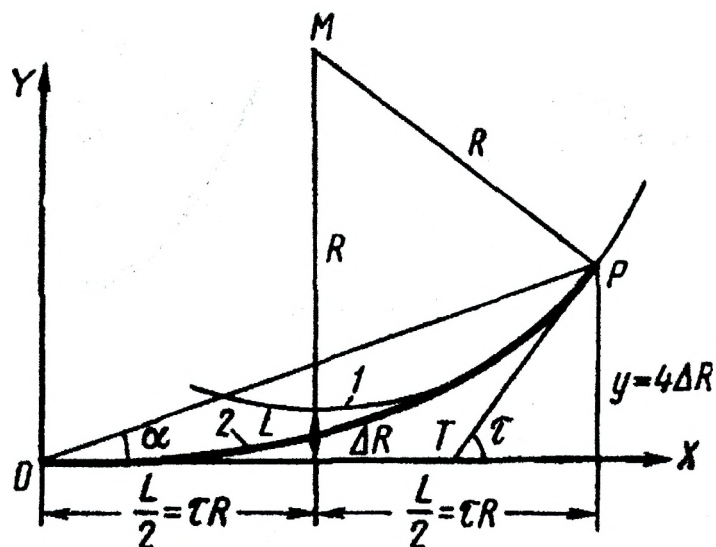


Рис. 17.71. Смещение круговой кривой  $\Delta R$  внутрь угла при введении переходной кривой: 1 – круговая кривая; 2 – переходная кривая

С другой стороны, практический анализ дорог, трасса которых вполне удовлетворяет требованиям плавности, привел к выводу, что сдвигки более 2,5 м становятся малоэффективными.

Сравнительные расчеты длин переходных кривых, проведенные исходя из условия плавного нарастания центробежного ускорения («динамическая плавность») при  $a=0,8 \text{ м/с}^2$  и обеспечения оптической плавности ( $A = R/3$ ), показало, что начиная с  $R=1000 \text{ м}$ , длину переходных кривых следует назначать только из условия удовлетворения требования зрительной плавности. Для радиусов кривых от 1000 до 3000 м при сдвигках  $\Delta R$  от 1,0 до 2,5 м величина параметра  $A$  меняется в узких пределах от  $A=377 \text{ м}$  для  $R=3000 \text{ м}$  до  $A=394 \text{ м}$  при  $R=1000 \text{ м}$ . Это позволяет исходить при назначении параметров переходных кривых из среднего значения  $A=380 \text{ м}$ .

При сопряжении обратных круговых кривых S-образными переходными кривыми наиболее целесообразно, чтобы обе переходные кривые имели равные величины параметра  $A$ . В этом случае должно удовлетворяться соотношение между радиусами смежных кривых  $R_1 \leq 3R_2$ . При большем соотношении между радиусами ( $R_1 \leq 4,5R_2$ ) параметры клотоид должны удовлетворять соотношению  $A_1 \leq 2,0A_2$ .

Если обратные переходные кривые не соприкасаются непосредственно, величина прямой вставки между их концами не должна превышать величины  $L=(A_1+A_2)/2$ .

Замена прямой вставки между обратными круговыми кривыми S-образными клотоидами не приводит к сколько-нибудь ощутимому отклонению от прямой. Однако достигаемое этим улучшение оптической плавности трассы весьма важно.

При оценке соотношения длин кривых и прямых участков трассы, которые сопряжены длинными переходными кривыми, иногда вводят понятие «квазипрямых», называя им конечные участки переходных кривых, отстоящие от тангенсов менее, чем на 0,25 м. Протяженность таких участков бывает довольно большой. Так, например, на рис. 17.35 из 1624,2 м длины переходных кривых к квазипрямым относятся 430 м. В большинстве случаев квазипрямые составляют от 40 до 90% длины заменяемых прямых.

При сопряжении переходными кривыми круговых кривых, направленных в одну сторону (рис. 17.70в), должны соблюдаться соотношения  $R_1 > 2R_2$  и  $0,5R_1 < A < R_2$ . При соотношении  $R_1 \leq 2R_2$  кривые могут сопрягаться непосредственно.

Следует избегать резкого перехода от кривых большого радиуса к кривым малого радиуса. Радиусы сопрягающихся или расположенных неподалеку друг от друга кривых в плане не должны различаться более чем в 1,3 раза. Это требование вытекает не только из желания обеспечить зрительную плавность дороги, но и из необходимости изменения расчетных скоростей движения на смежных участках дороги не более, чем на 10-15%.

Особенно важно соблюдение указанного соотношения для малых радиусов. При больших радиусах в трудных условиях рельефа или ситуации соотношения между радиуса-

ми могут быть несколько увеличены. Так, например, технические условия Германии допускают следующие соотношения:

$R_{min}$	< 100	100-500	500-1000	> 1000;
$R_{max}/R_{min}$	1,3	1,5	1,7	2,0.

В случае неизбежности значительного уменьшения скорости в каком-либо месте дороги, радиусы предыдущих кривых должны постепенно уменьшаться, чтобы водитель снижал скорость на каждой последующей кривой по отношению к предыдущей.

Недопустимы сочетания элементов дорог, при которых в каком-то месте требуется резкое снижение скорости, например, устройство кривых малого радиуса на затяжных спусках или расположение кривой малого радиуса посреди группы кривых, допускающих движение с высокими скоростями. Такие места всегда характеризуются большим количеством дорожно-транспортных происшествий.

Особое внимание следует обращать на кривые, расположенные в конце длинных прямых участков. Их следует рассчитывать на скорости более высокие, чем расчетные и соответствующие скоростям единичных, наиболее быстрых, автомобилей. Характерно, например, что технические условия Бразилии предусматривают рассчитывать при основной скорости 100 км/ч кривые, расположенные после прямых и длиннее 2 км, на скорость 140 км/ч.

Также особое внимание следует уделять обеспечению зрительной плавности отгона виража. Участок отгона виража, устроенного с обычно предусматриваемым в технических условиях дополнительным уклоном 5-20‰, в перспективе выглядит как выступающий сбоку дороги бугор, перед которым имеются просадки (рис. 17.72).

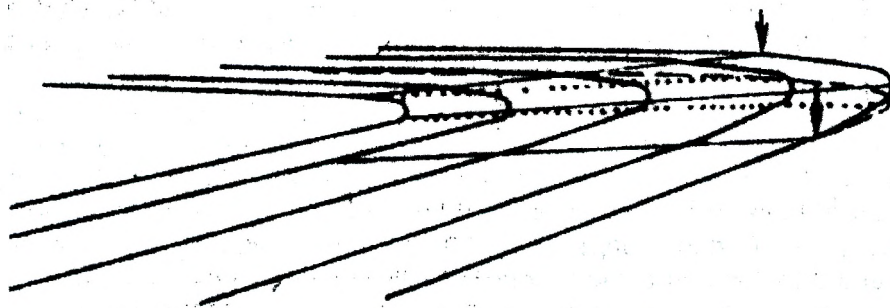


Рис. 17.72. Искажение плавного вида дороги при крутых отгонах виража. Стрелки показывают на места переломов в перспективе

Для оптической плавности не следует делать уклон отгона виража большим 5‰, а лучше всего распространять его на всю длину переходной кривой.

Лучшие результаты в обеспечении зрительной плавности (рис. 17.73) достигаются при применении отгона из сопряженных вогнутой и выпуклой вертикальных кривых радиусов

$$R = \frac{B \cdot i_{вир}}{2 \cdot i_{отг}}, \quad (17.1)$$

где  $B$  – ширина поворачиваемой части полотна дороги, м;  $i_{вир}$  – поперечный уклон виража, ‰;  $i_{отг}$  – дополнительный отгон виража, ‰.

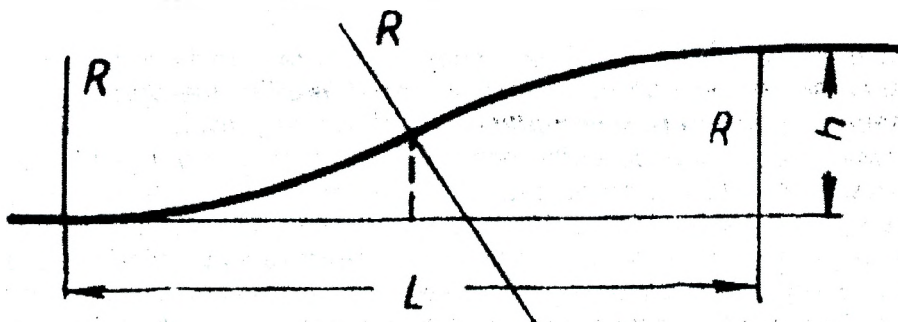


Рис. 17.73. Рациональный продольный профиль отгона виража



## 17.16. Взаимная увязка элементов плана и профиля

Наилучшая плавность трассы достигается при совмещении вертикальных и горизонтальных кривых. Наибольший эффект плавности обеспечивается, когда середины круговых кривых в плане и профиле совпадают, а длина горизонтальной кривой равна или немного превышает длину вертикальной кривой (рис. 17.74).

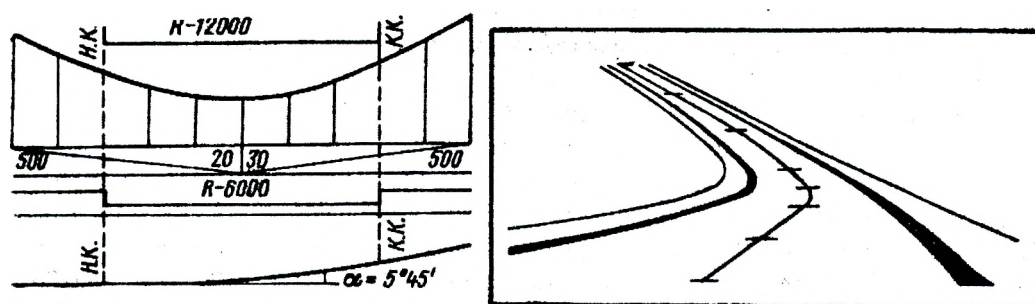


Рис. 17.74. Оптимальные сочетания кривых в плане и профиле

Радиус вогнутых вертикальных кривых не менее чем в 6 раз должен превышать радиус горизонтальных кривых. Если горизонтальная кривая имеет переходные кривые, последние должны начинаться до начала вертикальной кривой за 75-100 м, выступая на величину  $l=A/n$ , где  $n$  принимают в пределах от 5,0 до 7,5, тем большим, чем больше параметр клотоиды  $A$ .

Особенно некрасивы сочетания горизонтальных и вогнутых вертикальных кривых, если длина последней существенно меньше длины горизонтальной кривой. При сочетании длинного закругления в продольном профиле с короткой горизонтальной кривой дорога в перспективе выглядит очень беспокойной.

Даже сравнительно небольшое взаимное смещение кривых отражается на оптической плавности трассы. Опыт эксплуатации автомагистралей Германии показал, что допустимы смещения до  $1/4$  длины наибольшей из кривых. Смещения на половину длины уже воспринимаются как резкое искажение плавности трассы. Влияние смещения проявляется тем меньше, чем больше радиусы и длины перекрывающихся кривых. Должны быть тщательно проанализированы случаи сопряжения концов кривых в плане с началом выпуклых или вогнутых вертикальных кривых, расположенных на последующих прямых участках. Хотя такое сочетание и обеспечивает пространственную плавность, для водителей автомобилей, едущих в сторону выпуклой вертикальной кривой, может быть неясно дальнейшее направление дороги. При вогнутой вертикальной кривой и малых величинах радиусов создаются участки плохой видимости ночью при свете фар.

Влияние согласованности размещения кривых в плане и продольном профиле на оптическую плавность трассы проявляется в тем большей степени, чем меньше величины радиусов. Опытное проектирование разными способами участка магистрали Лондон – Бирмингем длиной 45 км выявило следующее влияние способа проложения трассы на объемы земляных работ (в относительных единицах):

- проектирование с использованием минимальных допустимых техническими условиями радиусов кривых в плане и профиле, без увязки их взаимного расположения – 1,0;
- согласование точек перелома при радиусах, меньших 1800 м в плане и 12500 м в продольном профиле – 1,17;
- согласование всех без исключения точек перелома в плане и профиле – 1,42.

**Таким образом, разумное соблюдение требований ландшафтного проектирования не связано с чрезмерным увеличением объемов работ.**

Для обеспечения на дороге видимости на большом расстоянии следует избегать сочетаний элементов трассы, создающих впечатление провалов или выпуклостей, в результате которых для водителя остается неопределенным дальнейшее направление дороги, или отдельные ее участки становятся невидимыми. **Примерами таких мест являются:**

- короткие вогнутые вертикальные кривые, расположенные в пределах прямых или кривых в плане большого радиуса, создающие впечатление «просадок» или «карманов» (рис. 17.75), поскольку увеличение радиуса вертикальной кривой приводит в этом случае к существенному увеличению объемов земляных работ. Зрительная плавность таких участков

может быть значительно улучшена путем устройства в продольном профиле составных коробовых трех- или пятизвенных вертикальных кривых, крайние участки которых описываются большими радиусами, порядка 30000-50000 м. При малом увеличении объема земляных работ сочетание плана и профиля дороги значительно улучшается;

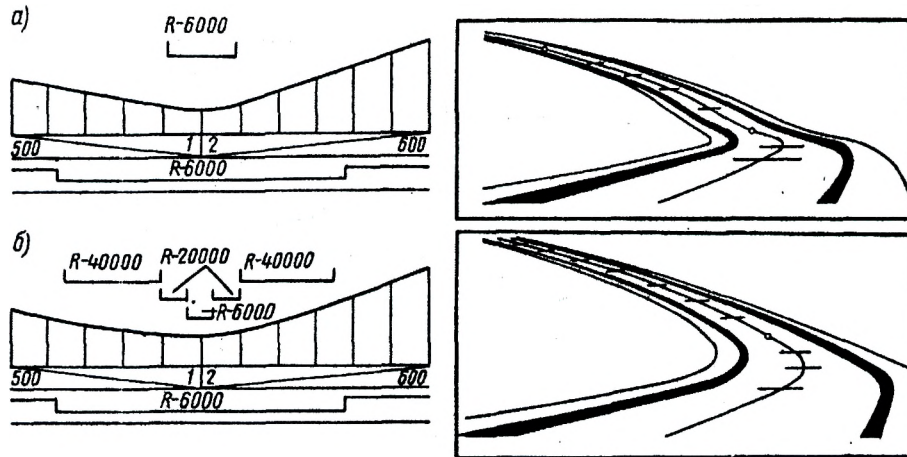


Рис. 17. 75. Устранение «просадки» дороги путем введения коробовых вертикальных кривых: а – геометрические элементы и вид участка дороги при короткой вертикальной кривой на длинной кривой в плане; б – улучшение вида того же участка дороги при введении коробовой вертикальной кривой

– крутые выпуклости продольного профиля на кривых больших радиусов и на прямых участках и, в частности, на пересечениях дорог в разных уровнях. Необходимо делать подъем на них более пологим или избегать их, прокладывая одну из дорог в выемке;

– прямые участки, как бы упирающиеся в небосвод на вершине выпуклых кривых малого радиуса (см. рис. 17.6).

Количество переломов в плане и профиле должно быть, по возможности, одинаковым. Желательно, чтобы на одной прямой в плане не было более одной вертикальной кривой. Нарушения этого правила приводят к неудачным трассам, в ряде случаев характеризующимся повышенной опасностью дорожно-транспортных происшествий.

При плане и профиле, первоначально намеченных как ряд коротких участков, можно значительно улучшить плавность и вид дороги в перспективе, заменив ломаные линии усредняющими их плавными (рис. 17.76).

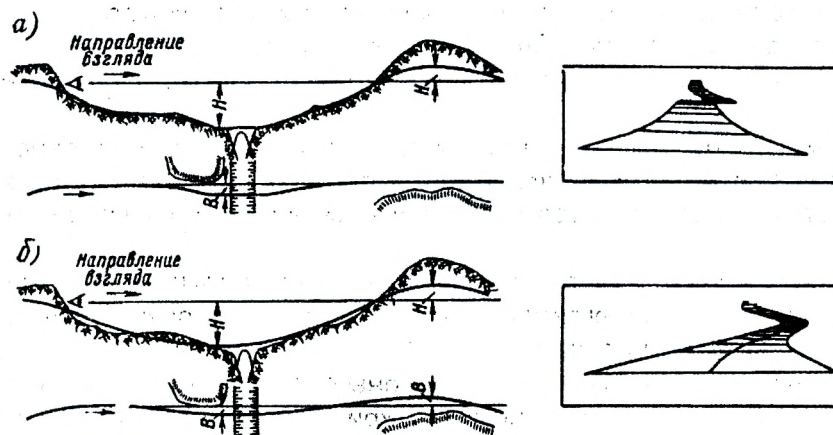


Рис. 17.76. Улучшение вида дороги в перспективе путем замены плана и профиля, состоящих из коротких прямолинейных участков, плавными кривыми: а – на прямолинейных участках; б – при криволинейной трассе

Частые переломы продольного профиля на длинных прямых в плане создают волнистую поверхность дороги. Чаще всего такая волнистость бывает следствием проложения дороги по обертывающей проектной линии поперек цепей холмов в слабохолмистой местности. Это один из опаснейших случаев нарушения оптической плавности трассы, который является причиной большого количества дорожно-транспортных происшествий.



На правильно запроектированной дороге между местом нахождения водителя и точкой дороги, наиболее удаленной от него в пределах ландшафтного бассейна, не должно быть невидимых участков. На участках, где с возвышенных точек, в пределах открывающегося ландшафтного бассейна видно несколько пересекаемых дорогой лощин, вид на дорогу получается некрасивым (рис. 17.77а).

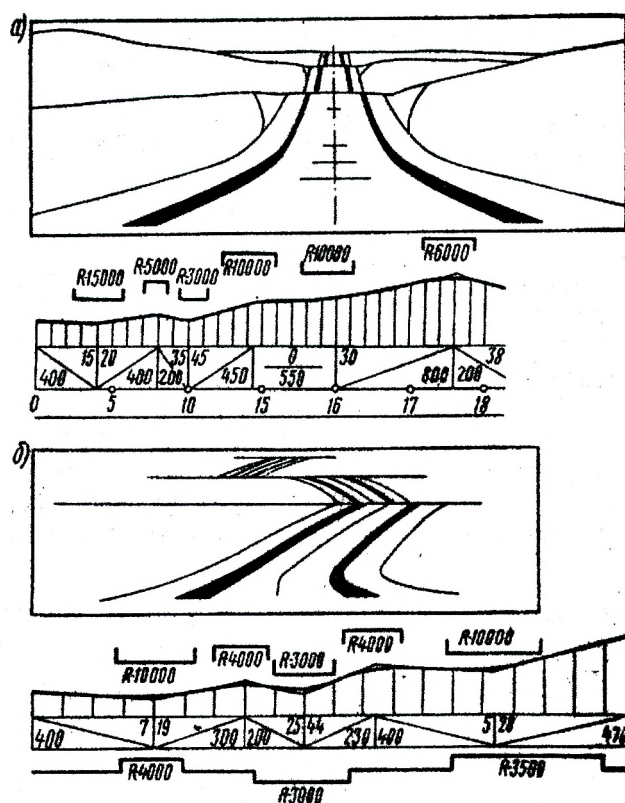


Рис. 17.77. Некрасивый вид дорог, пересекающих цепи холмов: а – на прямом участке, б – при регулярном изменении направлений дороги («биение трассы»)

Если расстояние видимости мало или даже недостаточно, то такие участки недопустимы из-за повышенной опасности для движения. Их необходимо перепроектировать, увеличивая видимость путем выполнения сравнительно больших объемов земляных работ.

Совмещение кривых в плане с вогнутыми кривыми в таких местах следует избегать из-за очень некрасивого вида дороги («биение трассы») (рис. 17.77б). В некоторых случаях вид дороги может быть улучшен путем декоративных посадок, закрывающих вид на удаленные участки.

При большем количестве точек перелома в плане, чем в продольном профиле, получаются S-образные вертикальные кривые или извилистые участки с постоянным уклоном. В этом случае участок представляется искривленным без явной необходимости и логически неоправданным.

На кривых большого радиуса в плане могут быть допущены переломы продольного профиля с большим шагом проектирования при небольшой разнице высот. Это связано с тем, что водитель на таких участках при движении по кривой не видит впереди себя дорогу на большом расстоянии, когда сказываются законы оптических искажений в перспективе.

СНиП 2.05.02-85 рекомендует совмещать кривые в плане и продольном профиле. При этом кривые в плане должны быть на 100-150 м длиннее кривых в продольном профиле, а смещение вершин кривых должно быть не более 1/4 длины меньшей из них.

Следует избегать сопряжений концов кривых в плане с началом кривых в продольном профиле. Расстояние между ними должно быть не менее 150 м. Если кривая в плане расположена в конце спуска длиной свыше 500 м и с уклоном более 30%, радиус ее должен быть увеличен не менее чем в 1,5 раза по сравнению с минимально допустимыми, с совмещением кривой в плане и вогнутой кривой в продольном профиле в конце спуска.

Также СНиП 2.05.02-85 регламентирует предельные длины прямых вставок в продольном профиле (табл. 17.5).

Таблица 17.5. Предельные длины прямых вставок в продольном профиле

Радиус вогнутой кривой в продольном профиле, м	Алгебраическая разность продольных уклонов, ‰						
	20	30	40	50	60	80	100
Наибольшая длина прямой вставки в продольном профиле, м							
Для дорог I и II категорий							
4000	150	100	50	0	0	0	–
8000	360	250	200	170	140	110	–
12000	680	500	400	350	250	200	–
20000	–	–	850	700	600	550	–
25000	–	–	–	–	900	800	–
Для дорог III и IV категорий							
2000	120	100	50	0	0	0	0
6000	550	440	320	220	140	60	0
10000	–	–	680	600	420	300	200
15000	–	–	–	–	–	800	600

Исходя из вышеописанного, основные **принципы рационального сочетания элементов дорог в плане и продольном профиле** можно сформулировать следующим образом:

- 1) наилучшая плавность трассы достигается при совпадении вертикальных и горизонтальных кривых.
- 2) целесообразно избегать использования предельно допустимых норм на элементы плана и профиля (минимальные радиусы кривых в плане и продольном профиле, максимальные продольные уклоны);
- 3) необходимо применять максимально возможные по местным условиям и не вызывающие чрезмерного удорожания строительства радиусы кривых в плане и профиле (желательно не меньше 3000 м – в плане, 70000 м выпуклых и 8000 м вогнутых – в продольном профиле);
- 4) наибольшая плавность продольного профиля достигается при проектировании его из вогнутых и выпуклых кривых, непосредственно сопрягающихся друг с другом без промежуточных прямых вставок;
- 5) чем меньше разность смежных уклонов, тем большим должен быть радиус вертикальных кривых;
- 6) обертывающая проектная линия, точно следующая очертанию форм поверхности земли, нерациональна;
- 7) длинные участки, запроектированные с постоянным продольным уклоном, нерациональны даже при слабо пересеченном рельефе, поскольку их устройство связано с необходимостью устройства высоких насыпей или глубоких выемок;
- 8) желательно, чтобы длина горизонтальной кривой превышала длину выпуклой вертикальной кривой, радиус выпуклой кривой превышал радиус кривой в плане не менее чем в 8 раз;
- 9) несовпадение вершин кривых допустимо не более чем на 1/4 длины наименьшей из кривых;
- 10) взаимное смещение вершин горизонтальной и вогнутой кривых допустимо в исключительных случаях, но при этом поворот влево следует разбивать перед вогнутостью продольного профиля, а поворот вправо – за нею;
- 11) количество переломов в плане и профиле должно быть по возможности одинаковым.

При этом **следует избегать:**

- сочетаний элементов дороги в плане и профиле, которые из-за искажения их вида в перспективе кажутся неплавными и имеющими крутые изломы;
- коротких кривых в плане, расположенных между длинными прямыми, которые водителю издали кажутся резким переломом дороги. В табл. 17.6 приведены минимальные длины и радиусы кривых для равнинной местности в зависимости от наименьшей длины сопрягающихся прямых.

Таблица 17.6. Минимальные длины и радиусы кривых для равнинной местности

Длина меньшей из двух прямых, м	Наименьшая длина кривой, м	Наименьший радиус кривой
≥ 2000	500	2,0R <sub>min</sub>
1000	400	1,2R <sub>min</sub>
≤ 500	350	1,0R <sub>min</sub>

Примечание. R<sub>min</sub> – минимальный радиус для дороги соответствующей категории согласно СНиП 2.05.02-85.



- коротких прямых вставок между направленными в одну сторону кривыми;
- коротких прямых вставок между смежными кривыми;
- резких переходов от кривых большого радиуса в плане к кривым малого радиуса;
- сочетаний элементов дорог, при которых в каком-то месте требуется неожиданное для водителя и не оправданное предыдущим положением дороги резкое снижение скорости;
- сочетаний элементов трассы, создающих у водителей ошибочное представление о дальнейшем направлении дороги (рис. 17.78).

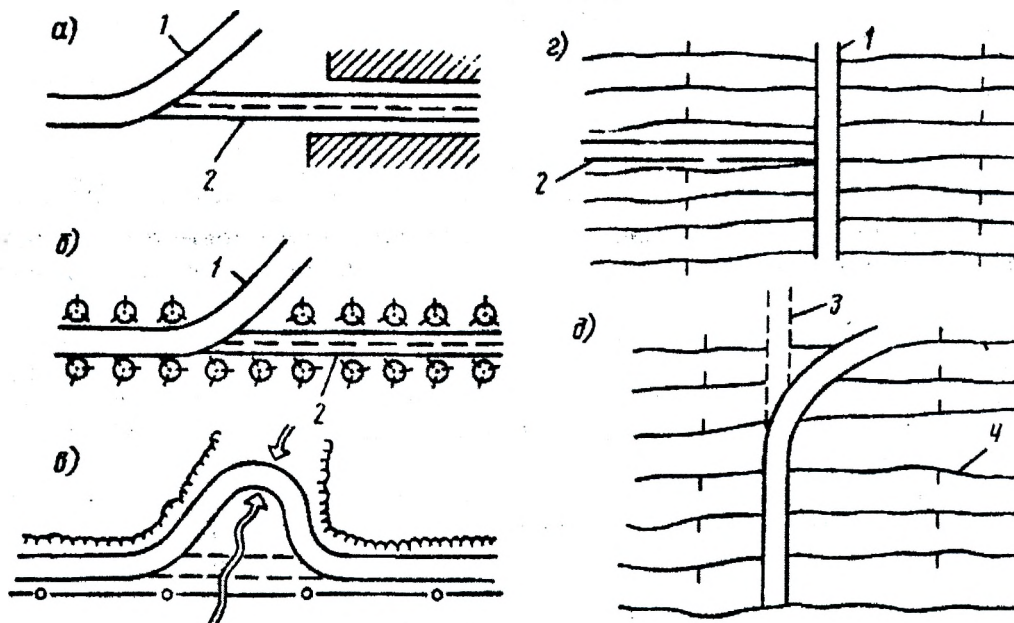


Рис. 17.78. Примеры неудачных сочетаний элементов дорог, которые создают у водителей неправильное представление о дальнейшем направлении дороги: а, б – незаметный издали поворот основной дороги (водителю кажется, что она не меняет направления); в – спуск дороги по склонам оврага, когда начало спуска не видно водителю (линия связи, пересекающая овраг по прямому направлению, создает ошибочное представление, что и дорога продолжается прямо); г – примыкание второстепенной дороги на гребне водораздела (водителю кажется, что основная дорога круто поворачивает в сторону); д – скрытый поворот дороги за водоразделом (у водителя создается впечатление, что дорога идет прямо); 1 – основная дорога; 2 – примыкающая второстепенная дорога; 3 – кажущееся водителю направление дороги; 4 – горизонтали местности

#### Средствами зрительного ориентирования являются:

- полотно дороги в целом;
- указательные столбики, боковые ограждения барьерного типа;
- придорожная растительность, особенно высокие деревья;
- отдельные возвышающиеся предметы, повышающие внимательность водителя.

#### Наибольшая плавность трассы дороги обеспечивается при:

- введении длинных переходных кривых, описанных по клотоиде (радиальной спирали) с уравнением  $A^2 = R \cdot L$ . Значение параметра  $A$  переходных кривых должно находиться в пределах от  $0,4R$  до  $1,4R$ , причем параметры смежных кривых не должны различаться более чем в 1,5 раза;

- углу поворота трассы при вписывании переходной кривой не менее  $3^\circ$ ;

- длине переходной кривой не менее  $1/4$  длины круговой кривой;

- сопряжении переходными кривыми обратных S-образных кривых необходимо, чтобы обе переходные кривые имели одинаковый параметр  $A$ . При этом радиусы сопрягаемых кривых должны находиться в соотношении  $R_1 \leq 3R_2$ .

- сопряжении переходными кривыми круговых кривых, направленных в одну сторону, должно соблюдаться соотношение  $0,5R_1 < A < R_2$  и  $A_1 \leq A_2 \leq 1,2A$ . При  $R_1 \leq 2R_2$  круговые кривые можно сопрягать непосредственно;

- длине прямой вставки между двумя обратными клотоидами с параметрами  $A_1$  и  $A_2$  не более  $L = (A_1 + A_2)/2$ . При этом параметры  $A_1$  и  $A_2$  не должны различаться более чем в 2 раза.

**Расположение мостов, в том числе и больших пролетов, должно полностью подчиняться направлению трассы.** Совершенно недопустимы возвышающиеся над прилегающими участками «горбатые» мосты, а также прямолинейные мосты небольшой длины, расположенные между кривыми в плане, которые создают впечатление неприятных переломов трассы. Не допускаются горизонтальные мосты в пределах вогнутых вертикальных кривых, поскольку они создают впечатление как бы плоской доски, вставленной в плавную криволинейную полосу.

Для устранения подобных неудачных сочетаний мосты следует располагать в соответствии с общим направлением дороги – на кривых в плане и профиле, на переходных кривых, с устройством, в случае необходимости, виражей (рис. 17.79).

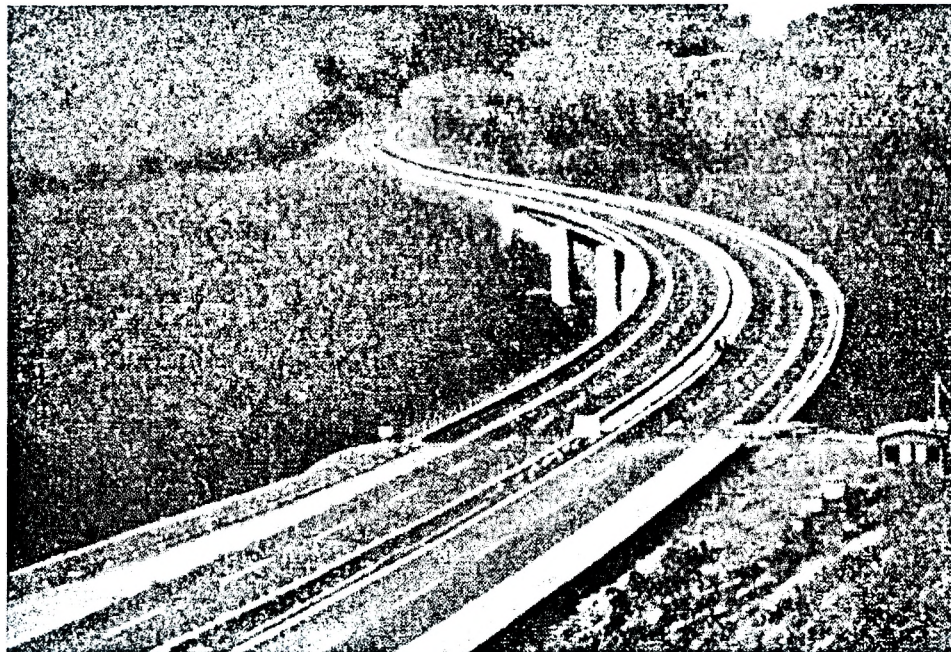


Рис. 17.79. Мост, расположенный на кривой

Неизбежное при этом осложнение конструкции моста оправдывается улучшением трассы дороги и транспортно-эксплуатационных качеств. Особенно удачно с точки зрения ландшафтного проектирования расположение мостов на кривой, которое позволяет едущим в полной мере оценить красоту этих оригинальных инженерных сооружений.

Расположение мостов на пространственных кривых вносит серьезные осложнения в процессы строительства. Несмотря на это, на сегодняшний день на многих зарубежных автомагистралях успешно осуществлены проекты криволинейных мостов, не только эстакад с сравнительно небольшими пролетами, но и больших мостов со сложными металлическими и железобетонными пролетными строениями. Известны успешные попытки применения сборных железобетонных мостов. В СССР такой мост построен на кривой в плане на дороге Симферополь – Ялта.

Практическая возможность проектирования мостов на кривых долгое время осложнялась отсутствием типовых проектов мостов, приспособленных к разбивке на кривых. С разработкой Союздорпроектом проектов сборных мостов на кривых радиусами от 250 до 1000 м и накоплением опыта строителями препятствия к устройству криволинейных мостов полностью устранены.

На зарубежных магистралях широкое распространение получило строительство высоких эстакад, перекрывающих долины, вместо развития линии по склонам и устройства малых мостов (рис. 17.80). Этим обеспечивается плавность дороги в продольном профиле и устранение ненужных спусков и подъемов, снижающих эффективность использования автомобильного транспорта и являющихся местом сосредоточения дорожно-транспортных происшествий. Особенно часто практикуется такое решение в курортных районах, в местностях с ценными землями и при неблагоприятных геологических условиях, когда нагружение неустойчивых склонов насыпями или подрезка выемками, может привести к возникновению оползней.





Рис. 17.80. Виадук на автомагистрали, перекрывающий долину с пологими склонами

На рис. 17.81 показана модель виадука, построенного в Латвии через овраг Лорупе вблизи Риги.

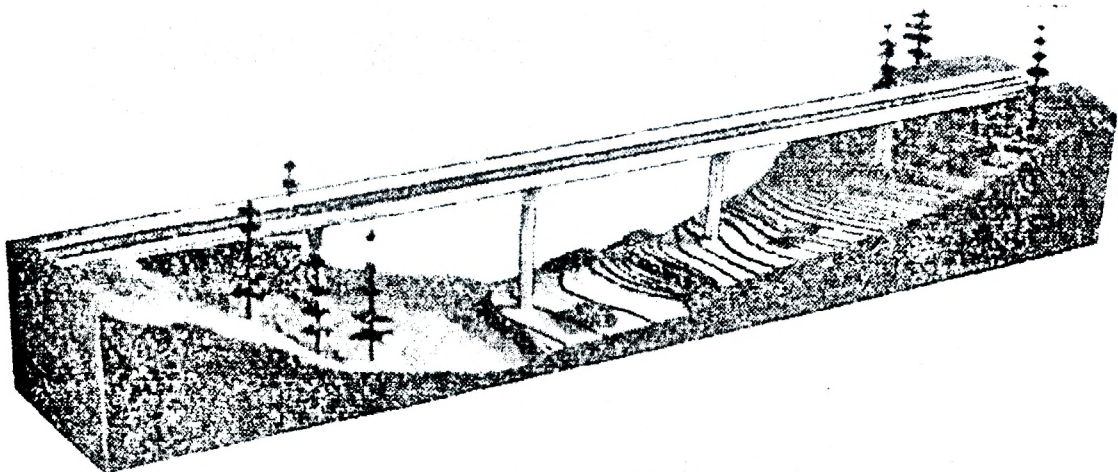


Рис. 17.81. Модель виадука, перекрывающего долину

Мосты на пересечениях дорог в разных уровнях не должны ограничивать видимость на пересекаемой дороге. Требования безопасности движения привели к отказу от стоек на разделительной полосе, на которые часто наезжают автомобили. Для современных автомагистралей типичны путепроводы, перекрывающие все земляное полотно. При относительно легкой конструкции они создают рамку, через которую водителям открываются живописные виды.

Особенно большое значение приобретает обеспечение видимости на сложных пересечениях дорог в нескольких уровнях. При неудачной конструкции расположенные друг над другом элементы путепроводов оставляют у едущих впечатление громоздкости, придавленности и отсутствия ясности в проектных решениях (рис. 17.82а).

Наоборот, хорошо продуманные легкие изящные конструкции на пересечениях в разных уровнях хорошо вписываются в ландшафт и с интересом воспринимаются едущими (рис. 17.82б).

Большие мосты через реки, особенно судоходные, являются уникальными сооружениями и их расположение должно обосновываться выбором наиболее рационального мостового перехода. Однако трасса дороги соответственно должна быть изменена на достаточно большом расстоянии, чтобы не создавалось впечатления резкого изменения ее направления у моста.

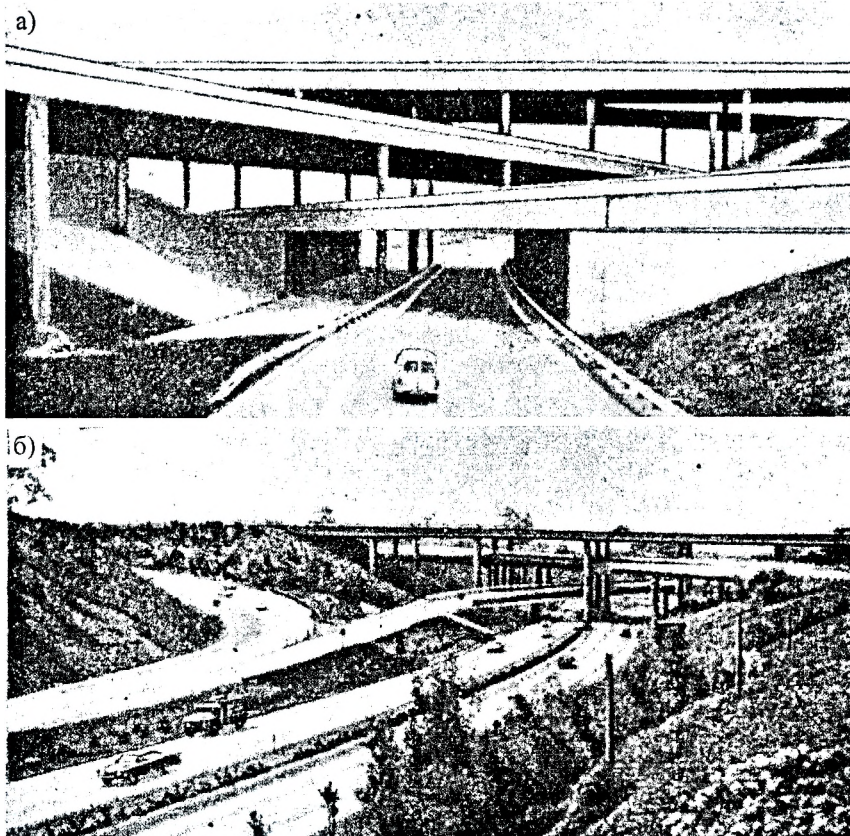


Рис. 17.82. Вид сооружений на многоярусных пересечениях в разных уровнях: а – приземистое массивное сооружение, впечатление от которого приводит к снижению скорости проезда автомобилей; б – ажурное, хорошо увязанное с ландшафтом сооружение

В горных районах должны шире рассматриваться варианты арочных мостов, перекрывающих большие долины без изменения направления трассы. Для их строительства требуется меньший отвод земли по сравнению с высокими насыпями, что очень важно в курортных районах. При устройстве мостов не нарушаются условия устойчивости горных склонов, в то время как отсыпка высоких насыпей часто способствует развитию оползневых явлений.

Пересечения автомобильных дорог в разных уровнях с устройством путепровода являются участками с недостаточной видимостью, так как водитель подъезжающего автомобиля видит дорогу только до верхней точки путепровода. Участок за путепроводом невидим, что существенно снижает безопасность движения. Целесообразно поэтому располагать путепроводы на кривых в плане с радиусами 1000-1500 м при угле поворота примерно  $30^\circ$ .

В равнинной местности не следует применять на подходах к путепроводам предельные значения продольных уклонов.

### 17.17. Последовательность ландшафтного проектирования

Автомобильную дорогу в увязке с ландшафтом проектируют на топографической карте крупного масштаба в такой последовательности.

**1. Анализируя** местные условия в соответствии с проведенной воздушной линией, **выявляют на карте ориентиры, контрольные точки и элементы ситуации**, которые определяют направление дороги. По данным оценки гидрогеологических и почвенных условий местности при рекогносцировке устанавливают и отмечают на карте участки, неблагоприятные для проложения трассы. Выявляют места, наиболее подходящие для пересечения больших рек или глубоких оврагов.

**2. Анализируют особенности ландшафта придорожной полосы**, в частности, виды, открывающиеся с воздушной линии. Должны быть выявлены места, на которых можно устроить площадки отдыха или просто раскрыть красивый вид. В этой части работы имеет решающее значение участие ландшафтного архитектора, который должен помочь установить общие закономерности ландшафта и наметить характер трассы. При этом следует учи-



тивать, что красивые виды не ограничиваются величественными горами и глубокими долинами. Для едущих могут быть привлекательными небольшая группа деревьев, открывшаяся в лесу поляна, живописный пруд, выход скал на зеленом склоне.

**3. Карту «поднимают», обводя на ней характерные элементы ландшафта,** которые не должны быть затронуты трассой и, наоборот, к которым она должна приближаться. Стрелками отмечают направление взглядов на красивые виды. Одновременно устанавливают границы ландшафтных бассейнов.

**4. Предварительно наносят варианты трассы,** удовлетворяя изложенным выше требованиям. Углы поворота в плане совмещают с основными переломами элементов рельефа – водоразделами, пересечениями водотоков, или подошвой склонов их долин.

**5. Намеченную трассу корректируют при помощи гибкой линейки** (рис. 17.83).

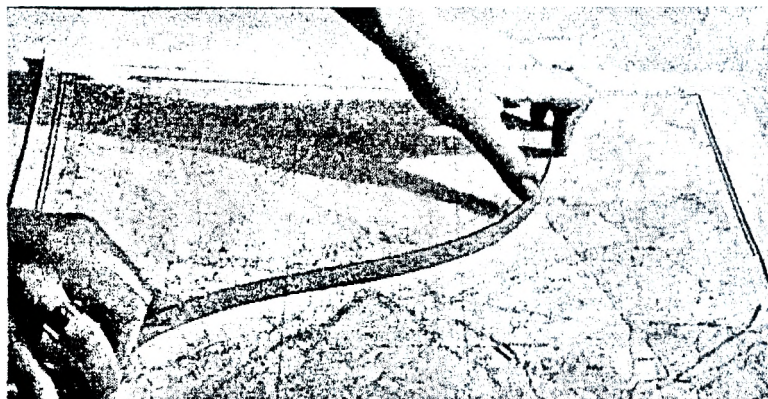


Рис. 17.83. Выбор направления трассы на плане в горизонталях с помощью гибкой линейки

**6. Следующий этап проектирования – вписывание в изгибы трассы кривых.** Для этого наиболее целесообразно использовать набор шаблонов в масштабе карты местности. Шаблоны должны соответствовать округленным значениям радиусов.

Радиусы круговых кривых подбирают таким образом, чтобы кривые, удовлетворяя требованиям продольного уклона, удачно сопрягались с рельефом местности, как бы опоясывая возвышающиеся элементы рельефа или огибая его понижения. Радиусы смежных кривых должны удовлетворять приведенным выше соотношениям. Между вписанными круговыми кривыми располагают переходные кривые, используя шаблоны клотоид (рис. 17.84).

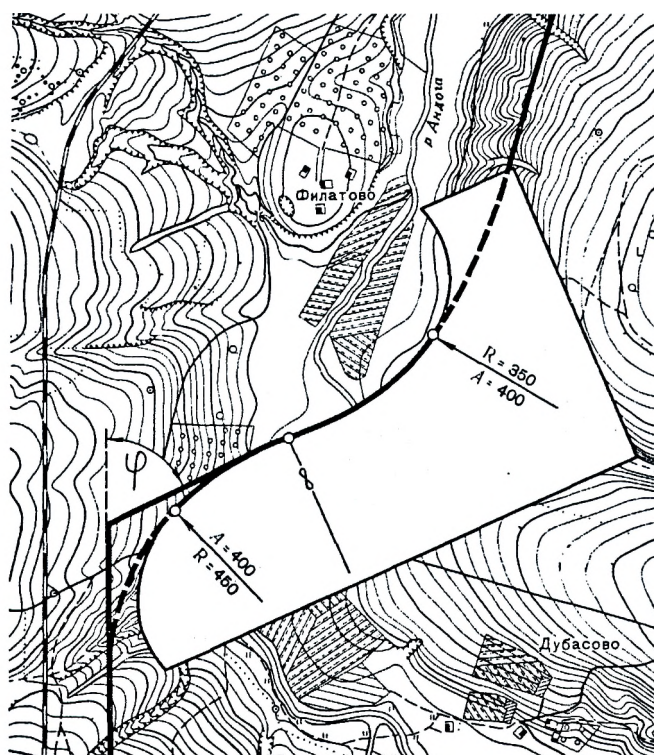


Рис. 17.84. Вписывание клотоиды по шаблону в намеченную с помощью гибкой линейки трассу

На шаблонах имеется горизонтальная линия – ось абсцисс, совпадающая с тангенсом закругления, и перпендикулярная ей вертикальная линия – ось ординат, совпадающая с началом клотоиды, где  $R=\infty$ . Помимо этих линий на шаблонах нанесены направления радиусов, перпендикулярных к касательным в соответствующих точках клотоиды.

Последовательно примеряя шаблоны клотоид разных параметров, выбирают из них один, лучше всего вписывающийся в намеченную линию. На карте отмечают карандашом точку начала круговой кривой и начала переходной кривой. По шаблону отмечают направление тангенса. По пересечениям продолженных направлений тангенсов кривых измеряют угол поворота трассы.

Выполнение этой трудоемкой работы в проектных организациях облегчался использованием ЭВМ. В 80-е годы прошлого века был разработан ряд программ, отличающихся по идее алгоритмов. Наиболее часто используемый алгоритм основан на методе опорных элементов и исходит из точно вычерченных с помощью шаблонов на планах в горизонталях трасс. В ЭВМ вводились данные о координатах фиксированных элементов – прямых участках, центрах круговых кривых и их радиусах и о полуфиксированных элементах, которые могут смещаться в определенных пределах. ЭВМ увязывала эти элементы между собой при помощи клотоид, прямых или окружностей, определяя параметры соединяющих элементов и выдавая координаты для разбивки трассы.

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

В настоящее время во многих проектных организациях трассируют дороги **методом сплайн-функций**, обеспечивающим лучшее согласование дороги с ландшафтом. Трассу дороги прокладывают по намеченным на плане контрольным точкам в виде непрерывной плавной линии, описываемой по отдельным участкам *уравнением полиномов*, чаще всего кубических. Программы ЭВМ обеспечивают закономерное, удовлетворяющее заданному критерию нарастания центробежного ускорения, трассирование при переходе автомобиля с одного элемента трассы на другой.

При методе сплайнов производится математическое осреднение введенного в компьютер 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.

**Суть метода сплайнов** – замена радиоидальной спирали (клотоиды) кубической параболой (сплайном), что позволяет определить расчетом элементы сопряжения (рис. 17.85).

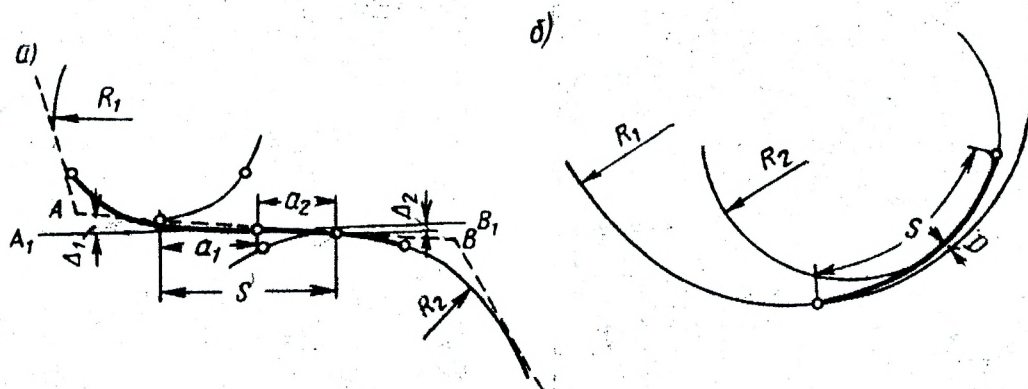


Рис. 17.85. Сопряжение круговых кривых переходными кривыми по кубической параболе (сплайном): а – обратные кривые; б – кривые, направленные в одну сторону

Кубическая парабола отличается от радиоидальной спирали тем, что радиус пропорционален не длине кривой, а абсциссе.

Для замены клотоиды сплайном на плане в горизонталях несколько изменяют положение участка трассы  $AB$ , соединяющей кривые в плане, проводя линию  $A_1B_1$  (см. рис. 17.85). Исходные данные для вписывания переходных кривых определяют графически. Ими являются величины радиусов  $R_1, R_2$  и расстояние  $S$ .



Расстояния  $a_1$  и  $a_2$  на рис. 17.85 равны соответственно  $a_1 = \frac{S \cdot R_2}{R_1 + R_2}$  и  $a_2 = \frac{S \cdot R_1}{R_1 + R_2}$ .

Если соединяемые кривые направлены в одну сторону, можно воспользоваться приближенной зависимостью

$$D = \frac{S^2}{24} \cdot \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right), \quad (17.2)$$

где  $D$  – расстояние между двумя окружностями в месте их наибольшего сближения. С достаточной точностью можно принять, что оно соответствует середине участка переходной кривой  $S$ ;  $S$  – длина участка переходной кривой между окружностями радиусов  $R_1$  и  $R_2$  (см. рис. 17.85).

Параметр переходной кривой, общий для обеих кривых

$$C = \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2 \cdot S}{R_1 - R_2}}. \quad (17.3)$$

7. На нанесенной трассе графически *разбивают пикетаж* и по его данным, определяя по горизонталям отметки, строят продольный профиль местности, на которой наносят проектную линию.

Как следует из вышесказанного, трассирование автомобильной дороги является наиболее важным этапом проектирования и может быть выполнено с использованием различных принципов. Принцип «тангенциального трассирования» (рис. 17.86а) применим на некоторых участках трассы только в случае, когда направления, определяющие углы поворота, фиксированы ситуационными условиями. В остальных случаях принцип тангенциального трассирования использовать не следует ни при ручном, ни тем более при автоматизированном проектировании.

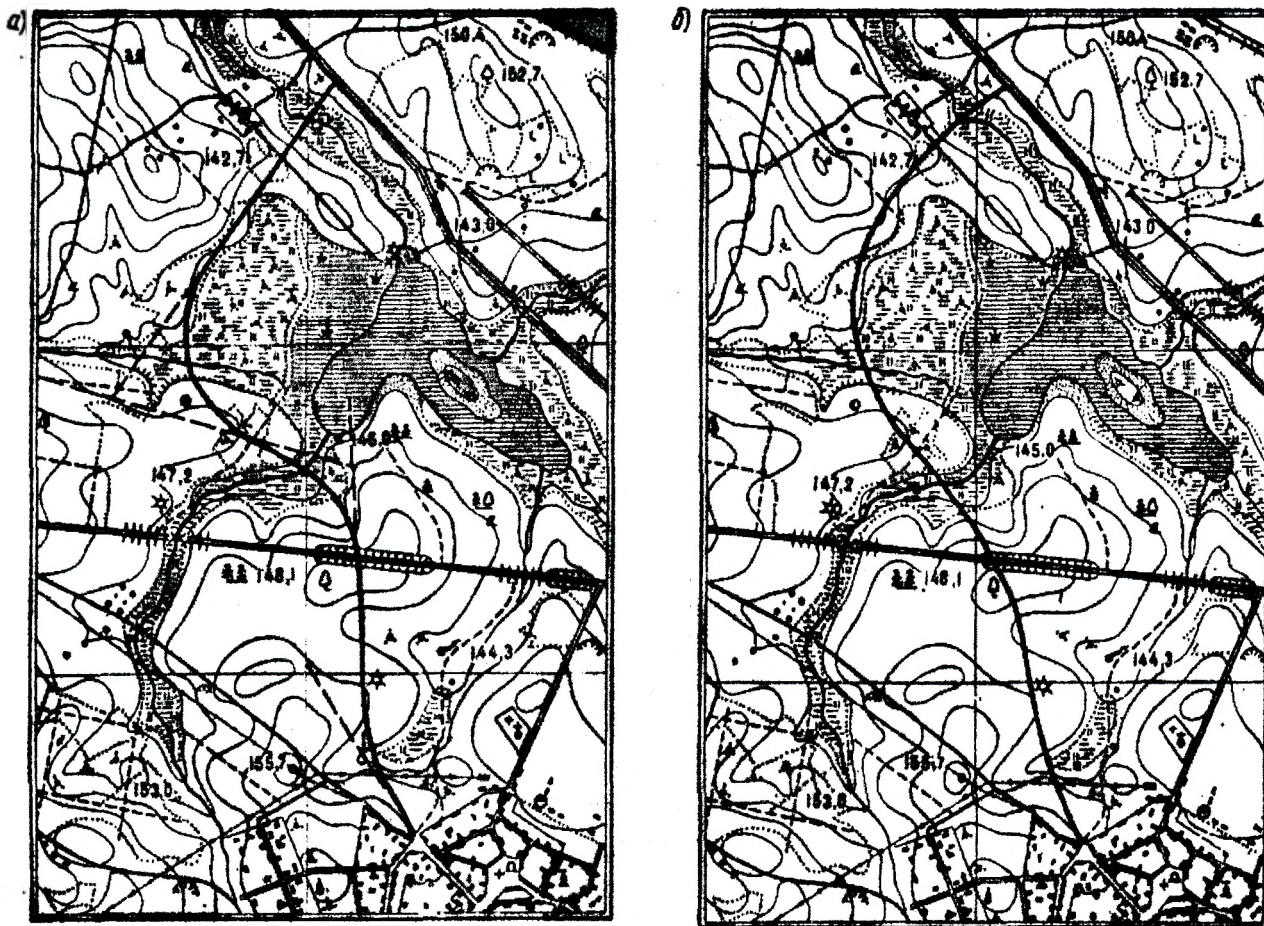


Рис. 17.86. Трасса, запроектированная по методам: а – тангенциального трассирования; б – гибкой линейки

*Принцип «гибкой линейки»* используется и при неавтоматизированном проектировании, когда закругления трассы представлены лишь в виде обычных круговых кривых либо в виде круговых кривых с вспомогательными переходными (рис. 17.86б). Для этого по плавной эскизной линии трассы автомобильной дороги устанавливают положение магистрального хода, измеряют углы поворота  $\alpha$  и значения биссектрис  $B$  на закруглениях. По известным значениям  $\alpha$  и  $B$  с использованием таблиц горизонтальных кривых определяют радиусы закруглений  $R$  с их последующим округлением до кратных значений.

Получившие наибольшее распространение методы автоматизированного проектирования плана трассы, базирующиеся на принципе «гибкой линейки» – «однозначно определенной оси» и «сглаживания эскизной линии» – различаются, главным образом, способами аппроксимации эскизной трассы, однако в результате автоматизированной увязки план дороги все равно представляется сочетанием обычных элементов клотоидной трассы: клотоидами, отрезками клотоид, круговыми кривыми и прямыми.

#### **8. Выполняется взаимная увязка плана и профиля трассы.**

В соответствии с продольным профилем точно выделяют на дороге ландшафтные бассейны. Плавность должна быть обеспечена в пределах бассейнов. На участках перехода из одного ландшафтного бассейна в другой должны быть соблюдены принципы оптического трассирования – направление дороги должно быть ясно за пределами непосредственной видимости.

Необходимо, намечая изменения положения вершин горизонтальных и вертикальных кривых, добиться, чтобы середины кривых совпадали или смещались на допустимую величину, а длины их были не менее рекомендуемых. Если удастся обеспечить сочетание переломов трассы в плане и профиле, можно считать задачу практически решенной.

*При совпадении кривых корректируют радиус кривых в плане таким образом, чтобы горизонтальные кривые перекрывали вертикальные.*

В откорректированную в плане трассу вновь вписывают по шаблонам круговые и переходные кривые, причем пикетаж определяют точно, при помощи составления ведомости прямых и кривых с использованием вспомогательных таблиц. После этого окончательно строят продольный профиль и наносят проектную линию.

Для участков сложных сочетаний плана и профиля строят изображения вида дороги в перспективе с характерных видовых точек.

Необходимо обеспечивать плавность трассы при взглядах в оба направления движения. *Типичной ошибкой работ по ландшафтному проектированию является худшая плавность трассы в направлении, противоположном ходу изыскательской партии.*

На стадии рабочего проектирования проектируют также откосы земляного полотна на сложных участках. Если в управлении строительства имеется архитектор – специалист по ландшафтному проектированию, эту работу можно выполнять и непосредственно в процессе производства земляных работ.

В противном случае, при переменной крутизне откосов и нестандартном округлении бровок выемок, должны быть разработаны промежуточные поперечные профили. Для этой цели используют метод проектных горизонталей, широко применяемый при проектировании городских улиц.

*При этом обычно решается три задачи.*

*1. Определение границ насыпей и выемок при разной крутизне откосов.*

*2. Построение планов местности в горизонталях с учетом расположения откосов построенной дороги.*

*3. Приспособление земляного полотна к прилегающим формам рельефа. Простейший способ обеспечения плавного перехода откосов в окружающие формы рельефа заключается в округлении резких изломов горизонталей (рис. 17.87).*

Это будет соответствовать округлению бровок откосов и изменению их крутизны. Плавно изменяя радиусы округления горизонталей, можно получить криволинейное очертание откосов. Подобный принцип может быть положен в основу и при построении откосов, крутизна которых меняется с рабочей отметкой.



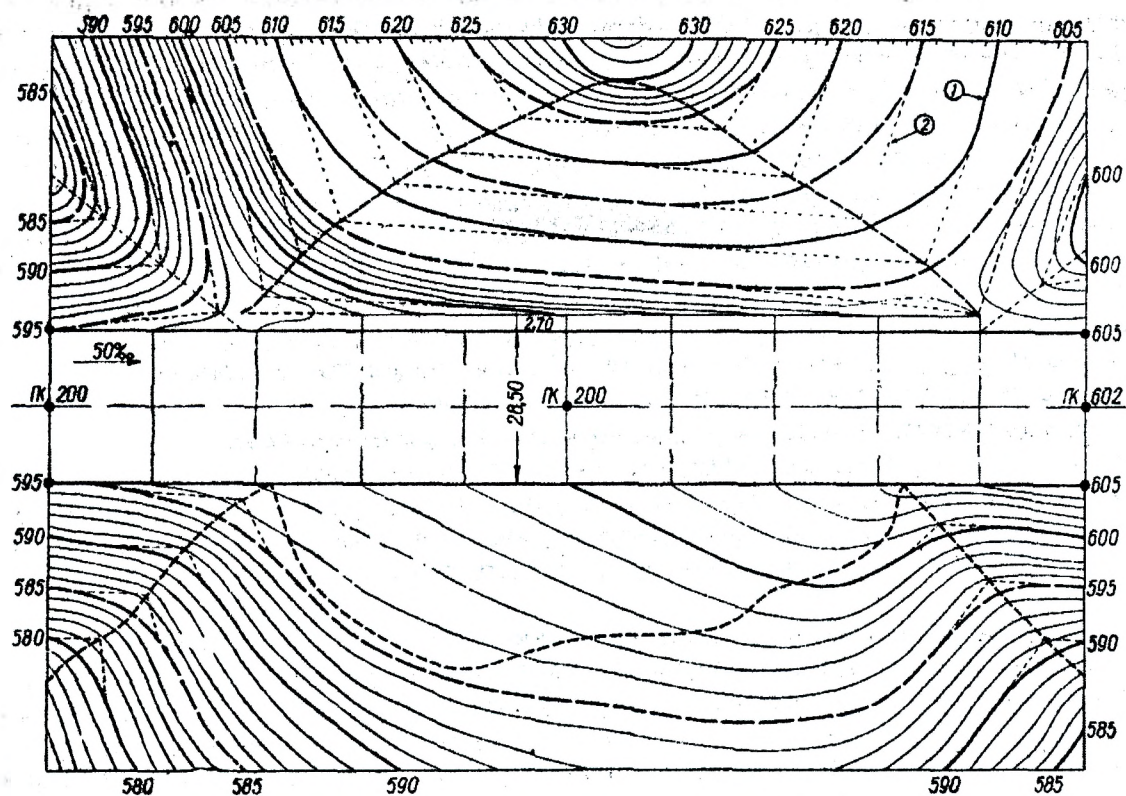


Рис. 17.87. Горизонтالي откосов насыпей и выемок при плавном переходе откосов в прилегающую местность: 1 – горизонтали при согласовании земляного полотна с рельефом; 2 – горизонтали при обычном проектировании

### 17.18. Оценка пространственной плавности дороги

Изложенные выше принципы сочетания элементов трассы автомагистрали и увязки их с ландшафтом даны лишь в общих формулировках. Удачность проложения дороги на местности во многом зависит от опытности и эстетического вкуса проектировщика. От инженера, проектирующего дорогу, требуется способность к пространственному мышлению и чувство архитектурных пропорций.

Поэтому как сам проектировщик, так и лица, рассматривающие его работу и утверждающие проект, должны иметь возможность количественно оценить транспортные качества дороги и представить себе вид построенной дороги не только на основе обычной проектной документации, но и в более наглядной форме.

Для оценки плавности трассы используют **ряд методов**:

- оценку плавности построением графиков скорости движения и кривизны;
- построение перспективных изображений отдельных участков дороги при взгляде с характерных точек местности;
- моделирование участков дороги.

Первый из указанных методов может охарактеризовать плавность дороги только с позиций динамики автомобиля на основе рассчитанных по формулам и построенных графиков изменения скоростей движения одиночного автомобиля. Методы расчета предусматривают, что автомобили всегда едут с максимальной скоростью, возможной для данных дорожных условий и мощности двигателя.

Влияние дорожных условий и транспортного потока на режимы движения, избираемые отдельными водителями, в этих расчетах пока не учитывается.

В конце прошлого века (1990 годы) были установлены на основе наблюдений за фактическими режимами движения значения поправочных коэффициентов в результаты расчетов по теоретическим формулам, а также наиболее типичных для подавляющего большинства водителей характеристик изменения скоростей движения – коэффициента поперечной силы и скорости ее нарастания при въезде на кривую в плане, степени открытия дросселя на подъемах разной крутизны, способа и интенсивности торможения на разных спусках.

График скорости движения, учитывающий влияние плана и профиля, является комплексной характеристикой трассы дороги. Однако транспортные качества дороги определяются не столько абсолютной величиной скорости, допустимой на отдельных участках, сколько частотой их изменений и величиной перепадов скорости, вызываемых несогласованностью смежных элементов трассы. Поэтому плавность трассы с точки зрения динамики движения автомобилей можно характеризовать графиком коэффициентов безопасности, которыми называют отношение скорости, обеспечиваемой элементом трассы к максимально возможной скорости въезда на этот участок с предшествующего.

**Трассу, у которой коэффициент безопасности находится в пределах 0,9-1,0, можно считать плавной.**

Плавность проложения трассы, как пространственной линии, может быть оценена также при помощи анализа ее плана и профиля путем построения графиков изменения кривизны. Графики строят отдельно для плана и продольного профиля дороги. В обоих случаях от горизонтальной оси откладывают величины, обратные радиусу ( $1/R$ ). На прямых участках в плане и на участках постоянных уклонов в продольном профиле, как бы соответствующих кривым бесконечно большого радиуса, линии графика совпадают с осями. Переходные кривые, на которых кривизна изменяется постепенно, изображаются на графиках наклонными линиями (рис. 17.88).

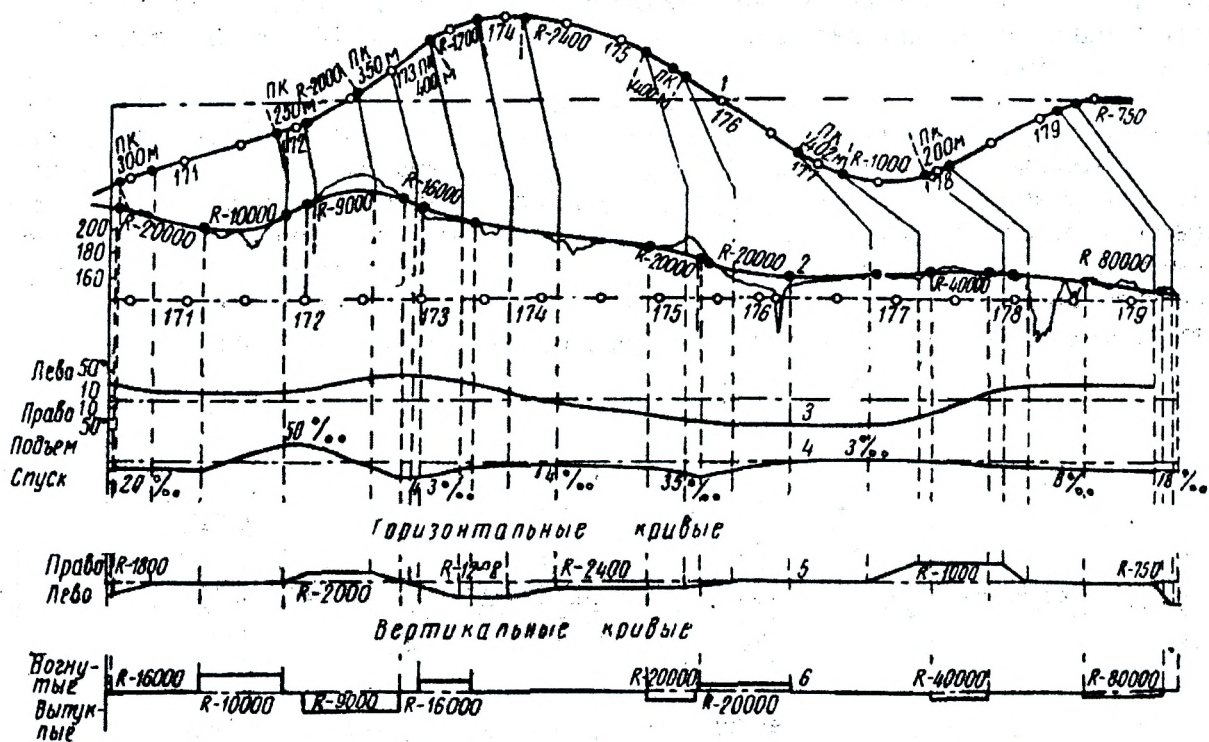


Рис. 17.88. Оценка плавности проложения трассы участка автомагистрали методом построения графика изменения кривизны: 1 – план трассы; 2 – продольный профиль трассы; 3 – график углов поворота трассы в плане; 4 – график уклонов продольного профиля; 5 – горизонтальные кривые; 6 – вертикальные кривые

Площадь, заключенная между линией  $1/R$  и осью абсцисс, равна  $L/R$ , т.е. пропорциональна величинам угла поворота.

Извилистость трассы в плане и продольном профиле оценивают путем построения графиков «углов» и «подъемов».

Для построения графика углов поворота трассы в плане от произвольной горизонтальной оси откладывают углы, образуемые прямыми участками трассы с воздушной линией. Повороты в одну сторону считают имеющими положительное значение, в другую – отрицательное. Каждому прямому участку на графике соответствует горизонтальная площадка, а сопряжению кривых, направленных в разные стороны, – точки. Участки круговых и переходных кривых условно изображают прямыми линиями, соединяющими в пределах длины кривой соседние горизонтальные участки графика (см. рис. 17.88).



Чем ближе располагается получающийся ступенчатый график к оси, тем менее отклоняется дорога от воздушной линии.

На графике уклонов продольного профиля построение производят аналогично, откладывая величины уклонов.

Горизонтальные участки соответствуют подъемам и спускам с постоянным уклоном, а наклонные линии – вертикальным кривым, выпуклые кривые обозначаются опускающимися линиями, вогнутые – поднимающимися.

Масштабы для графиков углов плана и профиля принимают различными, подбирая их из условий получения должной наглядности чертежа.

Следует признать, что описанные графики дают лишь общее представление о трассе дороги, не позволяя дать характеристику ее плавности каким-либо числовым показателем. Это затрудняет их использование для сравнения вариантов.

Широкое применение переходных кривых исключает возможность использования для характеристики извилистости трассы показателей типа величины углов поворота на единицу длины дороги в градусах, числа углов поворота на единицу длины дороги и т. д.

Более объективными для дорог сравнительно большого протяжения являются кривые распределения частот повторяемости кривых с радиусами разной величины. Если характеризовать криволинейные участки величиной так называемого «градуса кривизны» – градусов центрального угла стягиваемых дугой длиной 100 м, то можно построить график, показывающий, какой процент общего протяжения дороги приходится на каждую величину «градуса кривизны».

Прямые участки будут соответствовать  $\alpha=0$ . Переходные кривые можно условно делить на участки, принимая в пределах каждого из них среднее значение градуса кривизны.

Заслуживает внимания разработанный в Испании критерий плавности дороги исходя из условий видимости дороги водителями. Как показали исследования, при спокойном и уверенном управлении и комфортабельном положении водителя на сиденье его луч зрения не выходит из пределов «прямоугольника четкой видимости», размером 10x16 см на ветровом стекле, расположенном в 50 см от его глаз (рис. 17.89). Наиболее четкой видимости соответствует кружок диаметром 2 см – зона сосредоточения наибольшего внимания.

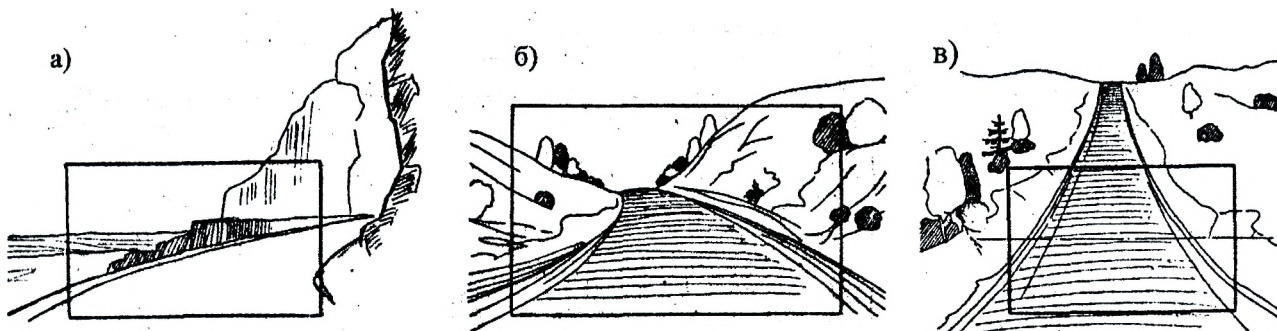


Рис. 17.89. «Прямоугольник четкой видимости» при разных направлениях дороги: а, в – плохие условия видимости; б – хорошие условия видимости

Испанские инженеры полагают, что при уверенном и безопасном ведении автомобиля взгляд удален на расстоянии  $25B$ ; где  $B$  – ширина дороги между бровками, м. Это относится к средним эксплуатационным, типичным для дорог Испании скоростям движения.

Если трасса такова, что при взгляде на полотно дороги на таком расстоянии зона сосредоточения внимания выходит за пределы прямоугольника (рис. 17.90), комфортабельность управления ухудшается в тем большей степени, чем больше удаление.

Исходя из геометрических построений, предложены минимальные значения радиусов кривых в плане и продольном профиле, обеспечивающие удобство управления:

$$R_{гор.} = \frac{p^2 + 156,5}{2 \cdot p} \cdot B, \quad R_{вогн.} = 65 \cdot B^2, \quad R_{вып.} = 130 \cdot B - 60, \quad (17.4)$$

где  $p$  – расстояние боковой видимости, м.

Анализ показывает, что дорога не выходит из пределов «прямоугольника четкой видимости» при углах поворота в плане, меньших  $20^\circ$ .

Описанный метод применим и при анализе перспективных изображений.

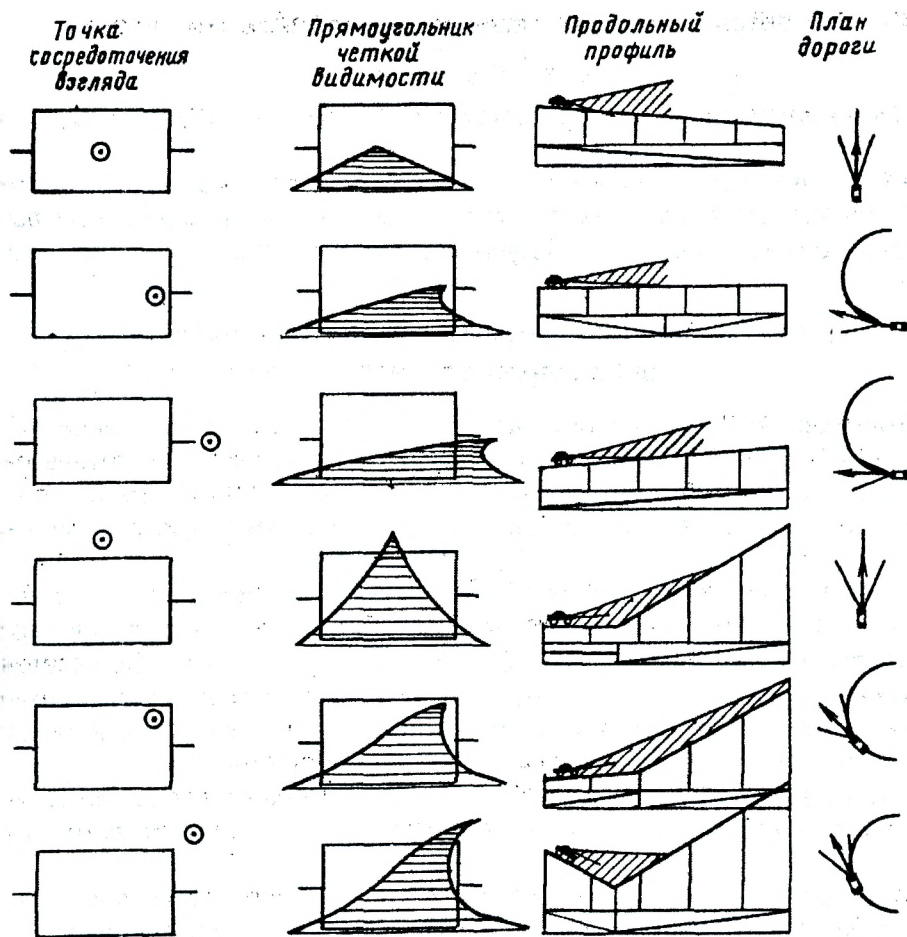


Рис. 17.90. Соотношение положения зон сосредоточения внимания и «прямоугольника четкой видимости» при разных сочетаниях элементов плана и профиля

По предложению проф. Е. М. Лобанова **за критерий зрительной плавности** возможно принимать изменение кривизны линий, образующих изображение дороги на картинной плоскости, на которую как бы проецируется дорога при взгляде водителя. Из контурных линий, определяющих вид дороги, наиболее характерной является внутренняя кромка дороги – «ведущая линия» (рис. 17.91), математической характеристикой изображения которой является радиус в точке с наибольшей кривизной («экстремальная точка»)

$$R_{\alpha} = \frac{R \cdot H^2}{S_{\alpha}^3} \cdot K, \quad (17.5)$$

где  $R$  – радиус кривой в плане, м;  $H$  – возвышение глаза наблюдателя над поверхностью проезжей части, м;  $S_{\alpha}$  – расстояние от наблюдателя до экстремальной точки, м;  $K = \frac{10^4}{2,91}$  – коэффициент, учитывающий переход от радиан к градусным единицам измерения.

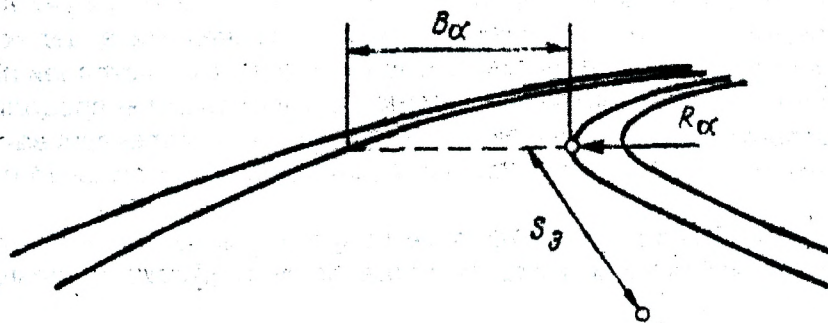


Рис. 17.91. Характеристики изображения в картинной плоскости, определяющие зрительную плавность дороги



Вид дороги считается зрительно плавным при соблюдении условия

$$B_{\alpha} < 1,6 \cdot \sqrt{R_{\alpha} - 1}, \quad (17.6)$$

где  $B_{\alpha} = B_{п.ч.}/0,18$  – видимая ширина проезжей части (см. рис. 17.91), м;  $B_{п.ч.}$  – ширина проезжей части, м.

По мере изменения расстояния от автомобиля до критической точки зрительная плавность дороги возрастает. Желательно, чтобы она была обеспечена при взгляде с границ ландшафтного бассейна и, во всяком случае, на расстоянии, не меньшем видимости из условия обгона.

### 17.19. Использование перспективных изображений для контроля плавности трассы

Построение перспективных изображений – наиболее распространенный метод оценки вариантов дорог. Он нашел широкое применение и в практике проектирования зарубежных автомагистралей. Построение перспектив дает возможность представить вид дороги на основании только проектных материалов, до ее строительства, когда еще можно внести необходимые изменения в проект.

Наглядность перспективы может быть усилена при использовании *анаглифических изображений*. В этом случае перспективное изображение участка дороги строят из двух точек зрения, отстоящих друг от друга на 0,5 м по ширине дороги. Совмещенные на одном чертеже изображения вычерчивают разными цветами. Рассматривая анаглифический чертеж через очки, цвет стекол которых соответствует цветам изображений чертежа, зритель получает объемное представление о виде дороги в перспективе.

При помощи перспективных изображений можно оценить плавность участков дороги длиной до 2-4 км, т. е. практически в пределах максимального расстояния видимости дороги водителями.

*Перспективные изображения строят в сложных случаях сочетания элементов трассы, тогда, когда возникают сомнения в обеспеченности плавности трассы. К их числу относятся:*

- видимые на большое расстояние с возвышенных точек продольного профиля вогнутые участки со сложными сочетаниями элементов плана;
- участки с неудовлетворяющими приведенным выше рекомендациям сочетаниями плана и профиля;
- участки с волнообразным продольным профилем на кривых в плане;
- кривые малых радиусов в плане, для повышения оптической плавности которых предусматривается введение переходных кривых.

При построении перспективных изображений обычно вычерчивают вид дорожного полотна – проезжей части и обочин, дополняя его, в случае необходимости границами земляного полотна. Следует помнить, что анализ только перспективного изображения полотна дороги, без учета элементов рельефа и ситуации придорожной полосы не гарантирует обеспеченности видимости и плавности сочетания земляного полотна дороги и прилегающих элементов рельефа. Этот недостаток иногда устраняют, дополняя перспективы изображением прилегающей местности, зарисованным в поле при помощи специального прибора – *перспектографа*.

Для изображения вида дороги наибольшее распространение получил способ линейной перспективы на вертикальную плоскость, впервые примененный в целях проектирования дорог в начале 30-х при строительстве первых немецких автомагистралей инженер В. Ранке. Этот метод основан на использовании проектной документации – продольного профиля и плана трассы, которые для большей точности построения перечерчивают в искаженных масштабах, а затем, в процессе построения перспективного изображения приводят к единому масштабу.

В начале 60-х большее распространение получил, так называемый, **«координатный метод»**, менее громоздкий, чем метод В. Ранке, и не требующий большой точности построения.

Построение проекций на плоскую картину дает малоискаженные изображения только при угле видимости, не превышающем 30°. Для построения вида дороги сбоку или на участ-

ках развития трассы по склонам в горной местности, когда дорога видна под большим углом, необходимо использовать более сложные методы.

Практика показывает, что при проектировании автомагистралей и соблюдении повышенных требований к пространственной плавности трассы может оказаться необходимым построение от 5 до 15 перспективных изображений на каждые 10 км длины дороги. Этот объем работ не может осложнить сколько-нибудь существенно проектирование, так как при небольшом навыке построение одного изображения с 20 точками занимает 2-3 ч работы техника.

Для построения перспективных изображений важно выбрать характерное место расположения наблюдателя – «точку зрения». При пересеченном рельефе ее целесообразно назначать на водоразделах для оценки плавности длинных участков, открывающихся перед водителем при пересечении границ архитектурных бассейнов и в местах с ограниченной видимостью.

В равнинной местности перспективные изображения следует строить для расстояния, равного расчетному расстоянию видимости из условия обгона.

Перспективное изображение дороги сильно меняется в зависимости от расположения точки зрения по ширине поперечного профиля относительно оси дороги (рис. 17.92) и по мере приближения наблюдателя к вершине угла.

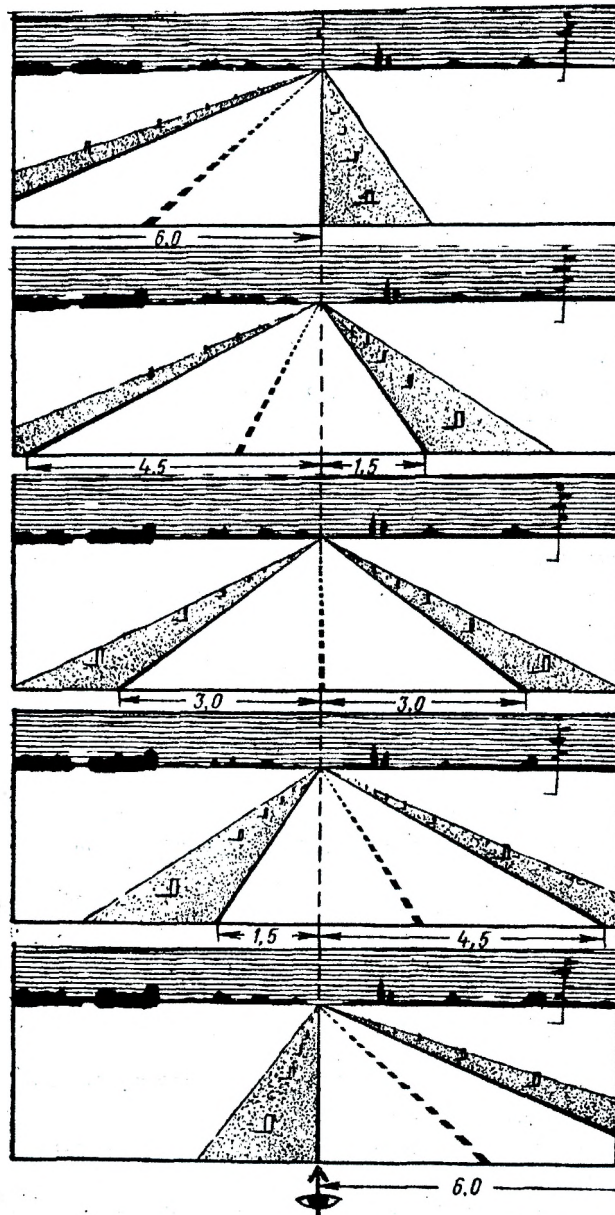


Рис. 17.92. Зависимость перспективы дороги от места расположения наблюдателя



Поскольку при проектировании плавной трассы проектировщика интересует в первую очередь восприятие дороги водителями, точку зрения в соответствии со схемой определения видимости на кривых в плане назначают в 1,5 м от кромки покрытия (в масштабе чертежа).

При построении перспективных изображений участков дороги вручную наиболее целесообразно пользоваться *координатным методом*, откладывая на чертеже координаты характерных точек полотна дороги, определенные аналитически. Для построения перспективы дороги применяют обычные способы *линейной перспективы* – перспективы на вертикальную плоскость. Задача построения перспективного изображения какого-либо участка трассы сводится к изображению ее проекции на плоскость изображения («картинную плоскость»), пользуясь ранее известными ее проекциями на вертикальную и горизонтальную плоскости координат.

Техника построения перспективного изображения сводится к следующему (рис. 17.93):

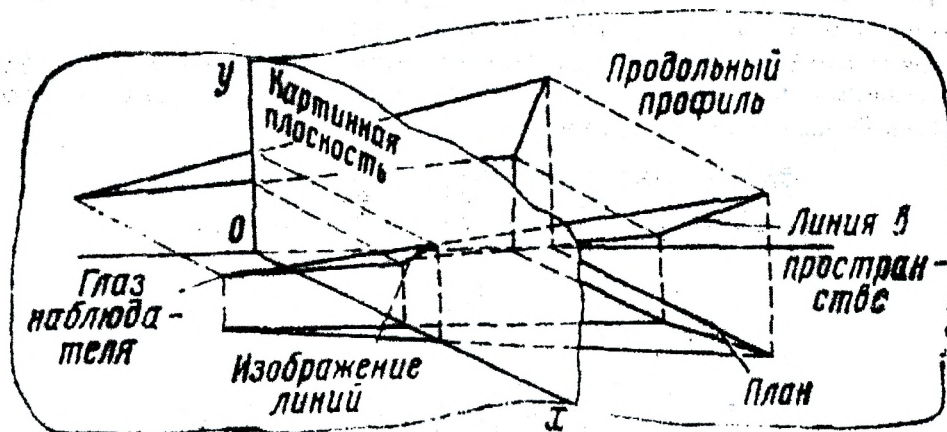


Рис. 17.93. Схема построения проекций для перспективных изображений

- 1) проводя из проекции точки зрения на вертикальную и горизонтальную плоскости лучи, соединяющие их с характерными точками на проекциях, находят точки пересечения этих лучей с проекциями картинной плоскости  $Ox$  и  $Oy$ . Таким образом получают проекции характерных точек перспективного изображения на оси картинной плоскости;
- 2) восстанавливая из этих точек перпендикуляры, получают в точках пересечения одноименных перпендикуляров характерные точки изображения. Луч, направленный из точки зрения перпендикулярно к плоскости изображения, называют главным лучом зрения;
- 3) из условия подобия изображений на картинной плоскости и истинного размера

предмета между ними должно быть выдержано соотношение  $l = \frac{a \cdot h}{n \cdot x}$ , где  $l$  – раз-

мер изображения, см;  $a$  – расстояние до картинной плоскости, м;  $h$  – размер предмета, см;  $n$  – масштаб чертежа;  $x$  – расстояние до предмета, см.

На основе опыта построения перспективных изображений участков дорог **выработаны следующие рекомендации:**

– *точки зрения* – характерные места расположения наблюдателя – выбирают на водоразделах и перед местами с ограниченной видимостью на расстоянии, равном расчетному расстоянию видимости из условий обгона, при расположении глаза водителя в 1,5 м от правой кромки проезжей части и на высоте 1,2 м;

– расчетная дальность плоскости изображений от глаза наблюдателя – 100 см; луч зрения при малых продольных уклонах дороги принимают горизонтальным, на затяжных спусках – параллельным их среднему уклону;

– в плане луч зрения при слабо извилистой трассе должен быть направлен примерно по середине изображаемого сектора дороги;

– передний план дороги (до 200 м от наблюдателя), получающийся на перспективных изображениях искаженным, на чертежах не строят;

– изображаемый участок дороги должен располагаться в пределах угла зрения  $30^\circ$ .

Направление луча зрения при построении перспективных изображений участков дороги следует выбирать исходя из направления взгляда водителя при движении автомобиля.

При малых по величине знакопеременных продольных уклонах луч зрения принимают горизонтальным. Для случаев затяжных спусков, когда могут возникать иллюзии суммирования уклонов, луч зрения нужно располагать параллельно среднему уклону спуска.

В связи с малой абсолютной величиной продольных уклонов дороги можно пренебречь без сколько-нибудь существенной погрешности отклонением картинной плоскости от вертикали и пользоваться ординатами продольного профиля, а не их проекциями на направление перпендикуляров к лучу зрения.

В плане луч зрения при слабо извилистой трассе направляют примерно по середине изображаемого сектора. Если на протяжении первых пяти – семи пикетов трасса прямолинейна, луч зрения направляют параллельно оси дороги.

Исходными данными для построения перспективы являются координаты оси дороги (абсолютные или относительные отметки). Координаты в плане рассчитывают аналитически или измеряют по плану трассы в масштабах 1:1000-1:2000 от точки стояния наблюдателя по главному лучу зрения. Ординаты рассчитывают аналитически как разницу между отметкой точки зрения и поверхности дороги.

Координаты определяют для всех характерных точек дороги, отражающихся на положении оси дороги в перспективном изображении. Обязательно вычисляют их для начала, конца и середины кривых в плане и профиле, а также для точек пересечения главного луча зрения с поверхностью дороги.

Определение координат для построения перспективных изображений ведут в табличной форме. На рис. 17.94 приведен пример построения перспективы участка дороги с шириной земляного полотна 12 м и проезжей части 7 м. Данные, необходимые для построения перспективы, сведены в табл. 17.7.

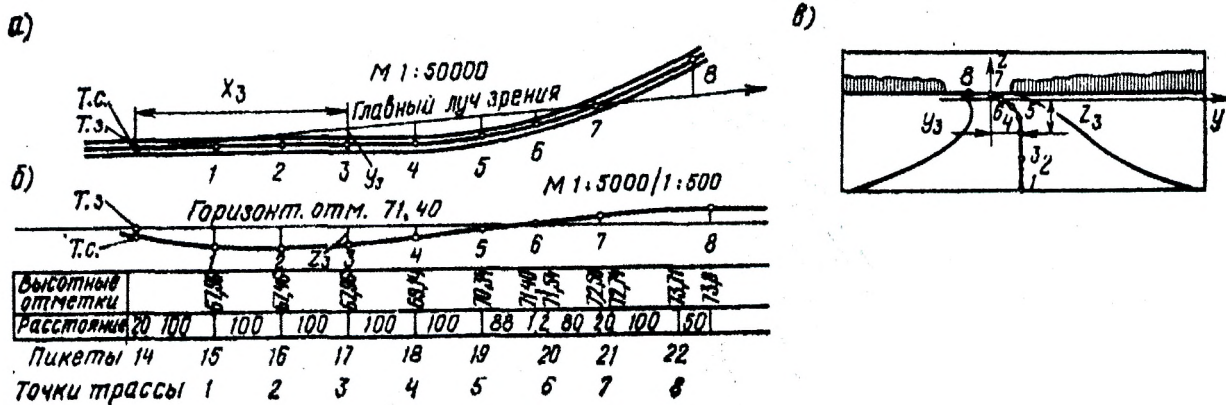


Рис. 17.94. Построение перспективного изображения участка дороги: а – план дороги; б – продольный профиль; в – перспектива; Т.с. – точка стояния; Т.з. – точка зрения

Таблица 17.7. Данные для построения перспективного изображения

Номер точки	ПК	+	Расстояние X, м	Расстояние от линии взгляда		Поправочный коэффициент 100/X	Координаты оси на изображении, см		Расстояние на чертеже от оси дороги, см	
				ширина Y	высота Z		ширина y	высота z	до кромки	до бровки
1	15	00	140	+5,23	-2,90	0,714	+3,73	-2,07	2,50	4,28
2	15	50	190	+7,85	-3,40	0,526	+4,13	-1,79	1,79	3,16
3 (к. к.)	16	00	240	+10,47	-3,77	0,417	+4,37	-1,57	1,46	2,50
4	16	50	290	+13,09	-3,90	0,345	+4,52	-1,35	1,21	2,07
5	17	00	340	+15,70	-3,77	0,294	+4,62	-1,11	1,03	1,76
6	18	00	440	+20,90	-2,78	0,228	+4,77	-0,63	0,80	1,37
7 (к. к.)	18	50	490	+23,31	-1,90	0,204	+4,76	-0,39	0,71	1,22
8	19	00	540	+24,53	-0,95	0,186	+4,56	-0,18	0,65	1,17
9	19	56	596	+23,09	0,00	0,168	+3,88	0,00	0,59	1,01
10	20	00	640	+19,75	+0,55	0,156	+3,08	+0,10	0,54	0,94
11	21	00	740	+5,09	+1,85	0,135	+0,69	+0,25	0,47	0,81
12	21	25	765	0,00	+2,09	0,131	0,00	+0,27	0,46	0,79



В связи с малым отклонением луча зрения от трассы дороги расстояния определялись по пикетажу.

Соединяя нанесенные точки – перспективные координаты – плавной кривой линией, получаем перспективные изображения оси дороги как пространственной кривой. Для построения изображения дорожного полотна в перспективе откладывают параллельно оси Y соответственно половину ширины проезжей части, половину ширины земляного полотна и т.д. и также соединяют их плавными линиями. Для этой цели также можно использовать различные вспомогательные графики.

Откладывая ширину проезжей части и земляного полотна на участках дороги, направленных под углом к первому участку, необходимо учитывать несовпадение направлений.

Все остальные элементы земляного полотна и ситуации придорожной полосы также могут быть построены описанным методом с использованием их отметок и данных о расположении в плане.

В некоторых случаях, когда необходимо оценить вид дороги из населенных пунктов, может оказаться целесообразным построение перспективных изображений участков дороги и искусственных сооружений при взгляде сбоку. Для этой цели вполне применим описанный метод. Для построения перспективы необходим план местности в горизонталях и продольный профиль дороги с сооружением (рис. 17.95).

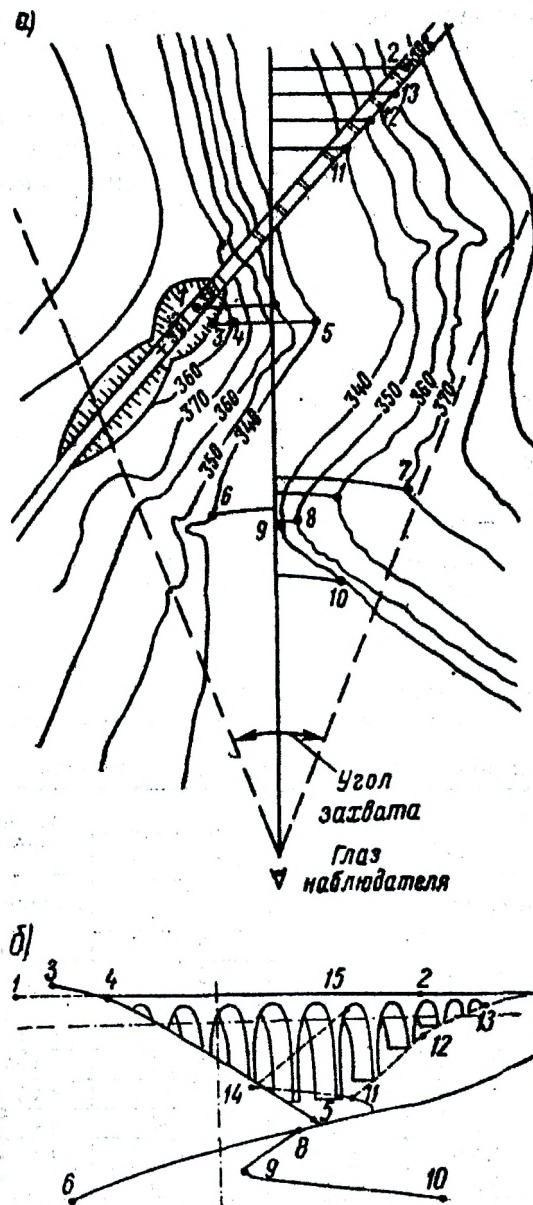


Рис. 17.95. Построение перспективного вида участка дороги с пересечением долины виадуком: а – план в горизонталях пересекаемого оврага; б – перспективный вид виадука

На плане в горизонталях заранее намечают характерные точки рельефа. Избирают точки наиболее типичных переломов местности, ограничивающих видимость расположенных за ними предметов. Их определяют, проводя касательные к переломам горизонталей, выпуклым по отношению к главному лучу зрения (точки 3-5 и 7-9 на рис. 17.95).

Затем из точки, соответствующей положению глаза наблюдателя, проводят лучи к характерным точкам рельефа, отмеченным на горизонталях. Засечки этих линий на горизонтальной проекции картинной плоскости дают горизонтальную шкалу для построения перспективы.

Высотное положение этих точек рассчитывают по их превышениям над уровнем глаза наблюдателя. Расстояния от наблюдателя до характерных точек определяют путем их сноса на осевую линию чертежа. Ближайшие точки, чтобы не было искажения перспективы, сносят по дуге окружности, а дальние, для упрощения работы – по перпендикулярам. Превышение изображения каждой из этих точек над горизонтальной осью перспективного изображения рассчитывают по формуле в соответствии с измеренными расстояниями.

Соединяя нанесенные на перспективу характерные точки линиями (рис. 17.95б), получаем схематическое контурное изображение элементов рельефа. Для построения перспективы искусственных сооружений должны быть взяты дополнительные точки. В рассматриваемом примере взяты точки в замках сводов, на уровне земли, посередине устоев и в двух местах на проезжей части моста. Элементы ситуации, в частности растительность, могут быть дорисованы по данным, обычно имеющимся на плане в горизонталях.

Описанные методы построения перспектив участков дороги, несмотря на их простоту, трудоемки. В 70 годах в ряде стран (Швеция, Франция и Япония) были разработаны и использовались в практической деятельности проектных организаций способы построения перспективных изображений с использованием ЭВМ. По отметкам и координатам трассы в плане ЭВМ вычисляла координаты перспективных изображений, передаваемые при помощи специальной приставки на катодный осциллограф, на экране которого воспроизводилось изображение основных характерных линий участка дороги (рис. 17.96). ЭВМ последовательно строила изображения дороги из точек зрения, смещающихся на равные расстояния по ходу трассы. При фотографировании изображений с экрана киноаппаратом оказывалось возможным проследить изменение вида дороги с движущегося автомобиля.

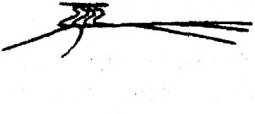
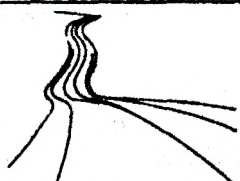
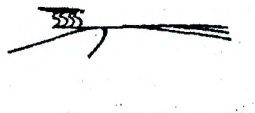
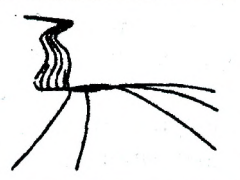

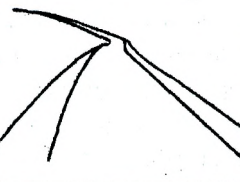
№ участка	Натуральный масштаб	Масштаб 4:1
1		
2		
3		

Рис. 17.96. Примеры перспективных изображений, построенных на ЭВМ

Перспективные изображения проектируемой дороги делались более наглядными при их совмещении с фотографиями местности или с зарисовками рельефа и ситуации, сделанными в период изысканий с той же точки зрения, для которой строилось перспективное изображение.



Для этой цели использовались приборы, называемые перспектографами. Они давали возможность любому инженеру-изыскателю, независимо от умения рисовать, получить изображение основных характерных элементов местности. На рис. 17.97 показан перспектограф В. С. Ситникова.

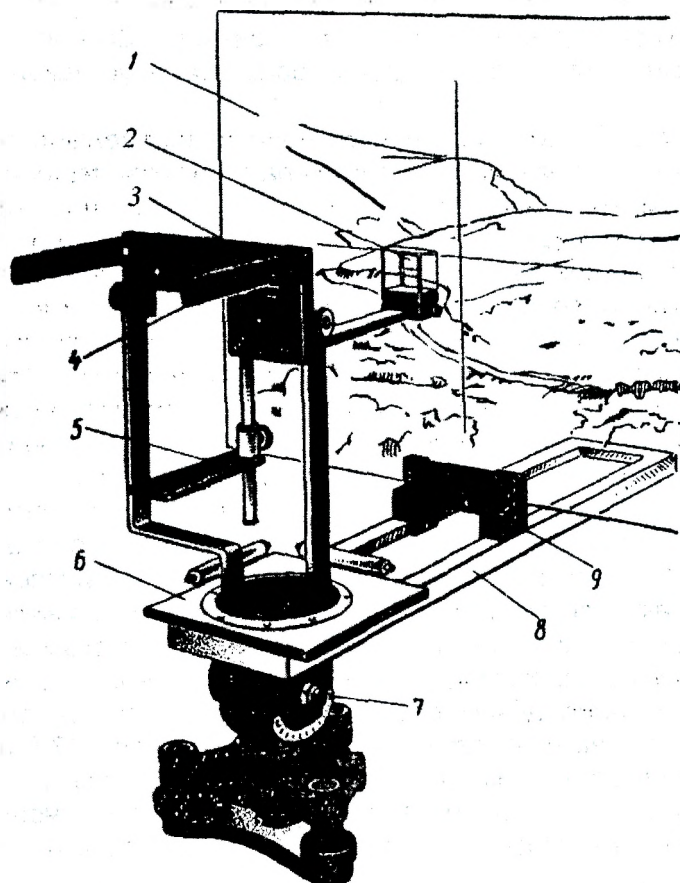


Рис. 17.97. Перспектограф В. С. Ситникова: 1 – экран для рисования; 2 – пластинки с визирными осями; 3 – рамка с диоптром; 4 – боковые упоры для головы; 5 – подставка для упора подбородка; 6 – горизонтальный круг; 7 – вертикальный круг; 8 – направляющие; 9 – перемещающаяся каретка с экраном

Основная часть прибора – прозрачный экран с нанесенными линией горизонта и главной вертикалью. Он является картинной плоскостью, на которой исполнитель, глядя через закрепленный на необходимом расстоянии от экрана визир, обводил восковым карандашом контуры рельефа и ситуации. Для облегчения работы и фиксирования положения головы имеется площадка для опирания подбородка.

При зарисовке широкой панорамы местности плоский экран заменяется цилиндрическим. Наличие в приборе вертикального и горизонтального поворотных кругов и двух уровней дает возможность придать зрительной оси прибора заданный наклон в пространстве.

Впоследствии, перекопировав зарисовку на прозрачную бумагу, на нее накладывали перспективу проектируемого участка дороги, построенную по проектным материалам.

Плавность перспективных изображений участков дороги обычно оценивали на глаз. Это, конечно, вносило известный элемент условности, хотя применяемый метод не отличался от используемой в других случаях оценки сооружений и произведений искусства.

Попытка ввести в оценку количественные критерии основывалась на оценке зрительной плавности участков дороги по перспективным изображениям, построенным в масштабе 1:100 при расстоянии 100 м от точки зрения до картинной плоскости (рис. 17.98а).

За критерии плавности принято расстояние от точки пересечения продолжения бровок дороги (вершина угла  $\beta$ ) до кромки криволинейного участка.

Повороты считаются плавными при  $f > 1$  см и резкими при  $1 > f > 0,4$  см. При  $f < 0,4$  см переломы воспринимаются как крутые. Аналогично в продольном профиле вогнутые вертикальные кривые считаются плавными при  $f > 0,4$  см (рис. 17.98б).

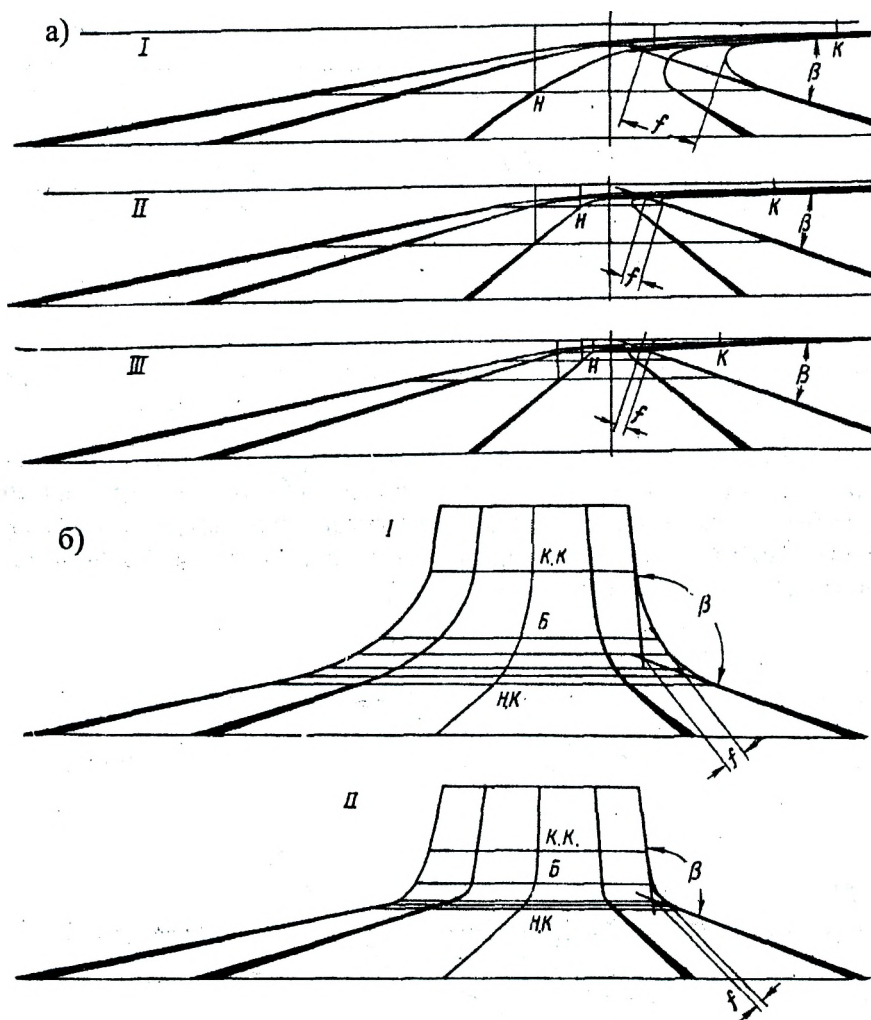


Рис. 17.98. Оценка плавности кривых по перспективным изображениям: а – кривые в плане: I – плавный поворот; II – резкий поворот; III – излом трассы; б – вогнутая вертикальная кривая: I – плавный изгиб; II – перелом

Эти критерии являлись первыми, в известной мере субъективными, рекомендациями и требовали уточнения и проверки. Практика показала, что их числовые значения должны быть увеличены примерно в 1,5 раза.

Участки дороги, не имеющие необходимой плавности, могут быть исправлены при помощи тех же перспективных изображений. Следует иметь в виду, что очень часто для улучшения вида дороги необходимо изменение отметок на небольшую величину, измеряемую долями метра.

Вначале проектировщик на глаз, по перспективному изображению, устранял недостатки проложения дороги (крутые повороты, недостаточная видимость, излишняя волнистость), придавая изображению и оси необходимую плавность.

Затем, измерив по чертежу координаты исправленных на изображении точек, определял их новые координаты путем обратных пересчетов.

Для этой цели строились специальные схемы в увеличенном в 4-5 раз вертикальном масштабе, что позволяло более четко выявить имеющиеся переломы трассы. Исправленное положение перспективного изображения может соответствовать ряду изменений положения оси на местности.

При изменении плавности оси дороги путем исправления продольного профиля (рис. 17.99а) соответствующие точки на первоначальном и улучшенном изображении располагались на одной вертикали, поскольку абсцисса изображения не меняется. При исправлении путем смещения дороги в плане соответствующие точки обоих изображений располагаются на одной горизонтали, так как их вертикальные координаты не меняются (рис. 17.99б). Возможно также большое количество вариантов исправления путем смещения положения дороги в пространстве, одновременно и по вертикали, и по горизонтали (рис. 17.99в).



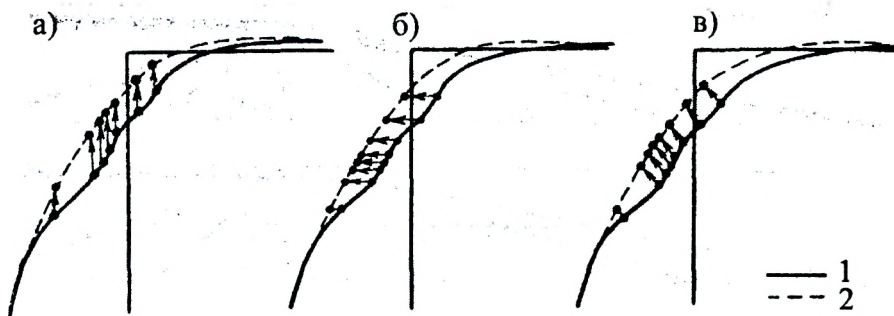


Рис. 17.99. Использование перспективных изображений для исправления недостатков трассы дороги: 1 – первоначальное положение трассы; 2 – исправленное положение

Лучший способ исправления может быть установлен только сравнением вариантов, но в большинстве случаев наиболее целесообразно исправление вертикального профиля при нарушении плавности просадками и исправление плана при чрезмерной крутизне поворота и кажущемся изломе трассы. Пример исправления, потребовавший увеличения рабочей отметки всего лишь на 15 см, показан на рис. 17.100.

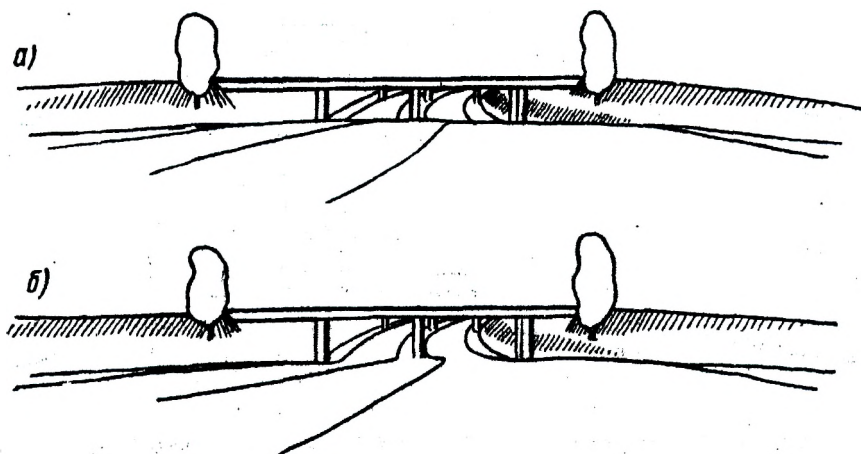


Рис. 17.100. Пример исправления трассы дороги: а – изображение дороги до исправления; б – после исправления

Найденные исправленные отметки могут иметь погрешности, вызванные графическим измерением координат по перспективному изображению. Отметки должны быть выправлены с использованием шаблонов и таблиц для определения элементов кривых.

Конечно, сегодняшний уровень развития компьютерной техники и программного обеспечения практически исключает использование вышерассмотренных методов, но принципы построения перспективных изображений, разработанные в прошлом веке и немного модифицированные с учетом практики эксплуатации уже построенных дорог, лежат в основе всех новых программных продуктов в области автоматизированного проектирования автомобильных дорог.

## 17.20. Оценка плавности трассы по моделям

Перспективные изображения дороги не давали о ней объемного представления и, кроме того, характеризовали вид дороги только с одного участка местности. Более наглядное представление о дороге и ее увязке с местностью может быть получено при помощи моделирования.

Раньше чаще всего моделировали только полотно дороги, без откосов и прилегающей местности, в целях контроля внутренней плавности трассы.

Наиболее простыми являлись модели, склеиваемые из бумаги. Они представляли собой вырезанный из плотной бумаги продольный профиль, изогнутый в соответствии с направлением дороги в плане. Для наглядности профиль готовили в увеличенном масштабе, принимая горизонтальный масштаб равным не менее 1:2000. Вертикальный масштаб брали большим в 5-10 раз. На верх модели наклеивали полосу бумаги, соответствующую в масштабе плана ширине земляного полотна (рис. 17.101а).

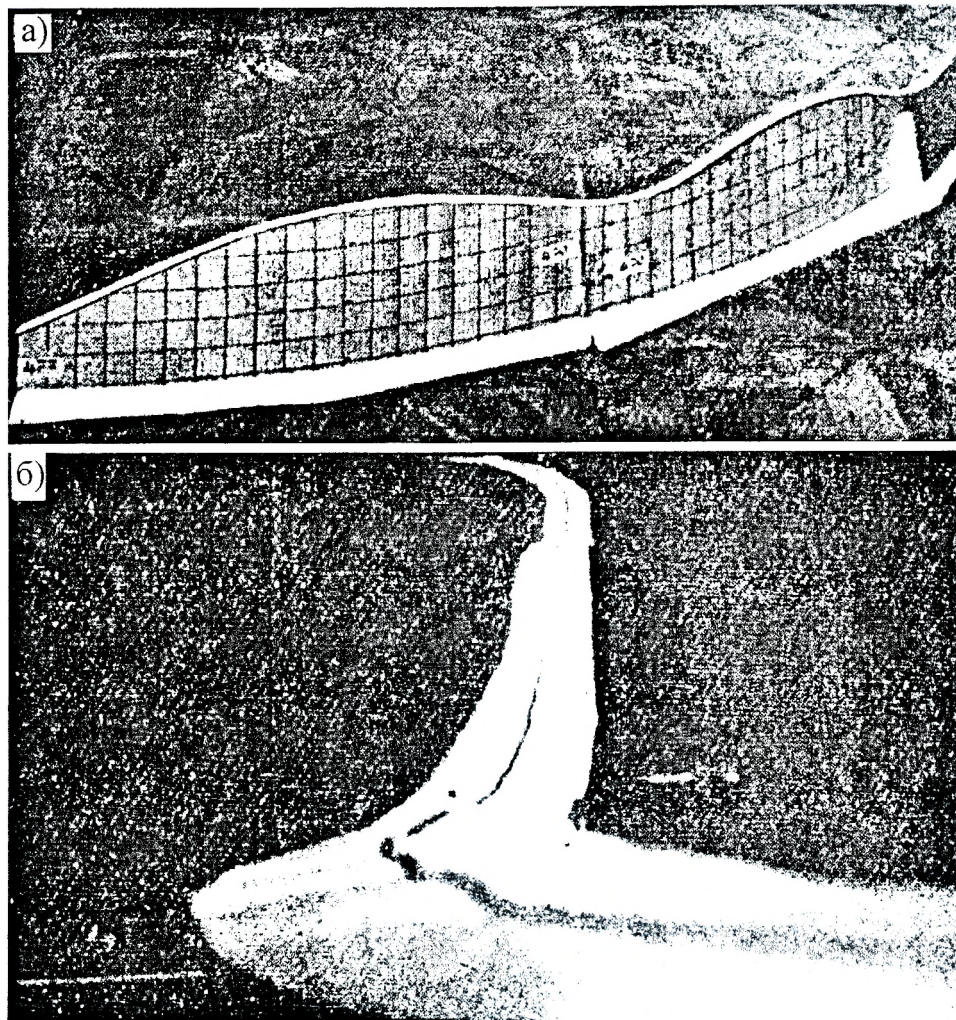


Рис. 17.101. Модели дорожного полотна из бумаги: а – вид модели; б – вид модели при скользящем освещении

При помощи аналогичных моделей, изготовленных в разных горизонтальном и вертикальном масштабах, при скользящем освещении, имитирующем свет фар, получали фотографии, соответствующие перспективным изображениям участков дороги (рис. 17.101б).

Более крупные модели, изготавливаемые из дерева, в масштабе плана 1:200 применяли в Нидерландах. Вертикальный масштаб увеличивали в три-четыре раза.

Бумажные и деревянные модели дают представление о плавности намечаемого решения, но не обеспечивают возможности его улучшения. Поэтому в 1960-х годах получили распространение раздвижные модели. Модель готовили из набора поперечных профилей, устанавливаемых при помощи специальных подставок в соответствии с проектным планом и профилем дороги.

Для сборки модели участка дороги на сдвинутых столах под прецизионный нивелир укладывали чертежные доски, на которых размечали в масштабе 1:100 план трассы и места установки поперечников.

Поперечники ставили под нивелир и по отвесу в проектное положение. Поперечные профили имели прорезы, соответствующие осевой и краевым разграничительным линиям. В них закладывали длинные гибкие полосы пластика сечением 3x5 мм, придающие модели характер единства и непрерывности.

Собранные модели фотографировали. Для большей резкости изображения поперечники окрашивали в матовый черный цвет, а грани – в белый. Боковые поверхности пластмассовых полос – черные, верхняя поверхность – белая.

Для построения участка дороги требовалось до 150 профилей. Если плавность дороги не удовлетворяла требованиям, ее улучшали, изменяя положение поперечных профилей (рис.17.102).



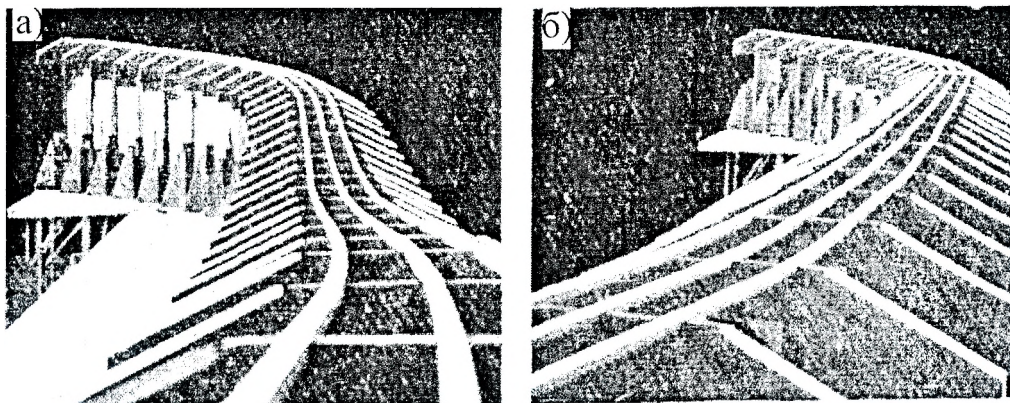


Рис. 17.102. Модели из раздвижных элементов: а – первоначальная; б – исправленная

При наличии приспособленного помещения установка модели участка дороги, анализ его плавности и поиски опытным путем наилучшего сочетания элементов занимала около 4 часов работы двух инженеров.

Для сложных участков дорог – пересечений в разных уровнях, примыканий дорог, косогорных участков, пересечений долин эстакадами и других иногда готовили объемные модели (рис. 17.103), воспроизводя на них всю ситуацию прилегающей местности.

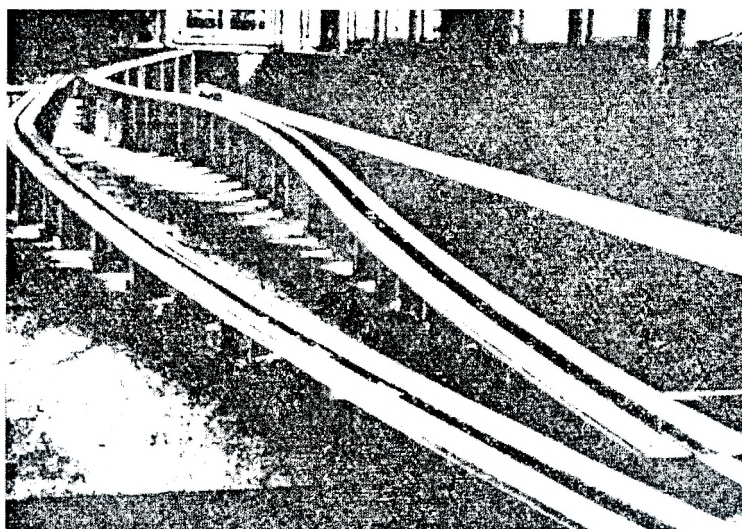


Рис. 17.103. Большая модель дороги

Такие модели давали возможность оценить вид дороги с разных сторон. Устанавливая на модели местности макеты разных вариантов сооружений, выбрали их тип, наилучшим образом соответствующий местным условиям. Несмотря на несомненные достоинства этого способа, его широкое распространение ограничивалось высокой стоимостью моделей и большой трудоемкостью их изготовления.

Для сравнения вариантов сложных пересечений в разных уровнях часто ограничиваются упрощенными моделями, схематически показывающими взаимное расположение проезжих частей и контуры земляного полотна. Основой модели служил лист из мягкого пластика толщиной 7,5 см, поверх которого наклеивали синьку с планом пересечения в масштабе 1:50. По оси проезжих частей основных дорог и петель съездов при помощи простых приспособлений вставлялись в проколотые в пластике отверстия Т-образные деревянные стержни. Поверхность их должна соответствовать проектной отметке. На участках с виражами переключателе Т придавали заданный поперечный уклон. Стержни устанавливали через 7,5-10 см.

Обычно для большей наглядности модели делали в искаженном вертикальном масштабе 1:25. Для первоначального сравнения вариантов иногда делали малые модели в масштабе 1:250. На изготовление такой модели мастер затрачивал не более одного дня. Проезжую часть выкладывали из гибких полос пластика квадратного сечения 1,5x1,5 мм, которые прикрепляли к стойкам резиновыми колечками.

Собранные модели анализировали в отношении зрительной плавности и в случае необходимости исправляли путем перестановки стержней в новое положение. Рельеф местности воспроизводился накладкой вырезанных по контурам горизонталей листов пластика.

### 17.21. Автоматизированное проектирование и моделирование

С развитием компьютерной техники в 80-х годах построение перспективных изображений участков дороги перешло на цифровое моделирование, оставив позади как пройденный этап ручное изготовление макетов. По отметкам и координатам трассы компьютер вычислял координаты перспективных изображений, которые выводились на монитор или на плоттер в виде трехмерной модели (рис. 17.104).

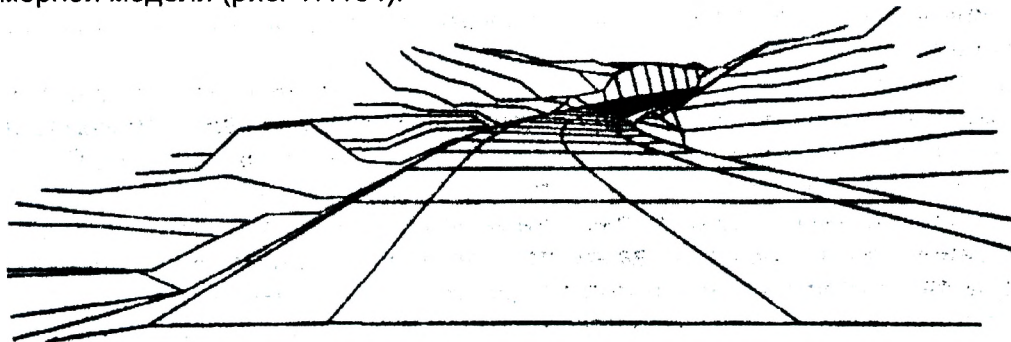


Рис. 17.104. Модель участка автомобильной дороги, построенная на ЭВМ

Последовательно строя изображения дороги из точек зрения, смещающихся на равные расстояния по ходу движения, становилось возможным проследить изменение вида дороги с движущегося автомобиля.

За последние десять лет наблюдается значительный рост проектов, связанных с гражданским строительством, в том числе и дорожным. В условиях возрастания требований к проектировщикам и средствам проектирования, набор мощных базовых средств перестает быть окончательным программным решением, существенной становится дополнительная функциональность специального программного приложения для проектирования дорог.

В последнее время все большее распространение получил новый подход к автоматизации проектирования – **создание пространственной модели сложных объектов**, которая содержит всю информацию, необходимую для решения инженерных задач с заданной точностью. Это позволило перейти на новый уровень проектирования. Одним из подобных программных систем в области проектирования транспортных сооружений и генпланов является семейство программных продуктов MX, разработанное английской компанией Infracsoft.

Продукты компании Infracsoft уже, отчасти, знакомы инженерам по гражданскому строительству. В начале 90-х годов были первые попытки дальнейшего развития автоматизированного проектирования, тогда еще со стороны американской компании MOSS, чьи технологии затем были приобретены компанией Infracsoft и получили дальнейшее развитие в серии продуктов MX. Но в то время рынок СНГ был не совсем готовым для этого. Сегодня рынок СНГ нуждается в лучших инструментах проектирования так, как никогда раньше, и в 2000 году компания Infracsoft начала продвижение ПО MX на белорусском рынке совместно с компанией EMT (Россия) – авторизованным дистрибьютором и международным учебным центром фирмы Autodesk.

Семейство программных продуктов MX представлено модулями, позволяющими максимально автоматизировать проектирование новых автомобильных магистралей (MXROAD), разрабатывать проекты модернизации существующих улиц и дорог, обновления покрытия дорог (MXRENEW), проектировать железные дороги и их инфраструктуру (MXRAIL), создавать проекты планировки земельных участков под застройку (MXSITE), создавать, редактировать и выводить проектную документацию (MXDRAW).

Программные продукты серии MX полностью совместимы с Microsoft Windows и способны работать с Windows как самостоятельное приложение или в среде наиболее популярных САПР AutoCAD и MicroStation. MX в AutoCAD и MX в MicroStation привносит новые возможности в 3D-моделирование, которые обеспечиваются за счет использования последних достижений объектно-ориентированной технологии. MX модели, созданные в одной



среде, могут быть открыты и использованы без какой либо трансляции в другой среде. Это дает пользователям возможность полного взаимодействия и обмена данными с партнерами, в том числе за счет использования платформенно-независимой базы данных.

МХ-продукты просты в использовании, обеспечивают быстрое проектирование и совместимы с местными стандартами, что позволяет строителям выполнять повседневные задачи намного лучше и эффективнее, чем это было раньше. С появлением семейства продуктов МХ на рынке, оно сразу же обратило на себя внимание со стороны многих известных строительных компаний, а некоторые из них уже стали использовать его в коммерческих целях, оценив технические преимущества МХ.

Хочется заметить, что многие отечественные разработки в области транспортного проектирования (например, CREDO) значительно уступают по функциональности программам компании Infracore.

Главной концепцией, которая лежит в основе МХ и отличает его от других решений дорожного проектирования, является использование **«струн» (sets), или непрерывных 3D-данных**, для представления существующих или возможных характеристик. Струны сохранены в различных моделях, каждая из которых представляет плоскость, и все модели, в конечном счете, сохранены в единой базе данных проекта, хранящихся в одном файле.

**«Струна» – это трехмерная линия, которая представляет ломаные линии в проектируемой модели** (бровка и кромка дороги, линия пересечения откоса и дна кювета и т.д.). Каждая струна должна иметь наименование и быть связана с определенными характеристиками. Струны – это больше, чем просто другой способ проектирования. Для того, чтобы расширить дорогу с неизменной шириной, накладывается шаблон с постоянными интервалами и затем применяется команда «соединить точки», после чего работа завершена.

Но большинство дорог не так просто смоделировать. Они имеют переменную ширину, на них существуют полосы разгона и торможения, например, на пересечениях в одном уровне, островки безопасности различных форм и размеров. Также все дороги неизбежно пересекаются, здесь уже требуются комплексные чертежи пересечений, которые могли бы плавно перемещаться в 3D пространстве.

Поэтому основанное на шаблонах проектирование быстро становится сложным, если нет доступа к модели. В МХ, однако, процесс проектирования начинается с *Мастера Струны* – основа данных, которые включают продольные и поперечные элементы дороги. Такие особенности дороги, как обочины и покрытие дорог, водостоки извлекаются из Мастера Струн, что делает проектирование этих элементов дороги очень простой задачей.

База данных МХ, в которой хранятся струны и модели, полностью интегрируется с той средой, которую инженер предпочитает в своей работе. Другими словами, МХ одинаково хорошо работает в графической среде AutoCAD, MicroStation или прямо в Windows как самостоятельное приложение без всякой поддержки программного обеспечения САПР. Модели могут проектироваться и быть представлены в любой из трех платформ. Таким образом, МХ позволяет работать одновременно в нескольких платформах, так, например, чтобы найти что-нибудь в базе данных, не нужно переходить из одной среды в другую. Механизм Присваивания **Имен Струнам** (Naming Sets) контролирует, под каким именем данные сохраняются, а **Стиль Струн** (Style Sets) контролирует то, как информация отображается в выбранной графической среде. МХ обеспечивает все это для специфических типов работ. Они, в свою очередь, могут быть отредактированы и сохранены пользователями, для создания своих собственных проектов. Сочетание возможности «струнного» моделирования и традиционных методов проектирования делает приложения МХ наиболее универсальным программным обеспечением в области транспортного строительства и генпланов.

Каждая из программ МХ имеет свои собственные учебные пособия. В MXROAD их восемь:

- выравнивание и проектирование дорог;
- ведомости трассирования;
- уширение дорог;
- проектирование перекрестков;
- обочины;
- пешеходные дорожки;
- проектирование дорожного покрытия;
- редактирование поперечных сечений.

Основной работы любого модуля MX является его взаимодействие с базой данных. В **Стандартную Базу** – MX Standard Foundation включена всемирно известная технология 3D-моделирования поверхностей компании Infracore, являющаяся наиболее мощным инструментом в гражданском проектировании. Эта технология дает инженерам и проектировщикам возможность создавать, анализировать и изображать проекты любого размера одинаково точно и быстро. В список функций Стандартной Базы MX входят все функции проектирования, редактирования и копирования объектов, мастер земляных работ, создание поперечных и продольных профилей, всесторонний отчет по объектам, геометрическое трассирование, дополнительный анализ поверхности, проверка проектирования и инструменты анализа объемов.

**Профессиональная База** – MX Professional Foundation обобщает все функциональные возможности Стандартной Базы MX, а также включает **Командный Язык** – MX Command Language, обеспечивая возможности для максимального увеличения производительности и контроля качества. Командный язык MX открывает усовершенствованные возможности 3D-моделирования в MX продуктах для профессиональных пользователей. Продолжая непрерывно развиваться, этот усовершенствованный язык может быть использован для любых задач 3D-моделирования. Внесение изменений в проект становится весьма эффективным благодаря простому видеоизменению журнала проекта, при помощи чего происходит автоматическое обновление чертежа.

**MXROAD** – это понятный инженерам инструмент для быстрого и точного проектирования всех категорий дорог, имеющий логическую последовательность проектирования и являющийся ключевым компонентом семейства продуктов программного обеспечения MX.

*MXROAD обеспечивает:*

- ввод всех данных и их анализ;
- проектирование дороги с помощью динамического 3D-трассирования, включая сопряжения прямых участков кривыми в плане (рис. 17.105);

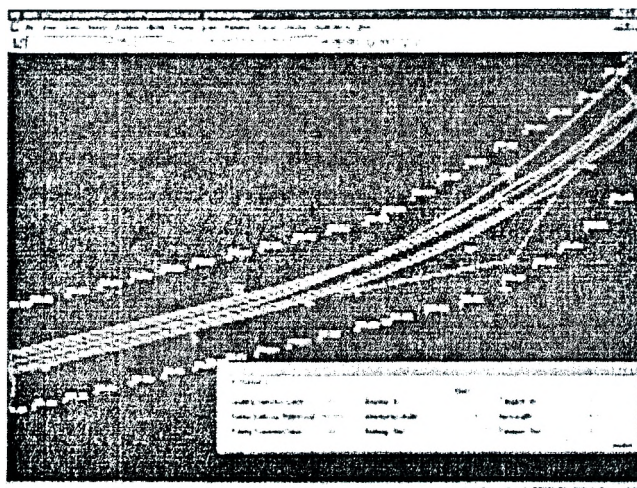


Рис. 17.105. Динамическое 3D-трассирование дороги

- доступ к детальному проектированию трассы дороги с элементами ее разбивки;
- использование 3D-осевых линий для определения всех элементов проезжей части дороги и обочин;
- автоматический расчет виража и приведение уклонов виража в соответствие с местными стандартами;
- проектирование уширений проезжей части на кривых с малым радиусом, для площадок стоянки или перекрестков;
- автоматическое проектирование перекрестков;
- проектирование земляных работ;
- интерактивное изменение поперечных сечений;
- проектирование дорожного покрытия;
- проектирование подходов к мостам, тоннелей;
- подсчет объемов работ;
- автоматическую подготовку чертежей и визуализацию.



Универсальные и гибкие возможности создания трассы дорог в MX заключаются в:

- обеспечении их динамического отображения;
- получении комплексных отчетов по всем элементам трассирования;
- обеспечении привязки к существующей земле и возможности проектировать с контролем допусков.

Продольный профиль можно получить по любой линии, параллельной оси проезжей части (по левой или правой кромке проезжей части, по левой или правой бровке земляного полотна, по дну кюветов и т.д.).

Проезжая часть в MXROAD проектируется с использованием шаблонов поперечного профиля по 3D-осевой линии дороги (рис. 17.106). Шаблоны могут быть созданы пользователем для всех категорий дорог (в том числе для дорог первой категории с разделительной полосой) с учетом требований норм проектирования любой страны, сохраняться в его личной библиотеке и извлекаться для проектирования 3D-поверхностей. Наличие в MXROAD графического редактора для всех элементов поперечного профиля выгодно отличают его от возможностей того же CREDO, где данные параметров поперечников (земляного полотна, откосов, кюветов) задаются путем редактирования таблиц, и пользователь не может визуальнo оценить результат вносимых исправлений.

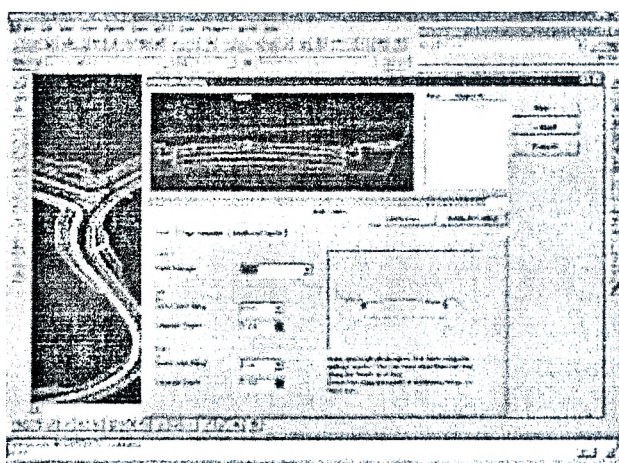


Рис. 17.106. Проектирование дорожной одежды и земляного полотна

Инструменты проектирования поперечного сечения включают:

- интерактивное изменение 3D-проектных данных;
- редактирование элементов профилей с помощью уклонов;
- синхронное обновление поперечных профилей и планов;
- выход за границы «струн».

При проектировании виража на кривых с малыми радиусами автоматически на всю ширину дороги накладываются запрашиваемые уклоны, и осуществляется контроль построения (рис. 17.107).

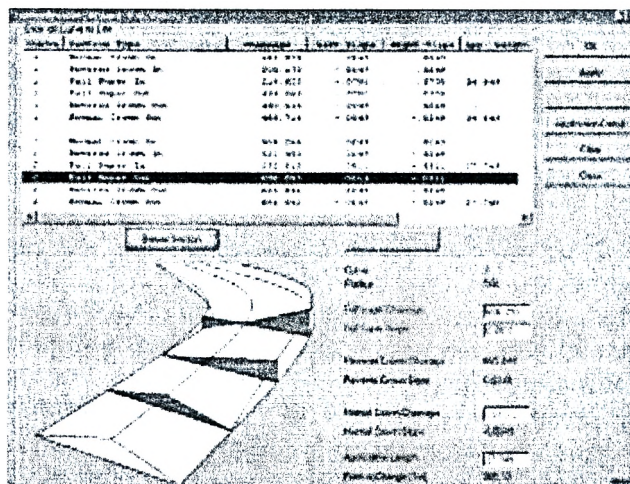


Рис. 17.107. Автоматический расчет виража

В составе MXROAD имеется обширная библиотека стандартов отгона виражей, в том числе для проезжих частей с центральной разделительной полосой.

Уникальная возможность автоматического проектирования пересечений, простых и сложных развязок, водопропускных каналов и островков безопасности в 3D осуществляется в MXROAD с помощью шаблонов пересекающихся осевых линий (рис. 17.108). Настраиваемые пользователем шаблоны, с учетом местных стандартов, могут храниться в его личной библиотеке. Программа позволяет проанализировать сток ливневых вод по поверхности дорожной конструкции и отредактировать проблемные участки с помощью инструментов динамической планировки, которые позволяют осуществлять полный контроль вертикальной планировки.

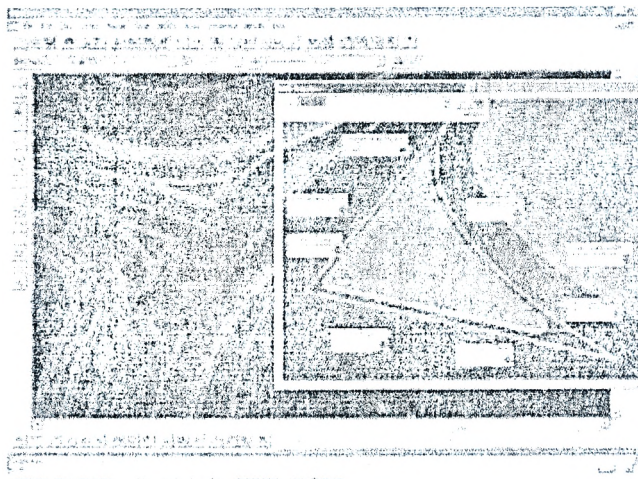


Рис. 17.108. 3D-проектирование пересечений

Проектирование пересечений – это сложная задача, которая имеет множество всевозможных вариантов решения, заложенных в MXROAD, а использование программных инструментов дает проектировщику возможность последовательно и безошибочно выполнить любую по сложности проектную задачу. Также программа позволяет проектировать пересечения с использованием коробовых кривых.

Проектирование земляных работ осуществляется с помощью применения шаблонов для профиля проезжей части, которые имеются в личной библиотеке пользователя. Шаблоны применяются в пределах характеристик проезжей части дорог, обеспечивая доступ к простым и комплексным комбинациям. Проектирование земляных работ выполняется простым способом «взять и перенести» («drag and drop») выбранного шаблона. Применение настраиваемых шаблонов многократно увеличивает производительность проектирования.

MXROAD легко интегрируется с другими приложениями семейства MX, такими как MXRENEW.

**MXRENEW** – это автоматизированный инструмент, который позволяет осуществлять реконструкцию дорожного покрытия городских, загородных дорог и автомагистралей. MXRENEW может работать как отдельно, так и параллельно с приложением MXROAD, где становится возможным использование всех функций MXRENEW. Он также разработан для работы с традиционными MX-моделями, когда нет доступа к схемам существующих покрытий, взятых из MXROAD.

К основным функциям MXRENEW относятся:

- ввод всех данных и проведение их анализа;
- оптимизация проекта привязки к существующему покрытию;
- расширение заново подобранного чертежа с учетом обочин;
- проектирование специального дорожного покрытия и контроль построения;
- подсчет всех объемов работ;
- создание отчетов и чертежей.

Исходные данные по существующему дорожному полотну автомобильной дороги могут быть импортированы из различных форматов, включая AutoCAD (dwg и dxf), MicroStation (dng), MX GENIO, MX – Данные изысканий, Softdesk (dtm) и AutoCAD Land Development Desktop. Для оптимизации реконструкции существующего покрытия используются инструменты



всестороннего анализа поверхности, которые включают: горизонтали, цветовой диапазон уровней и наклонов, стрелки потоков дренажа, продольные профили и распознавание ровной поверхности (рис. 17.109). Использование этих инструментов делает понятным для проектировщика изображение существующей поверхности покрытия, что обеспечивает более эффективное проектирование.

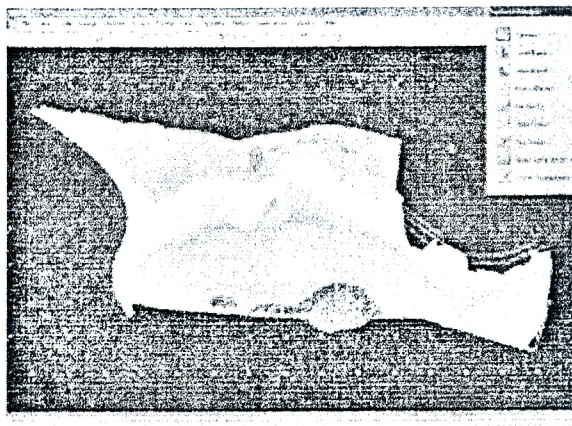


Рис. 17.109. Создание 3D-поверхности существующей дороги и придорожной полосы

Наряду с такими функциональными возможностями, как горизонтальная и вертикальная планировка дороги, расчет виража и устройства уширений, приложение MXRENEW позволяет выполнить оптимизацию дорожного покрытия (рис. 17.110).

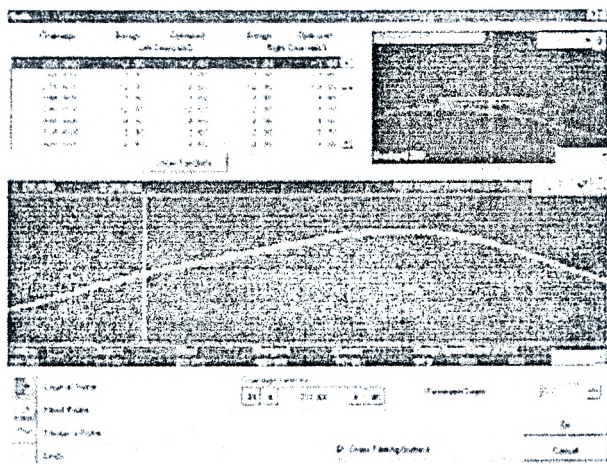


Рис. 17.110. Оптимизация дорожного покрытия

Проектирование привязки к существующей поверхности осуществляется при помощи инструмента динамического сглаживания профилей, который дает возможность:

- динамического контроля профилей;
- быстрой проверки чертежа;
- осуществления привязки к существующим границам дороги;
- показ различных уровней между существующим и запроектированным чертежами в течение процесса привязки.

Проектируемое дорожное покрытие может быть проанализировано по:

- количеству затрачиваемых материалов;
- диаграммам слоев;
- первоначальному анализу и анализу чувствительности.

Первоначальный анализ дает возможность для быстрого исследования сценарий «что если» без какой-либо доработки плана, что помогает быстро найти более экономичное решение (рис. 17.111). Проектирование слоев дорожного покрытия осуществляется автоматически с помощью использования специальных шаблонов профилей проезжей части дорог, с уникальной возможностью назначения различной конфигурации покрытия вдоль и поперек дороги. Эти шаблоны определяются пользователем с учетом существующих норм. Разработанные инструменты проектирования слоев дорожного покрытия в MXRENEW дают возмож-

ность для выполнения исследовательских процедур проектирования, способствуя более детальному анализу дорожных одежд.

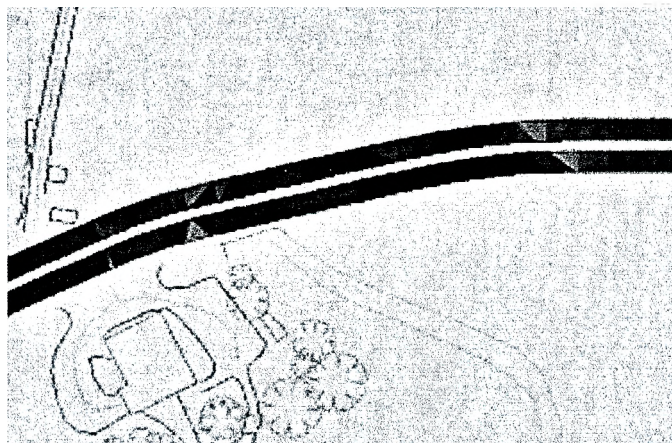


Рис. 17.111. Визуальное отображение мощности дорожного покрытия (изображение инвертировано)

Автоматическое создание чертежей (рис. 17.112) и усовершенствованные инструменты ведомостей материалов в MXRENEW, обеспечивают эффективность выноса проектного решения на местность.

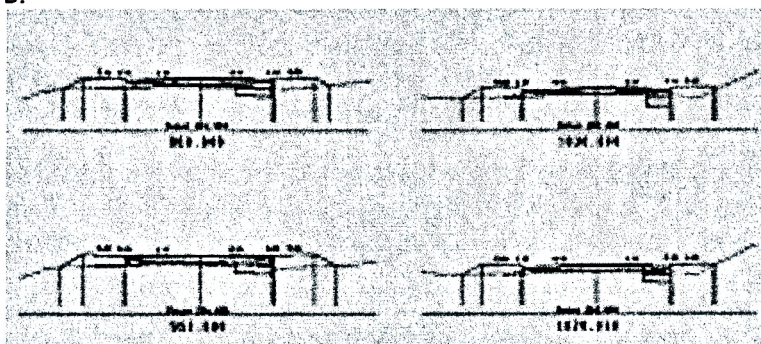


Рис. 17.112. Автоматическое создание чертежей поперечных профилей (изображение инвертировано)

Так как MXROAD являются частью интегрированного семейства продуктов компании Infracore, пользователь может легко их сочетать в своей работе с другим приложением – MXSITE. **MXSITE** – это 3D-система, разработанная специально для быстрого проектирования участков под строительство жилья, общественных и промышленных сооружений, проектирования земельных работ, стоянок машин, участков местности, расчета объемов и количества материалов.

В приложении имеются инструменты для последовательного импорта и анализа данных полевых геодезических изысканий, на основе которых осуществляется отображение поверхности участков земли и направлений стоков воды. MXSITE контролирует нулевые уровни и случайные точки. Результаты видны на экране и записаны в готовом отчете, чтобы дать возможность геодезисту еще раз пересмотреть проблемные моменты или использовать возможности редактирования для улучшения или исправления данных изысканий, если не хватает какой-либо информации.

Определение ошибок и корректировка принятых решений на ранних стадиях крайне необходимы для данной области проектирования.

Имеющиеся инструменты динамического трассирования позволяют инженерам-строителям легко и быстро выполнить горизонтальную планировку – создавать осевые линии, затем конкретизировать их в соответствии с линиями каналов, перекрестками, обочинами и пешеходными дорожками (рис. 7.113).

MXSITE также позволяет осуществить визуальный контроль вдоль дороги, что трудно выполнить в других системах. В программе существует возможность проектировать начало поворотов и перекрестков.



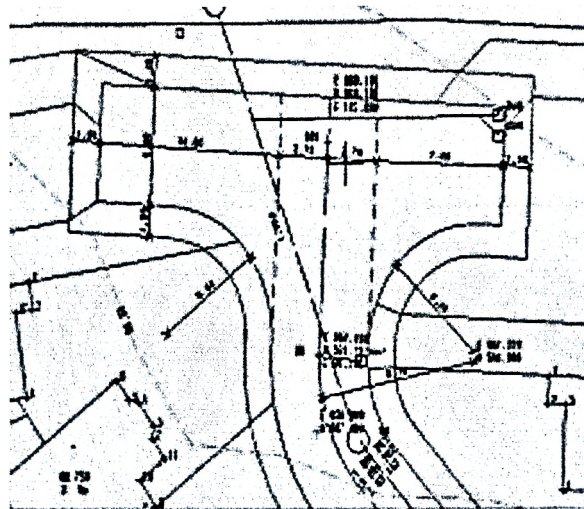


Рис. 17.113. Детальное 2D-проектирование стояночной площадки (изображение инвертировано)

Следующим этапом после проектирования плана является вертикальная планировка, осуществляемая на основе данных 2D-проектирования. Применение возможностей MXSITE для вертикальной планировки каналов, перекрестков (рис. 17.114), уклонов, пешеходных дорожек и обочин дорог позволяет пользователю быстро и легко использовать различные значения уклонов в комплексной 3D-модели. Для решения задачи проектирования вертикальной планировки в случаях плотной сети местных улиц и проездов имеется такой эффективный инструментальный как «быстрое проектирование» (quick alignment). Оно позволяет быстро и эффективно взаимно увязывать продольные профили улиц и проездов (функция – snap to surface).

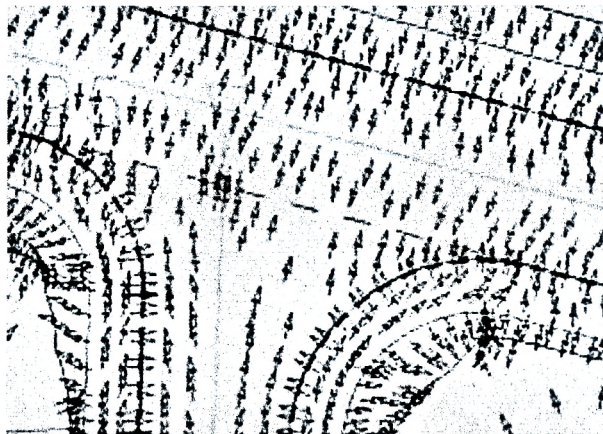


Рис. 17.114. Детальное 3D-проектирование перекрестка (изображение инвертировано)

Также в программе предусмотрена возможность оптимизации объемов земельных работ вместе с инструментами для расчетов расхода материалов. Функциональные возможности MXSITE также позволяют инженерам решать сценарии типа «что если», получая при этом наиболее выгодные решения за минимальное время. Программа позволяет проектировать в 3D откосы на площадках, на дорогах и перекрестках.

Использование общей библиотеки данных сводит к минимуму риск возникновения ошибок у групп проектировщиков, которые совместно проектируют различные части здания или дороги. Участки земли планируются с использованием метода градиентов и оптимизированы для обеспечения баланса земельных работ.

MXSITE позволяет определить границы парковок с помощью уклонов, или наклонной плоскости, или контроля поверхности с возможностью определения самой высокой и низкой точек рельефа для проведения анализа стока воды по поверхности.

Программа позволяет спроектировать как взятую из базы, так и собственную систему дренажа (рис. 17.115) и связать воедино возможности наиболее популярных пакетов гидравлического анализа, а также проверять минимум засыпки над дренажными трубками и их соединения и затем по результатам проектирования построить графики и отчеты.

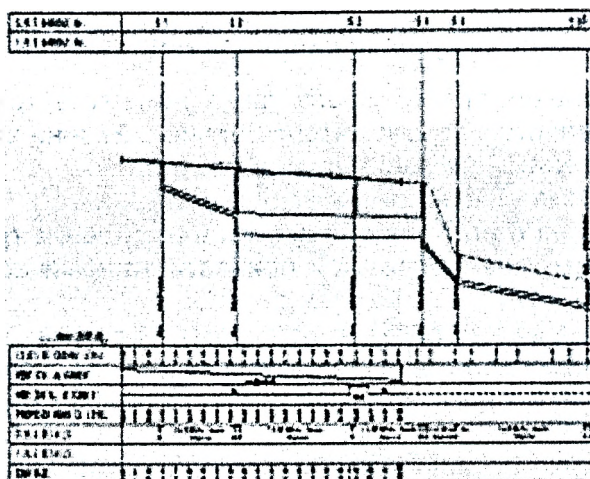


Рис. 17.115. Проектирование дренажа (изображение инвертировано)

По результатам проектирования информацию о параметрах дорог, таких как длина края тротуара, площадь проезжей части дороги, объемы дорожных покрытий для проезжей части и пешеходных дорожек в MXSITE можно получить автоматически.

Программа позволяет осуществить привязку к цифровым картам, интеграцию с геоинформационными (ГИС) приложениями и дает возможность легко расширять объем данных.

Так как MXSITE и MXROAD являются частью полностью интегрированного семейства продуктов от компании Infracore, их возможности легко объединяются для проектирования парковок автомашин, платформ, площадок для стоянки автомобилей и хранения различных грузов.

Для решения задачи проектирования железных дорог компания Infracore разработала приложение MXRAIL. Оно дает возможность проектировать в 3D-среде любые типы железнодорожных дорог, стрелочные переводы, создание косоугольных пересечений, клиньев и охранных стрелок.

Итак, ключевые преимущества использования семейства автоматизированных программных продуктов для проектирования автомобильных дорог заключаются в:

- автоматизации процесса комплексного проектирования;
- использовании хорошо знакомых методов проектирования, в совокупности с моделью «струнного» моделирования;
- использовании новых возможностей 3D-моделирования, которые обеспечиваются за счет использования теории «струн» и последних достижений объектно-ориентированных технологий;
- комплексном анализе результатов каждого этапа проектирования для общего согласования чертежей;
- высокой производительности и процессе безошибочного проектирования, позволяющих сократить время проектирования и повысить его качество;
- возможности работать в мультисреде, обеспечивающей совместное использование данных группами проектировщиков и возможность проектировать на различных платформах без какой-либо трансляции;
- автоматическом создании микрофильмов для визуализации выполненных в MX проектов.

Последний пункт позволяет в динамике (при просмотре фильма в формате avi) оценить пространственную плавность трассы и согласованность ее с ландшафтом. Для этого разработаны специальные модули другими производителями программного обеспечения. Эти модули автоматически подключаются к продуктам семейства MX и используют, как свои исходные коды, так и стандартные AutoCad, Delphi и C++.

Оценка плавности производится с использованием вышеописанных методов, основной из которых – сравнение отличий поперечных и продольных профилей во множестве точек пространственной проектной линии. Проверка сочетания дороги с ландшафтом основывается на множественном сравнении мгновенных картинных плоскостей с различных точек как самой дороги, так и придорожной полосы.



## 17.22. Требования охраны окружающей среды при выборе направления трассы

При выборе направления трассы необходимо учитывать требования *защиты окружающей среды*. Строительство дороги вносит большие изменения в экологическое равновесие природы и хозяйственную жизнь района ее проложения.

*Негативные влияния дороги на окружающую среду:*

1) изъятие земель под строительство дороги и нарушение границ угодий может нарушить рациональную систему севооборотов и принести экономический ущерб сельскому хозяйству;

2) при строительстве автомобильных магистралей с интенсивным движением приходится делать перепланировку земельных угодий хозяйств, расположенных с разных сторон дороги, чтобы устранить необходимость переезда сельскохозяйственных машин через дорогу;

3) проложение дороги по ценным плодородным землям опасно тем, что сметаемая ветром пыль с дорог низших категорий снижает урожайность на прилегающих полях;

4) при сгорании антидетонационных добавок к бензину выделяются опасные для здоровья соединения свинца, которые оседают на придорожной полосе и, накапливаясь в почве, могут попадать в пищу с сельскохозяйственными продуктами;

5) смываемые дождями с проезжей части масла и продукты износа шин и особенно применяемые для борьбы с гололедом гигроскопические соли угнетают растительность придорожной полосы и, попадая, в конце концов, в водотоки, вызывают их загрязнение. Это необходимо учитывать при проложении дорог вблизи водоемов и в пределах водоохранных зон, где в замкнутой системе дорожного водоотвода предусматривают водоочистительные отстойники;

6) прорезая большие лесные массивы просеками, дороги меняют условия жизни населяющих их животных. В ряде случаев дорогу в лесных массивах приходится ограждать высокими изгородями, а для животных устраивать под насыпями специальные проходы;

7) непродуманно проводимые при строительстве дороги земляные работы могут нарушить красоту природных ландшафтов расположенными в неудачных местах грунтовыми карьерами и резервами, обнажением склонов при устройстве земляного полотна в полунасыпях-полувыемках при трассировании по косоугору;

8) подрезка склонов и перегрузка их насыпями может вызвать активизацию оползневых процессов;

9) при трассировании дорог вдоль косоугора дорожные каналы, перехватывая стекающую поверхностную воду, вызывают засыхание деревьев с низовой стороны склона;

10) на пересечениях болот насыпи, уплотняя торф, прерывают просачивание грунтовой воды, вызывают развитие заболачивания придорожной полосы;

11) сосредоточение на стоянках и площадках отдыха многочисленных посетителей может привести к загрязнению придорожной полосы;

12) при проходе дороги вблизи от населенных пунктов автомобильное движение является источником загрязнения воздуха отработавшими газами двигателей, шума и вибрации.

В среднем у бровки земляного полотна в 7,5 м от оси ближайшей полосы движения уровень шума (в дБА) возможно определить по эмпирической зависимости

$$L = 50 + 8,8 \lg N, \quad (17.7)$$

где  $N$  – интенсивность движения, авт/ч.

Методы расчета снижения уровней шума от движения автомобилем на разных расстояниях от его источников исходят из предпосылки, что затухание энергии происходит в соответствии с формулой

$$L_n = L_l - 13,9 \lg \frac{R_n}{R_l}, \quad (17.8)$$

где  $L_n$  – уровень шума на расстоянии  $R_n$  (в м) от источника звука, дБА;  $L_l$  – уровень шума на расстоянии  $R_l$  (в м), дБА.

Наиболее рациональный способ *предотвращения влияния транспортного шума* – проложение дороги на таком расстоянии от застройки, при котором он не превышает допустимых норм. При невозможности этого автомобильные магистрали с интенсивным движением

ем располагают в выемках и тоннелях, устанавливают вдоль дороги звукопоглощающие ограждения из пористых материалов, отсыпают ограждающие земляные валы (рис. 17.116).

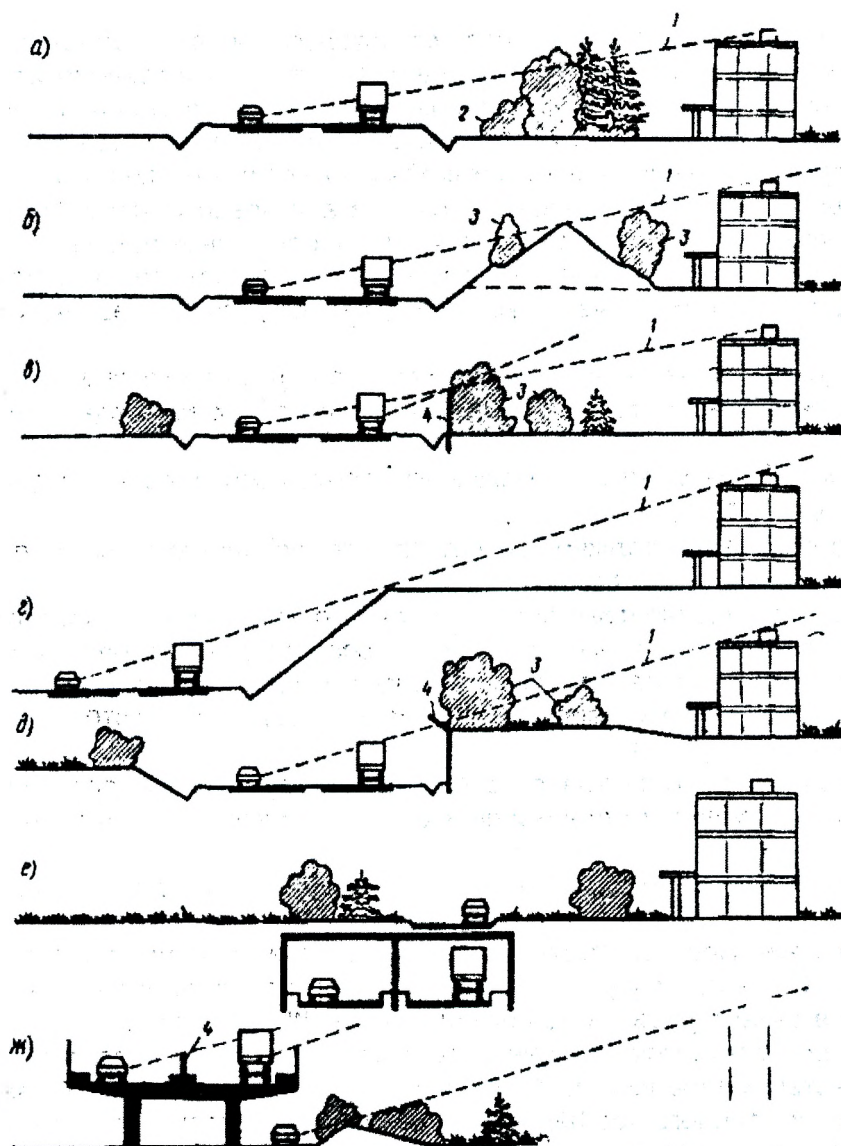


Рис. 17.116. Мероприятия по защите прилегающей местности от шума, вызываемого движением по дороге: а – растительные насаждения; б – защитный вал; в – установка звукопоглощающих ограждений; г – проложение дороги в выемке; д – выемка с подпорной стенкой; е – проложение дороги в галерее; ж – проложение дороги эстакадой; 1 – граница акустической тени; 2 – звукопоглощающие растительные насаждения; 3 – декоративные посадки; 4 – звукопоглощающее ограждение

Идея всех защитных мероприятий – создание за ними звуковой тени или поглощение звука. Для надлежащего экранирования высота барьера должна быть не менее 4,0-4,5 м. Придорожные насаждения относительно малоэффективны и снижают шум в среднем на 0,15 дБА на 1 м ширины полосы.

Учет требований охраны природы при проектировании дорог не должен ограничиваться только мерами по ее защите. Продуманное строительство дороги может существенно улучшить местность осушением болот, созданием водохранилищ, закреплением песков, повышением устойчивости склонов, предохранением почв от эрозии и др. Использование для земляного полотна и дорожных одежд шлаков, зол ТЭЦ и других побочных продуктов промышленности дает возможность ликвидировать накопившиеся за много лет их отвалы.

Учет требований охраны окружающей среды неизбежно осложняет и удорожает дорожное строительство. Однако процесс эксплуатации делает эти дополнительные затраты вполне оправданными.



### **17.23. Общие принципы обеспечения пространственной плавности трассы и увязки ее с ландшафтом**

В связи с многообразием факторов, от которых зависит рациональное проложение трассы дороги, нельзя их все свести к четким математическим зависимостям. На современном этапе вопросы увязки трассы дороги с ландшафтом решаются на ЭВМ с использованием выраженных в аналитической форме закономерностей форм рельефа. Однако вопросы ландшафтного проектирования все же остаются исследовательской и эстетической работой, зависящей во многом от опыта проектировщика. На компьютер переложены рутинные расчеты и графическое построение моделей дороги и придорожной полосы.

На сегодняшний день установлены общие принципы обеспечения плавности трассы и увязки ее с ландшафтом, которые в сжатой форме могут быть сведены к следующим пунктам.

1. Трасса должна обеспечивать видимость дороги на значительном расстоянии и давать водителю ясное представление о направлении дороги за пределами фактической видимости.

2. Скорости, обеспечиваемые смежными элементами дороги, не должны резко отличаться друг от друга ( $\leq 10\%$ ).

3. Проложение трассы должно соответствовать основным формам ландшафта, в первую очередь, элементам рельефа.

4. Трасса дороги должна представлять собой плавную линию в пространстве.

5. Размеры элементов дороги в плане и профиле следует назначать такими, чтобы, несмотря на искажение их в перспективе на длинных участках, у водителей приближающихся автомобилей не создавалось впечатления резких крутых поворотов, требующих заблаговременного снижения скорости.

6. Наибольшая плавность трассы в плане и наилучшее согласование с ландшафтом обеспечиваются при введении длинных переходных кривых, связывающих между собой круговые кривые.

7. В продольном профиле трассу дороги целесообразно проектировать из сопрягающихся вертикальных кривых.

8. Расположение мостов в плане и профиле должно полностью соответствовать общему направлению трассы и удовлетворять требованиям плавности трассы. Путепроводы на пересечениях в разных уровнях не должны ограничивать видимости.

9. Количество переломов в плане и профиле должно быть по возможности одинаковым. Дороги с частыми переломами продольного профиля на кривых и извилистые при постоянном уклоне продольного профиля некрасивы и небезопасны для движения.

10. Вершины вертикальных и горизонтальных кривых должны совпадать. Кривые должны быть близки друг к другу по длине. Горизонтальные кривые должны перекрывать выпуклые вертикальные кривые.

11. Следует избегать сочетаний плана и профиля, при которых конец кривой в плане или профиле совпадает с началом кривой в другой плоскости или перекрывает ее на небольшую величину (до 150 м).

12. Размеры прямых и кривых в плане необходимо назначать соизмеримыми. Недопустимы короткие кривые между длинными прямыми и короткие прямые вставки между кривыми, особенно направленными в одну сторону.

13. Изменения направления дороги в плане на малый угол должны смягчаться введением кривых очень больших радиусов.

14. Изменения направления дороги для обхода препятствий должны быть плавными и начинаться раньше, чем водитель ясно различит вызвавшую их причину.

15. Необходимо избегать легкой волнистости плана или профиля дороги, следующей очертанию второстепенных элементов рельефа.

16. Недопустимы местные просадки продольного профиля, в которых теряется видимость поверхности дороги, а также небольшие местные взбугривания профиля, закрывающие видимость следующих за ними участков.

17. Откосы земляного полотна должны плавно переходить в очертания прилегающих элементов рельефа.

18. Озеленение дороги должно входить в общий комплекс ландшафтного проектирования. Размещать посадки надо так, чтобы они ориентировали водителей в общем направлении дороги, а также сосредоточивали их внимание в необходимых местах.

19. Проложение дороги на местности должно способствовать раскрытию перед едущими живописных участков; на дороге должны быть оборудованы площадки для отдыха и осмотра достопримечательностей.

Инженер-дорожник должен творчески реализовать перечисленные правила ландшафтного проектирования применительно к конкретным местным условиям объекта проектирования.



## 18. ОБСЛУЖИВАНИЕ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Для обеспечения нормальных условий труда и отдыха людей, пользующихся автомобильной дорогой, необходимо предусматривать строительство соответствующих зданий и сооружений, использование технических средств организации движения и декоративного оформления дороги. Здания и сооружения предназначены для организации служб по содержанию и ремонту автомобильных дорог, а также обслуживанию грузовых и пассажирских перевозок.

Для дорожной службы в проектах должны быть предусмотрены комплексы зданий и сооружений управления дорог, комплексы зданий и сооружений основного и низового звеньев дорожной службы, жилые дома для рабочих и служащих, производственные базы, пункты обслуживания и охраны мостов, переправ, тоннелей и галерей, устройства технологической связи.

Деятельность автотранспортной службы должна быть обеспечена на базе строительства зданий и сооружений обслуживания:

- *грузовых перевозок* – грузовые автостанции, контрольно-диспетчерские пункты;
- *организованных пассажирских перевозок* – автостанции и автовокзалы, автобусные остановки и павильоны;
- *участников движения в пути следования* – мотели, кемпинги, площадки отдыха, площадки для кратковременной остановки автомобилей, пункты питания, пункты торговли, автозаправочные станции, дорожные станции технического обслуживания, пункты мойки автомобилей на въезде в город, устройства для технического осмотра автомобилей, устройства аварийно-вызывной связи.

Осуществление контроля за движением должно быть предусмотрено с помощью линейных сооружений дорожно-патрульной службы (ДПС).

### 18.1. Проектирование автобусных остановок

Автобусные остановки входят в комплекс дорожных устройств и обстановки на автомобильных дорогах, способствуют повышению безопасности движения и предназначены для обслуживания пассажиров.

*Принципы размещения автобусных остановок:*

- 1) с учетом требований региональных предприятий пассажирского автотранспорта для обеспечения оптимального обслуживания людей в прилегающих к дороге территориях;
- 2) интервалы между остановками выбирают на основе изучения возможного их местоположения и мощности пассажиропотоков. Рекомендуется устраивать автобусные остановки через 3-5 км, в густонаселенных районах – через 1,5 км;
- 3) при выборе места расположения автобусной остановки предпочтение следует отдавать прямолинейным в плане и профиле участкам дорог или закруглениям дорог в плане с радиусом не менее 1000 м для дорог I и II категорий, 600 м для дорог III категории и 400 м для дорог IV и V категорий и при продольных уклонах не более 40‰;
- 4) должны быть обеспечены необходимые нормы видимости. В холмистой местности с затяжными продольными уклонами остановки размещают у вершин выпуклых вертикальных кривых или устраивают дополнительные полосы на подъемах, а рядом с ними располагают изолированную остановочную площадку;
- 5) должны учитываться требования безопасности движения транспортных средств и пешеходов, удобство посадки и высадки пассажиров, взаимные помехи пешеходов, автобусов и других транспортных средств.

**Автобусная остановка может включать в себя несколько конструктивных элементов:**

- 1) остановочная площадка для автобусов;
- 2) посадочная площадка для пассажиров;
- 3) павильон (на дорогах I категории совмещенный с переходами в пешеходный тоннель);
- 4) полосы разгона и торможения автобусов;

- 5) островки безопасности;
- 6) туалет;
- 7) контейнер для мусора.

Переходно-скоростные полосы и остановочная площадка входят в состав дополнительной полосы проезжей части, устраиваемой у посадочной площадки и павильона. В некоторых случаях, когда полоса используется для маневрирования автомобилей перед перекрестками или для движения тихоходных транспортных средств на затяжных подъемах, изолированную остановочную площадку устраивают рядом с полосой.

На эксплуатируемых дорогах можно использовать различные планировочные решения дополнительных полос в зонах автобусных остановок (рис. 18.1) с учетом интенсивностей движения автобусов и других транспортных средств (рис. 18.2). При проектировании новых дорог следует руководствоваться типовыми проектными решениями.

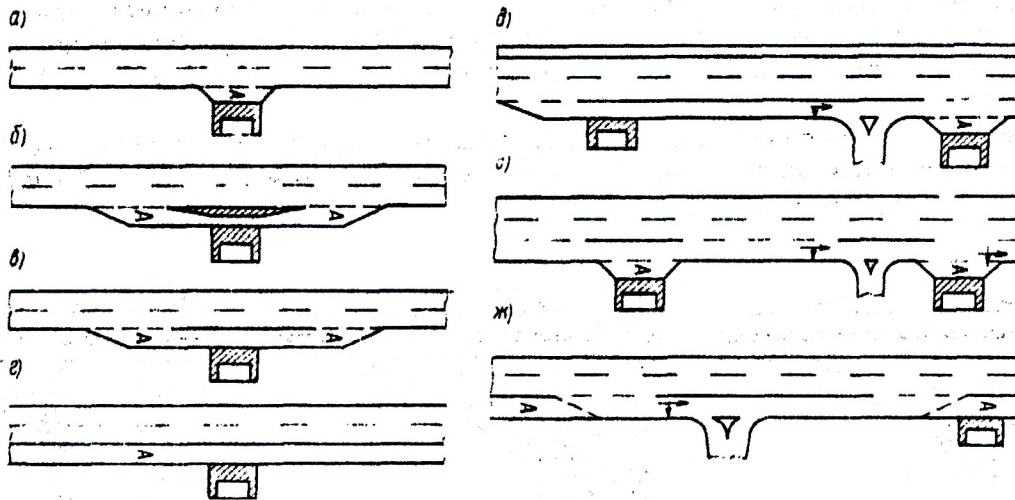


Рис. 18.1. Варианты планировочных схем устройства автобусных остановок: а – изолированная остановочная площадка (карман); б, в – дополнительная полоса с разделительным островком (б) или без него (в); г – обособленная дополнительная полоса между соседними автобусными остановками и пересечениями; д, е, ж – дополнительная полоса для совмещения движения автобусов и поворачивающих автомобилей

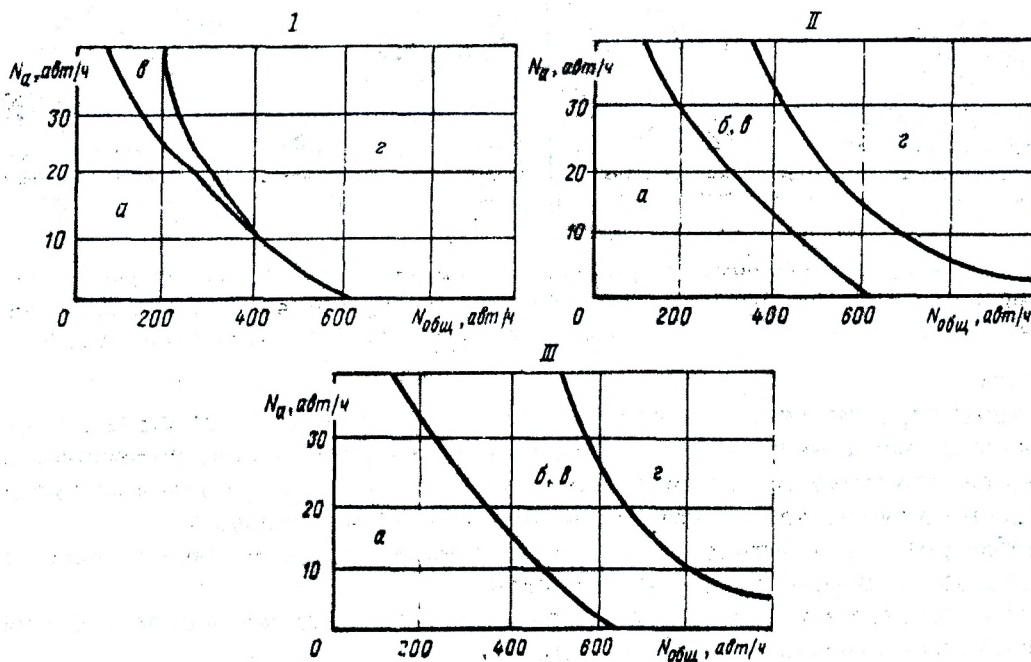


Рис. 18.2. Области применения планировочных решений автобусных остановок при расстоянии между ними: I – 400 м; II – 800 м; III – 1200 м; а, б, в, г – области эффективного использования планировочных решений, показанных на рис. 18.1;  $N_a$  – интенсивность движения автобусов;  $N_{общ}$  – общая интенсивность движения транспортных средств (на одну полосу проезжей части)



Частое расположение примыканий в одном уровне и автобусных остановок приводит к необходимости устройства *непрерывной дополнительной полосы* между примыканиями, как для движения и остановки автобусов, так и для поворота автомобилей:

- 1) если плотность расположения примыканий на 1 км дороги не превышает единицы, а интенсивность движения автомобилей, поворачивающих направо, составляет 50 авт/ч и менее, можно допустить *остановку автобусов на дополнительной полосе* у посадочной площадки (рис. 18.1д);
- 2) в противном случае необходимо устраивать *изолированную остановочную площадку* (карман) рядом с дополнительной полосой движения (рис. 18.1е);
- 3) при устройстве обособленных дополнительных полос, предназначенных только для движения автобусов, в местах примыканий предусматривают *возможность заезда на эти полосы поворачивающих автомобилей* (рис. 18.1ж).

На пересечениях в одном уровне автобусные остановки рекомендуется располагать за пересечениями с совмещением полос разгона для автомобилей, поворачивающих направо, и обязательным устройством изолированной остановочной площадки для автобусов (кармана).

На пересечениях автомобильных дорог в разных уровнях автобусные остановки целесообразно размещать в соответствии со схемами, приведенными на рис. 18.3 и 18.4 (посадочные площадки заштрихованы).

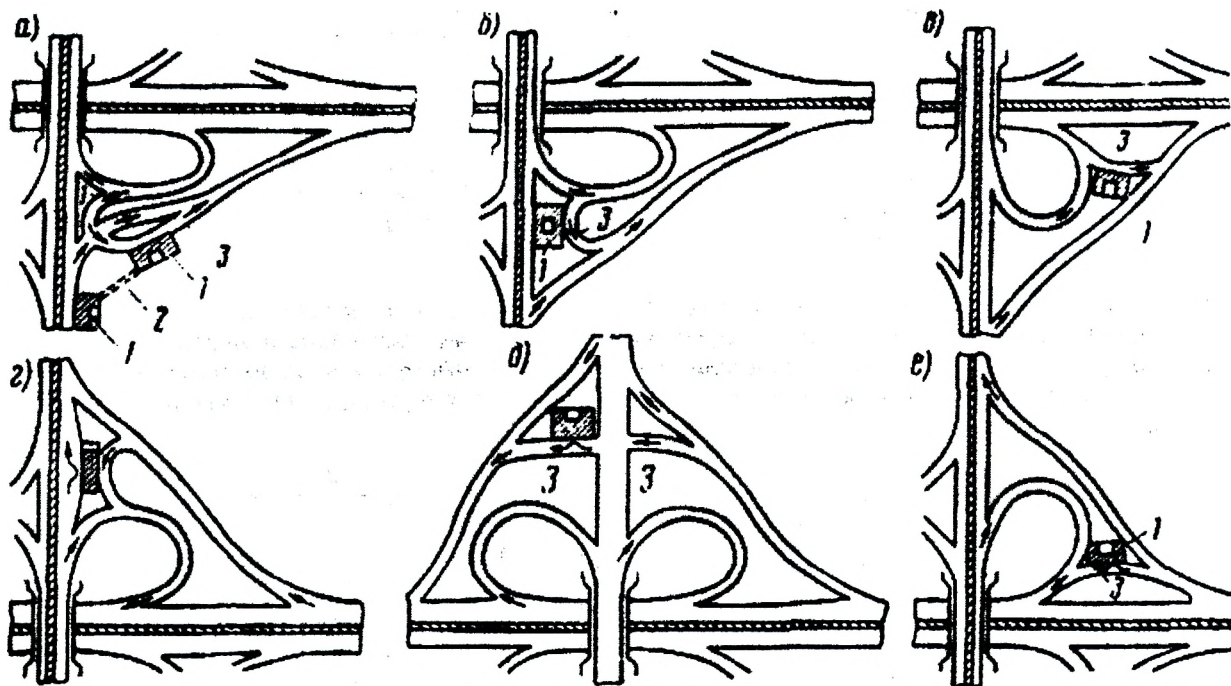


Рис. 18.3. Расположение автобусных остановок на пересечениях типа «клеверный лист»: а, б, в – с первоначальным заездом автобуса на левоповоротный съезд; г, д, е – то же на правоповоротный съезд; 1 – автобусные остановки; 2 – пешеходные дорожки; 3 – дополнительные съезды

При этом:

- 1) следует стремиться к снижению высоты, которую должен преодолеть пешеход при перемещении с нижней дороги на верхнюю и к уменьшению расстояний, проходимых пассажирами от автобусной остановки до пункта своего назначения или пересадочного пункта за счет устройства дополнительных съездов;
- 2) необходимо облегчить движение пешеходов в пределах пересечения, устраивая пешеходные дорожки и лестничные сходы;
- 3) рекомендуется устраивать пересадочные пункты на одной посадочной площадке (с одной ее стороны или с двух сторон);
- 4) планировочные схемы, которые предусматривают пересечение маршрутов автобусов и других транспортных средств (рис. 18.3а, 18.3д, 18.4в, 18.4г), можно использовать только при наличии светофорного регулирования в местах пересечений или на дорогах IV категории.

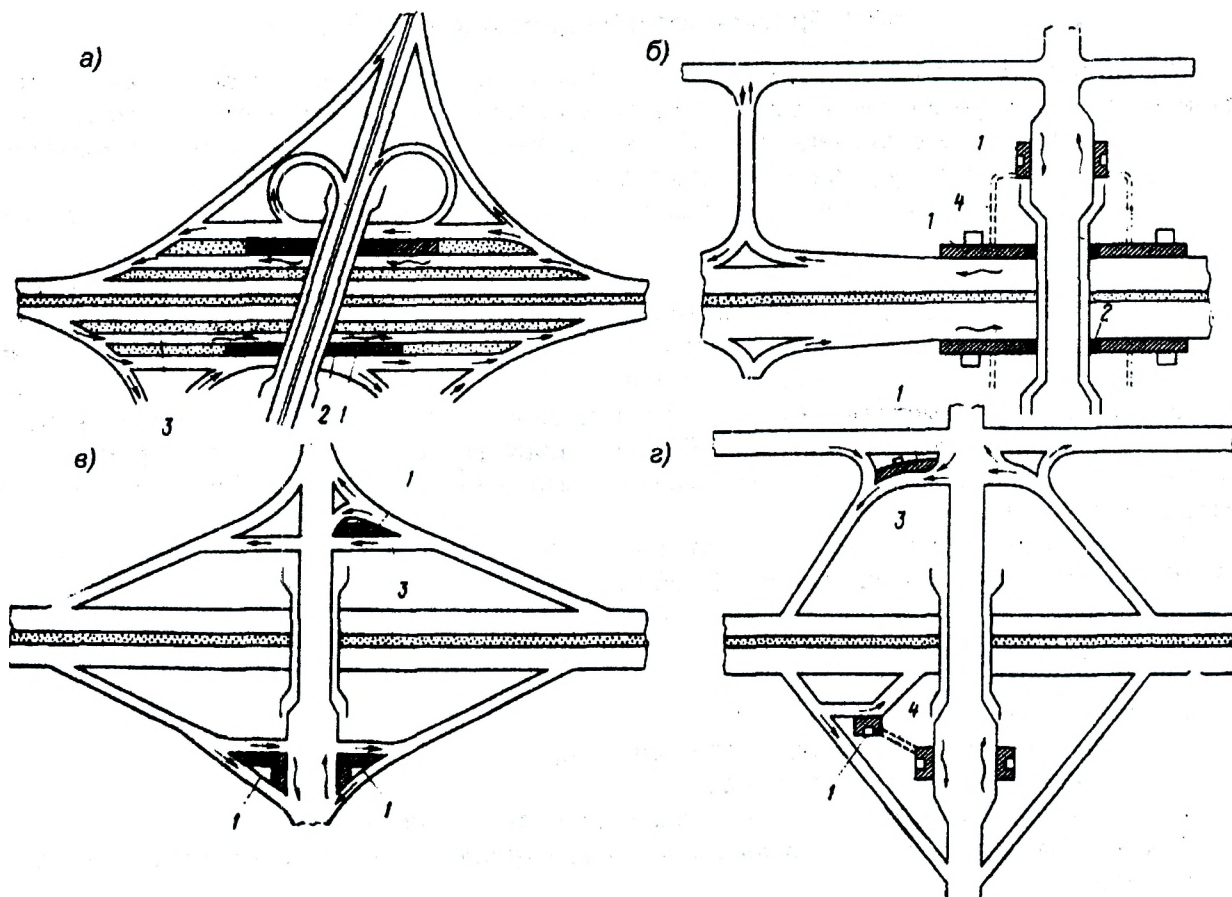


Рис. 18.4. Положение автобусных остановок на пересечениях в разных уровнях с устройством: а – параллельных дополнительных съездов; б – посадочных площадок у путепровода; в, г – дополнительных съездов у второстепенной дороги; 1 – автобусные остановки; 2 – лестничные сходы; 3 – дополнительный съезд; 4 – пешеходная дорожка

**Размеры основных элементов автобусных остановок** принимаются следующими:

1) ширину изолированной остановочной площадки и дополнительной полосы принимают равной ширине основных полос проезжей части, а длину площадки – в зависимости от количества одновременно останавливающихся автобусов, но не менее 10 м;

2) дополнительные съезды для подъезда к автобусным остановкам на пересечениях в разных уровнях (см. рис. 18.3, 18.4) проектируют по нормативам, принятым для левоповоротных съездов (по СНиП 2.05.02-85);

3) длину посадочной площадки принимают равной длине остановочной площадки, а ширину – 1,50-2,25 м, в зависимости от пассажирооборота. Посадочная площадка должна быть приподнята над проезжей частью на 0,2 м и отделена от нее бордюром. Дорожная одежда на ней обычно такая же, как на тротуарах;

4) автопавильоны устанавливают на расстоянии не более 3 м от кромки остановочной площадки;

5) пешеходные дорожки или тротуары шириной не менее 1 м устраивают в направлении движения основного потока пассажиров до ближайшего пешеходного перехода, улицы или границы зоны расчетной боковой видимости.

На дорогах I категории автобусные остановки рекомендуется размещать напротив друг друга с устройством пешеходных пересечений в разных уровнях и установкой ограждений на разделительной полосе. На дорогах II-V категорий автобусные остановки должны быть смещены по ходу движения (расстояние между ближайшими боковыми сторонами павильонов не менее 30 м) таким образом, чтобы пассажиры, вышедшие из автобуса и направляющиеся в сторону автобусной остановки на другой стороне дороги, обходили стоящий автобус сзади и некоторое время двигались по тротуару до пешеходного перехода навстречу движению транспортного потока по ближайшей к остановке полосе проезжей части.



## 18.2. Проектирование площадок отдыха

В зависимости от назначения, количества останавливающихся автомобилей и использования различают несколько видов придорожных площадок для остановки автомобилей:

- 1) автомобильные стоянки возле автозаправочных станций, станций технического обслуживания, пунктов питания и т.п.;
- 2) площадки отдыха в стороне от дороги около берегов реки или моря, лесных массивов и т.п.;
- 3) площадки для кратковременной остановки автомобилей на период осмотра достопримечательных мест и красивых видов;
- 4) площадки вблизи проезжей части или уширение проезжей части для кратковременной стоянки одного-трех автомобилей.

Здесь будут рассмотрены вопросы проектирования площадок отдыха второго типа, как наиболее распространенных на автомобильных дорогах Беларуси II-IV категорий. Остальные типы площадок отдыха детально будут рассматриваться в главе «Проектирование автомобильных магистралей».

Площадки отдыха должны быть расположены через 15-20 км на дорогах I и II категорий, 25-35 км на дорогах III категории, 45-55 км на дорогах IV категории.

Размеры площадок определяют с учетом:

- 1) количества одновременно стоящих автомобилей;
- 2) их габаритных размеров;
- 3) схем установки:
  - параллельно оси проезда площадки;
  - поперек оси проезда площадки;
  - под углом  $45^\circ$  относительно оси проезда площадки.

Рекомендуется назначать вместимость площадок отдыха в зависимости от категории дороги:

- 1) 20-50 автомобилей на дорогах I категории при интенсивности движения до 30 тыс. авт/сут;
- 2) 10-15 автомобилей – на дорогах II и III категорий;
- 3) 10 автомобилей – на дорогах IV категории.

При подготовке проектов рекомендуется использовать типовые решения.

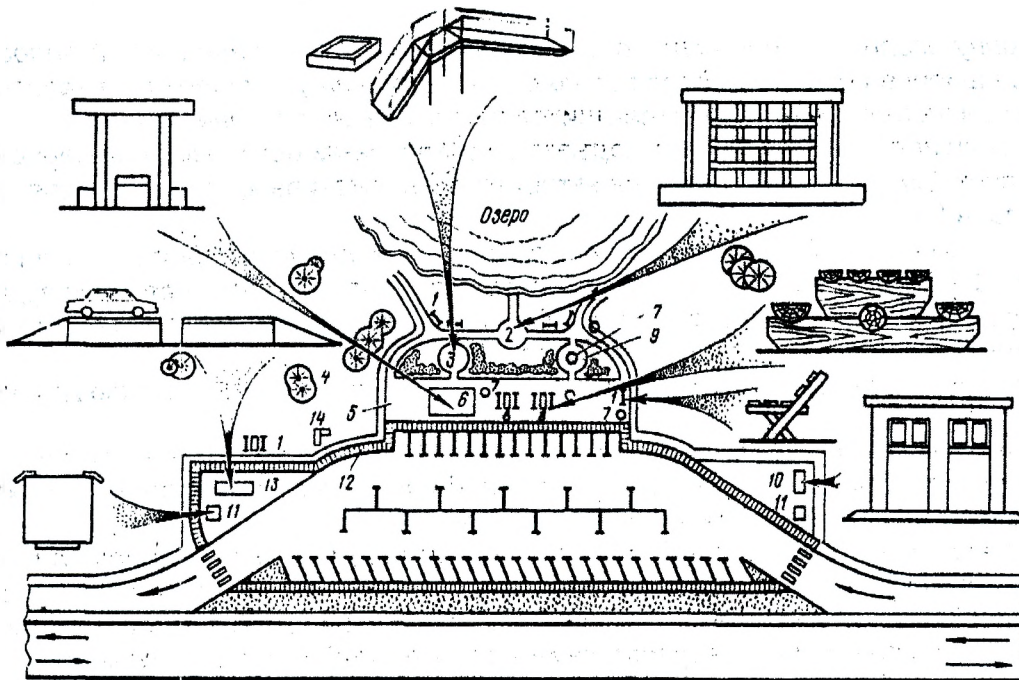


Рис. 18.5. Планировка и оборудование площадки отдыха: 1 – скамейка; 2 – беседка; 3 – детская площадка; 4 – дерево; 5 – пешеходная дорожка; 6 – навес; 7 – урна; 8 – стол со скамейками; 9 – место для курения; 10 – туалет; 11 – мусоросбор; 12 – тротуар; 13 – эстакада; 14 – маршрутная схема

У пунктов питания, торговли, скорой помощи, источников питьевой воды и в других местах с систематическими остановками автомобилей следует устраивать специальные площадки для кратковременной остановки автомобилей. Вместимость площадок следует определять индивидуально с учетом категории автомобильной дороги, видов оказываемых услуг и частоты их расположения на дороге.

**Площадка отдыха должна состоять из трех планировочных зон**, зрительно отделенных друг от друга (см. рис. 18.5): зоны стоянки автомобилей с въездами и выездами; зоны отдыха; санитарно-гигиенической зоны.

Другие элементы оборудования площадок – освещение, водоснабжение, телефонизация, радиофикация – используют при потребности и условий для их осуществления.

Удаление площадок от дорог зависит от местных условий. Как правило, их следует размещать от кромок проезжей части на расстоянии боковой видимости. Минимальное расстояние от края площадки до кромки основной полосы движения на дорогах II-III категорий должно составлять не менее 2,7 м.

### 18.3. Проектирование размещения автозаправочных станций (АЗС) и станций технического обслуживания (СТО)

Автозаправочные станции (АЗС) и дорожные станции технического обслуживания автомобилей (СТО) размещают на основе экономических и статистических исследований. Мощность АЗС (число заправок в сутки) в соответствии со СНиП 2.05.02-85 принимают по табл. 18.1, а число постов на дорожных станциях технического обслуживания – по табл. 18.2.

Таблица 18.1. Условия размещения АЗС

Интенсивность движения, трансп. ед/сут	Мощность АЗС, заправок в сутки	Расстояние между АЗС, км	Размещение АЗС
1000-2000	250	30-40	одностороннее
2000-3000	500	40-50	одностороннее
3000-5000	750	40-50	одностороннее
5000-7000	750	50-60	двустороннее
7000-20000	1000	40-50	двустороннее
> 20000	1000	20-35	двустороннее

**Примечание.** При расположении АЗС в зоне пересечения ее мощность должна быть уточнена с учетом протяженности всех обслуживаемых прилегающих дорог, интенсивности движения и других расчетных показателей на этих участках.

Таблица 18.2. Число постов на СТО

Интенсивность движения, трансп. ед/сут	Число постов на СТО в зависимости от расстояния между ними, км					Размещение СТО
	80	100	150	200	250	
1000	1	1	1	2	3	одностороннее
2000	1	2	2	3	3	одностороннее
3000	2	2	3	3	5	одностороннее
4000	3	3	–	–	–	одностороннее
	2	2	2	2	3	двустороннее
6000	2	2	3	3	3	двустороннее
8000	2	3	3	3	5	двустороннее
10000	3	3	3	5	5	двустороннее
15000	5	5	5	8	8	двустороннее
20000	5	5	8	по спец. расчету		двустороннее
30000	8	8	по спец. расчету			двустороннее

#### **АЗС размещают:**

- 1) в придорожных полосах на участках дорог с уклоном не более 40%;
- 2) на закруглениях дороги в плане радиусом более 1000 м;
- 3) на выпуклых кривых в продольном профиле радиусом более 10 000 м;
- 4) не ближе 250 м от железнодорожных переездов;
- 5) не ближе 1000 м от мостовых переходов;
- 6) на участках с насыпями высотой не более 2,0 м.



Подъезды к АЗС должны быть выполнены с использованием переходно-скоростных полос. На АЗС предусматривают площадку для стоянки 2-3 грузовых и 3-4 легковых автомобилей.

Количество необходимых топливораздаточных колонок определяют с учетом перспективной интенсивности и состава транспортного потока, принимая во внимание разную степень использования топливного бака и время обслуживания.

*Организация движения по АЗС:*

- 1) при въезде на территорию АЗС устанавливают указатели, информирующие водителей о размещении колонок с разными сортами топлива;
- 2) проезжую часть на подходах к колонкам размечают на полосы движения;
- 3) длина полос, выделенных для ожидания обслуживания, должна быть достаточной для размещения очереди;
- 4) на подходах к АЗС рекомендуется устанавливать знак, информирующий водителей о расстоянии до ближайшей АЗС;

Для пожарной безопасности необходимо соблюдать следующие расстояния от края проезжей части до топливораздаточных колонок или границ подземных резервуаров: не менее 25 м на дорогах I категории; не менее 15 м на остальных дорогах.

#### 18.4. Организация связи

Организация связи на автомобильных дорогах является одним из главных элементов повышения эффективности управления строительными и ремонтными работами, а также важнейшим средством организации дорожного движения.

*Виды связи на автомобильных дорогах:*

- 1) *технологическую связь* используют для управления производственными процессами в дорожных хозяйствах, своевременной доставки материалов на место работ, маневра дорожными машинами и механизмами;
- 2) *радиосвязь дальнего действия* между крупными строительными подразделениями и управлениями строительства устанавливают с помощью коротковолновых радиостанций. Наиболее удобным средством связи между объектами работ и конторами или автотранспортными хозяйствами является УКВ радиосвязь при помощи радиостанций с радиусом действия от 30 до 100 км;
- 3) для связи с подвижными объектами (автогрейдерами, снегоочистителями, автомобилями службы организации движения) используют ультракоротковолновые радиостанции *небольшой мощности* (дальность действия до 25 км);
- 4) *сотовая (мобильная) связь* все больше вытесняет другие виды связи, но в районах строительства новых дорог возможны сбои в связи с неполным покрытием территории Беларуси. В будущем этот тип связи практически заменит все другие виды.

*Технологическую связь* для обеспечения работы дорожной службы в соответствии со СНиП 2.05.02-85 предусматривают на автомобильных дорогах I категории, а при наличии специальных требований – и на дорогах II и III категорий.

*Одной из важнейших функций связи, устраиваемой на автомобильных дорогах, является организация вызова неотложной помощи пострадавшим в случае возникновения пожара или дорожно-транспортного происшествия, технической неисправности автомобиля, отсутствия топлива и масел. Системы аварийно-вызывной связи в соответствии со СНиП 2.05.02-85 предусматривают для дорог I категории при соответствующем обосновании. Обоснованность такого решения может быть подтверждена сравнением затрат на устройство этой системы с выгодами, получаемыми от быстрого оказания неотложной помощи.*

*Система аварийно-вызывной связи* включает в себя:

- 1) *переговорные колонки;*
- 2) *диспетчерский пункт.*

*Колонки размещают* за пределами обочины попеременно с каждой стороны дороги через 4 км или с одной стороны дороги с интервалом 2 км. Защитный корпус колонки окрашивают в оранжевый цвет и внутри него размещают микрофон и телефон.

При размещении колонок предусматривают меры по их защите от наезда автомобилей. Примеры размещения колонок показаны на рис. 18.6.

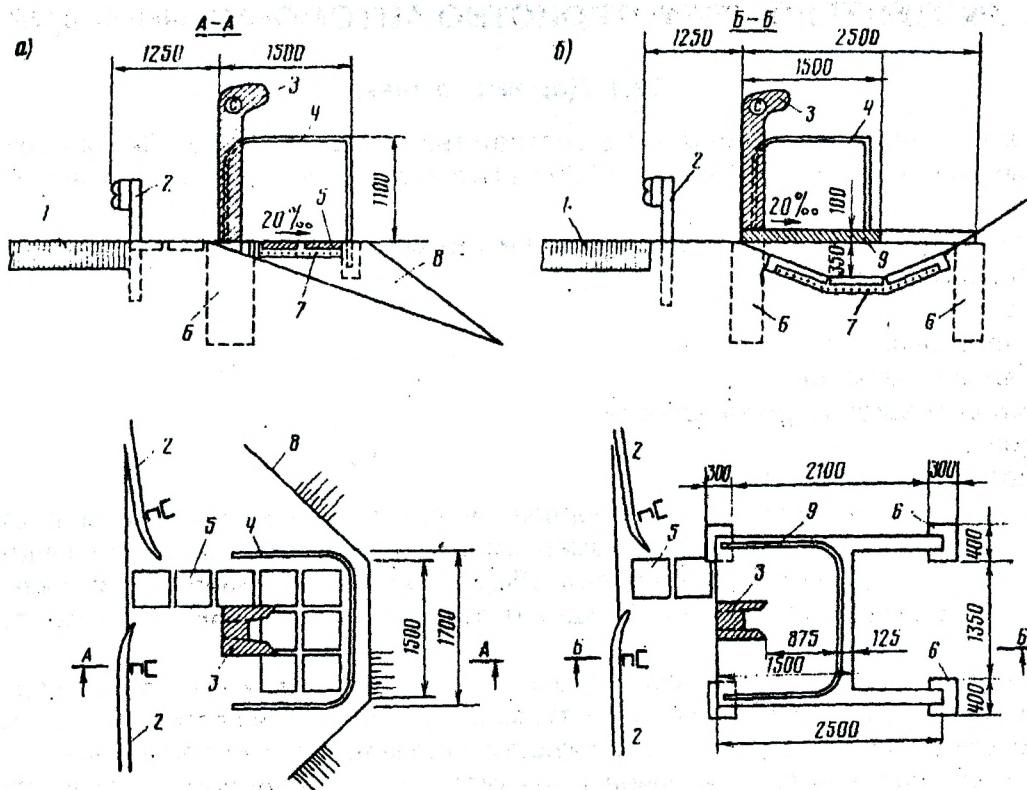


Рис. 18.6. Установка колонок аварийно-вызывной связи: а – на насыпях; б – в выемках; 1 – полоса для остановки автомобилей; 2 – барьерное ограждение; 3 – переговорная колонка; 4 – ограждение из труб; 5 – плита пешеходной дорожки размером 400х400х60 мм; 6 – фундамент; 7 – гравийно-песчаная смесь 10 см; 8 – берма; 9 – железобетонная плита



## 19. ИНЖЕНЕРНОЕ ОБУСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### 19.1. Дорожные знаки

Дорожные знаки устанавливают в соответствии с СТБ 1140-99 «Знаки дорожные. Общие технические условия» и СТБ 1300-2002 «Технические средства организации дорожного движения».

*По назначению дорожные знаки разделяют на семь групп:*

- 1) предупреждающие;
- 2) приоритета;
- 3) запрещающие;
- 4) предписывающие;
- 5) информационно-указательные;
- 6) сервиса;
- 7) дополнительной информации.

*Каждый знак имеет свой номер:* первое число номера – номер группы, к которой принадлежит знак; второе – порядковый номер знака в группе. Для знаков, имеющих одинаковое смысловое содержание, сохраняется общий порядковый номер, а их разновидности обозначены буквенными индексами. Каждая группа знаков имеет характерную форму, цвет фона и каймы.

*Предупреждающие знаки* предназначены для заблаговременного информирования участников движения о характере опасности, месте расположения опасного участка дороги и необходимости принятия мер предосторожности, соответствующих обстановке.

*Знаки приоритета* предназначены для указания очередности проезда перекрестков, пересечений отдельных проезжих частей, а также узких участков дорог.

*Запрещающие знаки* применяют для введения различных ограничений в случаях, когда необходимая организация движения не может быть обеспечена другими средствами, способами или методами.

*Предписывающие знаки* используют для введения более строгого порядка и режима движения, как по отдельным направлениям, так и для отдельных видов транспортных средств и пешеходов.

*Информационно-указательные знаки* устанавливают для информирования водителей о направлениях и режиме движения, расположении на пути следования населенных пунктов и других объектов.

*Знаки сервиса* применяют для дополнительного информирования водителей о расположении объектов, предназначенных для обслуживания участников движения или оказания им помощи и различных видов услуг, а также о расстоянии до них и направлении движения.

*Знаки дополнительной информации* (таблички) используют для уточнения или ограничения действия других дорожных знаков. Их устанавливают только совместно со знаками первых шести групп и располагают непосредственно под ними, за исключением табличек 7.2.2, 7.2.3, 7.2.4, 7.13

*Опоры дорожных знаков* изготавливают из материалов, обеспечивающих устойчивость всей конструкции:

- 1) под действием расчетной ветровой нагрузки;
- 2) при мойке знаков ручным и механизированным способом;
- 3) исключая возможность их преднамеренного разрушения.

*Для закрепления знаков можно применять опоры из:*

- 1) железобетона (ГОСТ 25459-82 «Опоры железобетонные дорожных знаков. Технические условия»);
- 2) дерева (ГОСТ 25458-82 «Опоры деревянные дорожных знаков. Технические условия»);
- 3) металлических или асбоцементных труб.

*В этих нормативных документах расчетная ветровая нагрузка принята с учетом:*

- длины опор;
- площади знака;
- количества знаков на одной опоре;
- скоростного напора ветра по СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».

Для предотвращения преднамеренного повреждения опор расчетный изгибающий момент должен быть не менее 800 Нм. Массивные стальные опоры должны иметь у основания фланцевые соединения скользящего типа, а в верхней части – пластический шарнир, способствующие снижению инерционных перегрузок при наезде автомобиля на опору.

Установка каждого знака должна быть обоснована, а их общее количество на участке дороги следует по возможности свести к минимуму. В одном поперечном сечении дороги допускается установка не более трех знаков (без учета дублирующих знаков и табличек). Термин «дублирование» характеризует установку дополнительного знака, одноименного с основным, с левой стороны дороги на разделительной полосе (островке безопасности) или над проезжей частью. В некоторых случаях необходимо повторять основной знак, устанавливая дополнительный знак на той же стороне дороги на некотором расстоянии до или после основного. Дорожные знаки должны быть установлены с правой стороны дороги, за исключением нескольких случаев, специально оговоренных стандартом (ГОСТ 23457–86).

На дорогах вне населенных пунктов опоры знаков устанавливают за пределами обочин:

- 1) на бермах, присыпанных к обочине (рис. 19.1а);
- 2) на откосах насыпи (рис. 19.1б);
- 3) на полосе отвода за боковой канавой (рис. 19.1в);
- 4) над обочинами (рис. 19.1г);
- 5) на горных дорогах допускается установка опор знаков при условии, что расстояние между кромкой проезжей части и ближайшим к ней краем знака составляет не менее 1 м (рис. 19.1д);
- 6) на разделительной полосе допускается установка дублирующих знаков в том случае, если их опоры рассчитаны на срез или поломку при наезде автомобиля. При наличии ограждений на разделительной полосе край знака не должен выступать за их граничную линию (рис. 19.1е).

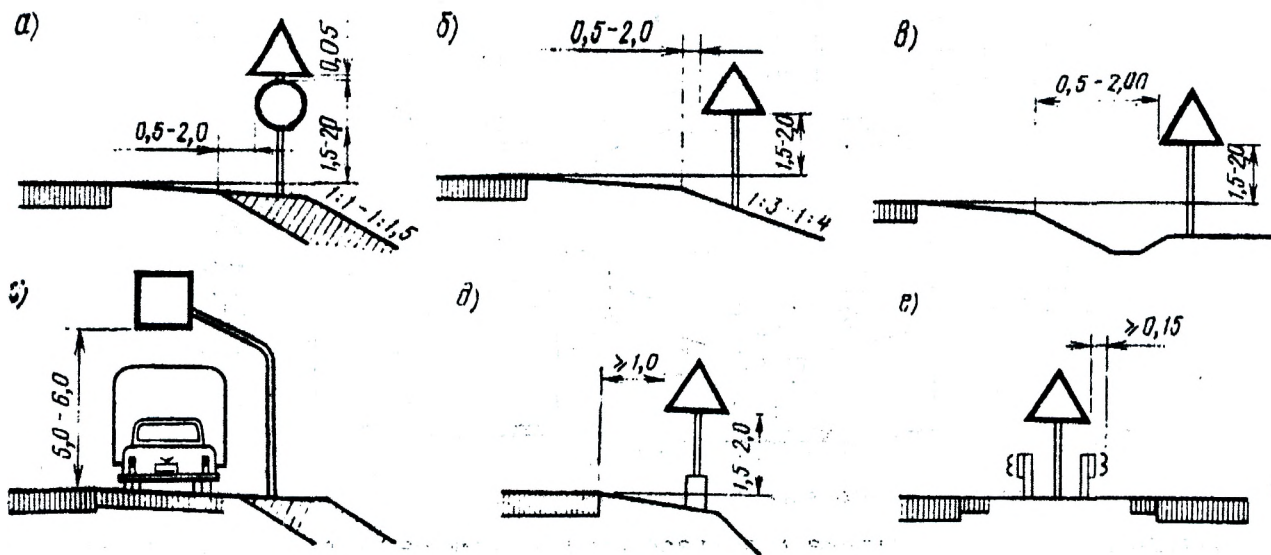


Рис. 19.1. Способы установки знаков на дорогах вне населенных пунктов

Знаки предварительного указания направлений и указатели расстояний устанавливают на опорах, расположенных на:

- 1) присыпанных к обочине бермах (рис. 19.2а);
- 2) откосах насыпей и выемок (рис. 19.2б);
- 3) на полосе отвода за боковой канавой (рис. 19.2в);
- 4) при наличии ограждений желательно, чтобы расстояние между стойкой ограждения и краем знака составляло не менее 0,75 м (рис. 19.2г);
- 5) на участках дорог, где опоры невозможно установить на откосе насыпи или рядом с земляным полотном, щиты знаков размещают над обочинами (рис. 19.2д) или над проезжей частью (рис. 19.2е); обязательно ограждая массивные опоры.



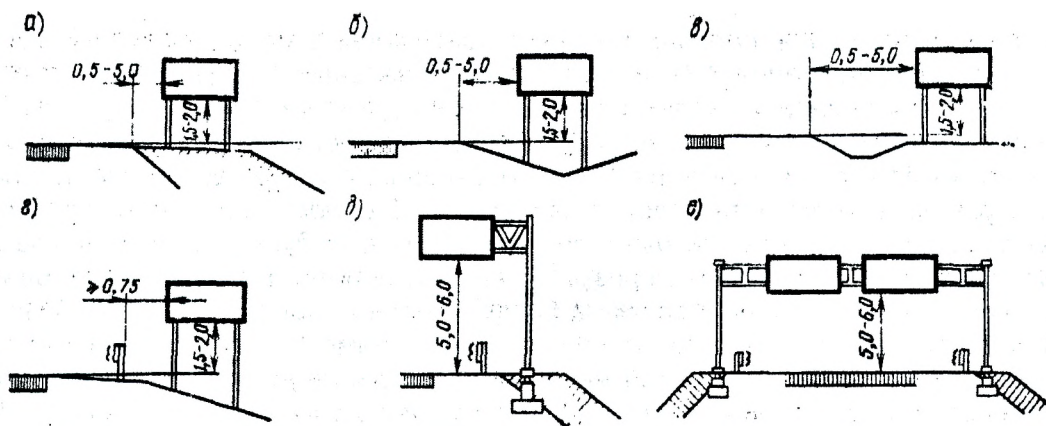


Рис. 19.2. Способы установки предварительных указателей направлений

В населенных пунктах знаки устанавливают:

- 1) на индивидуальных опорах (рис. 19.3а);
- 2) на одной колонке со светофором (рис. 19.3б);
- 3) на кронштейнах, прикрепленных к осветительным мачтам, опорам контактной сети трамваев и троллейбусов (рис. 19.3в, г) или стенам зданий (рис. 19.3д);
- 4) на тросах-растяжках, прикрепленных к зданиям (рис. 19.3е), натянутых между зданием и специальной опорой или между осветительными мачтами (рис. 19.3ж);
- 5) над сигнальными тумбами с искусственным освещением (рис. 19.3з).

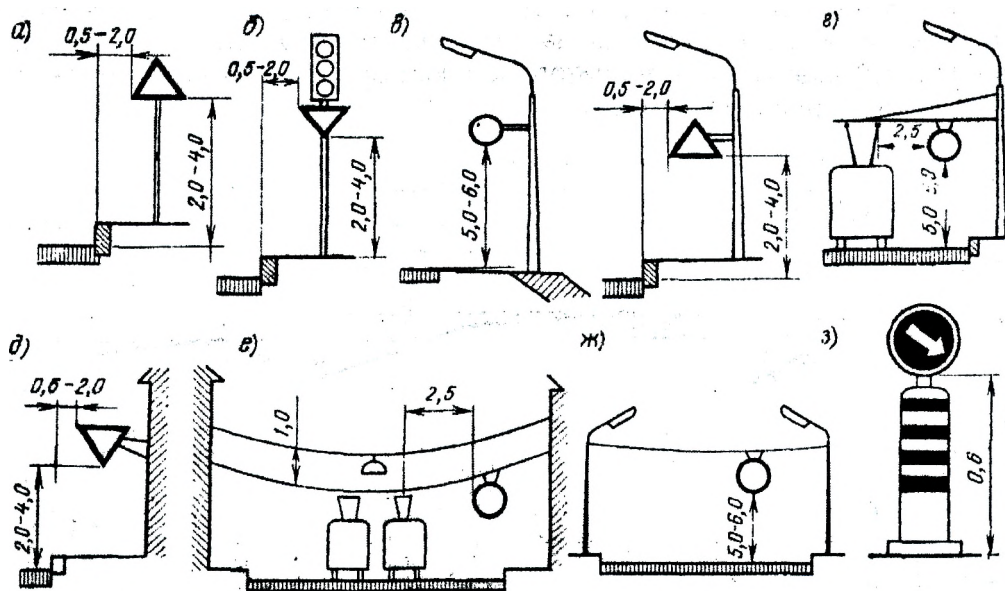


Рис. 19.3. Способы установки знаков в населенных пунктах

**Общие принципы установки знаков** исходят из их назначения и сводятся к следующему:

- 1) **предупреждающие знаки** устанавливают вне населенных пунктов на расстоянии 150-300 м от начала опасного участка дороги, а в населенных пунктах – на расстоянии 50-100 м с учетом расчетной скорости движения и расположения других знаков;
- 2) **знаки приоритета** устанавливают как непосредственно в начале главной дороги, так и перед всеми пересечениями (примыканиями) на расстоянии от 150 до 300 м от перекрестка вне населенных пунктов и от 50 до 100 м от него в населенных пунктах;
- 3) **запрещающие знаки** устанавливают непосредственно перед участком дороги, на котором вводится соответствующее ограничение, а в некоторых случаях – заблаговременно с необходимой табличкой; на промежуточных перекрестках этого участка и в конце участка дороги;
- 4) **предписывающие знаки** всегда размещают непосредственно перед участками дорог, где возникает такая необходимость;

5) *информационно-указательные знаки* размещают в различных позициях: на некотором расстоянии от объекта, о котором они информируют (обычно 20-50 м); непосредственно у этого объекта; в конце участка дороги, на котором был введен определенный порядок движения;

6) *знаки сервиса* вне населенных пунктов устанавливают: предварительно на расстоянии 60-80 км, 15-20 км и 400-800 м до объектов, предназначенных для обслуживания участников движения или оказания им помощи и различных видов услуг; непосредственно у этих объектов и мест поворота к ним; внутри территории комплекса обслуживания водителей и пассажиров. В городах и крупных населенных пунктах рекомендуется размещать предварительные знаки за 400-800 м до объекта, а также у мест поворота к нему. На знаках сервиса могут быть указаны расстояния, время работы соответствующего учреждения и другие надписи, поясняющие знак. Знаки сервиса должны устанавливаться в соответствии с дислокацией дорожных знаков, разработанной с учетом требований системы маршрутного ориентирования и утвержденной в установленном порядке;

7) *знаки дополнительной информации* (таблички) размещаются совместно с другими знаками и подчиняются их правилам расстановки.

## 19.2. Дорожная разметка

*Дорожная разметка* в виде линий, надписей и других обозначений, наносимых на проезжую часть, бордюры, элементы дорожных сооружений и обстановки дорог:

- 1) устанавливает порядок движения;
- 2) показывает габариты дорожных сооружений;
- 3) указывает направление дороги;
- 4) расположение опасных ее участков.

Разметку выполняют в соответствии с требованиями СТБ 1231-2000 «Разметка дорожная. Общие технические условия» и СТБ 1300-2002 «Технические средства организации дорожного движения».

Разметку можно применять как самостоятельно, так и в сочетании с дорожными знаками, но при их совместном использовании информация, передаваемая водителю, не должна быть противоречивой.

Элементы дорожной разметки разделяют на две основные группы: **горизонтальная и вертикальная**. Отдельные виды горизонтальной разметки имеют следующее назначение (рис. 19.4):

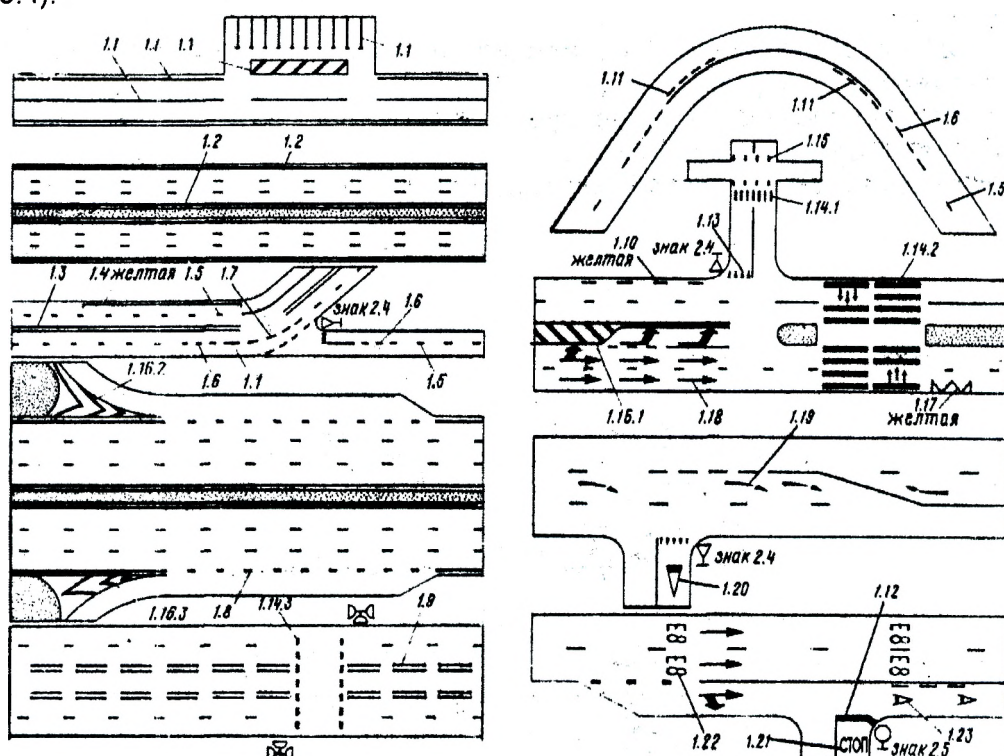


Рис. 19.4. Виды горизонтальной разметки



1.1 – разделение транспортных потоков противоположных направлений или полос движения и обозначение края проезжей части на дорогах, не отнесенных к автомагистралям; границ участков проезжей части, за которые въезд запрещен, границ мест стоянки транспортных средств;

1.2 – обозначение края проезжей части на автомагистралях;

1.3 – разделение транспортных потоков противоположных направлений на дорогах, имеющих четыре полосы для движения и более в обоих направлениях;

1.4 – обозначение мест, где остановка транспортных средств запрещена;

1.5 – разделение транспортных потоков, движущихся в противоположных направлениях на двух- и трехполосных дорогах и обозначение полос движения при наличии двух и более полос для движения в одном направлении;

1.6 – обозначение приближения к сплошной линии разметки 1.1 или 1.11;

1.7 – обозначение полос движения в пределах перекрестка;

1.8 – обозначение границы между полосой ускорения или замедления (переходно-скоростной полосой) и основной полосой проезжей части;

1.9 – обозначение границ реверсивной полосы, по которой направление движения может изменяться на противоположное;

1.10 – обозначение мест, где запрещена стоянка транспортных средств;

1.11 – разделение транспортных потоков.

*Поперечной горизонтальной разметкой обозначают:*

1.12 – место обязательной остановки транспортных средств (стоп-линия);

1.13 – место, где водитель обязан уступить дорогу;

1.14.1 и 1.14.2 – нерегулируемый пешеходный переход;

1.14.3 – пешеходный переход, где движение регулируется светофором;

1.15 – переезд для велосипедистов.

*С помощью других видов горизонтальной разметки обозначают:*

1.16 – островки, разделяющие транспортные потоки, движущиеся в противоположных направлениях (1.16.1) или в одном направлении перед разветвлением дорог (1.16.2) или их слиянием (1.16.3);

1.17 – остановки транспортных средств общего пользования (автобусы, троллейбусы), стоянки автомобилей-такси в населенных пунктах;

1.18 – разрешенные направления движения по полосам проезжей части;

1.19 – приближение к сужению проезжей части или к сплошной линии продольной разметки 1.1 или 1.11;

1.20 и 1.21 – соответственно приближения к поперечной разметке 1.13 и 1.12;

1.22 – номера дороги (маршрута);

1.23 – полосы проезжей части, предназначенной исключительно для движения транспортных средств общего пользования.

*Линиями вертикальной разметки обозначают (рис. 19.5):*

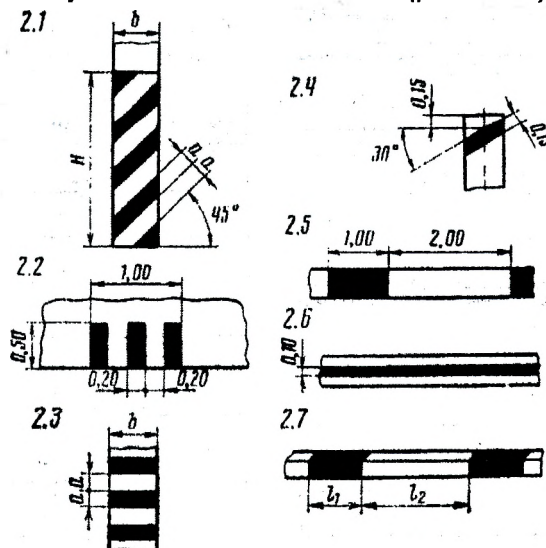


Рис. 19.5. Виды вертикальной разметки

- 2.1 – вертикальные поверхности дорожных сооружений (опор мостов, путепроводов, торцовых частей парапетов и т. п.);
- 2.2 – нижний край пролетных строений тоннелей, путепроводов и мостов;
- 2.3 – круглые тумбы на островках безопасности или разделительных полосах;
- 2.4 – направляющие столбики и стойки тросовых ограждений;
- 2.5 – боковые поверхности ограждений дорог на особо опасных участках;
- 2.6 – боковые поверхности ограждений дорог;
- 2.7 – бордюры на опасных участках и возвышающиеся островки безопасности.

Для горизонтальной разметки используют два цвета: **белый и желтый** (для линий 1.4, 1.10 и 1.17). Вертикальная разметка представляет собой **сочетание полос белого и черного цвета**. На скоростных дорогах разметка должна быть выполнена из световозвращающих материалов. Размеры горизонтальной и вертикальной разметки приведены в табл. 19.1 и на рис. 19.5.

Таблица 19.1. Размеры линий дорожной горизонтальной разметки

Номер разметки	Скорость движения транспортных средств, км/ч						Отношение $l_1/l_2$
	≤ 60			> 60			
	Длина линий, м						
	$l_1$	$l_2$	$\rho$	$l_1$	$l_2$	$\rho$	
1.5	1-3	3-9	–	3-4	9-12	–	1:3
1.6, 1.9, 1.11	3-6	1-2	–	6-9	2-3	–	3:1
1.14	–	–	2,5	–	–	4,0	–

**Примечания.** 1. Под скоростью движения транспортных средств следует понимать: для вновь сооружаемых дорог и улиц значения, соответствующие 0,7 от расчетной скорости; для находящихся в эксплуатации – скорость, которую на данном участке дороги не превышают 85% транспортных средств. 2.  $l_1$  – длина штриха;  $l_2$  – расстояние между штрихами;  $\rho$  – длина штриха разметки 1.14. 3. Штрих  $l_1$  разметки 1.5 длиной 1 м применяют только в населенных пунктах. 4. Меньшая длина штрихов используется в застроенной местности и на дорогах низких категорий.

Линия 1.6 должна иметь общую длину 50 м и более при скорости движения менее или равной 60 км/ч, а при большей скорости – 100 м и более. Прерывистая линия 1.8 на пересечениях и примыканиях должна иметь ширину 0,4 м, а в других случаях — 0,2 м. Отдельные участки сплошных линий продольной разметки 1.1 и 1.11 не должны быть менее 20 м. Расстояние от края проезжей части до линий 1.1 или 1.2 должно быть не более 0,2 м. В конце линий 1.1, обозначающих границы мест стоянки, можно наносить штрихи длиной 0,5 м, а в начале и конце линий запрещения остановки 1.4 или стоянки 1.10 можно наносить короткую поперечную линию длиной 0,2-0,3 м.

Ширину линий и просветов вертикальной разметки 2.1 (см. рис. 19.5) принимают равными:  $a=0,1$  м при  $H<2,0$  м и  $b\leq 0,3$  м;  $a=0,15$  м при  $H<2,0$  м и  $b>0,3$  м;  $a=0,2$  м при  $H\geq 2,0$  м. Если вертикальные поверхности опор мостов, путепроводов, подпорных стен имеют большие размеры, допускается размечать только ближний к проезжей части край на ширину 0,5 м и высоту 2 м.

Ширину линий и просветов вертикальной разметки 2.3 назначают в зависимости от диаметра или ширины грани тумбы, обращенной по направлению к приближающимся транспортным средствам:  $a=0,1$  м при  $b\leq 0,3$  м;  $a=0,15$  м при  $b>0,3$  м.

Разрешенные направления движения на перекрестке рекомендуется указывать водителю с помощью указательных стрел 1.18. При скорости 60 км/ч и менее на каждой полосе должны быть две и более последовательно расположенные стрелы, а при скорости более 60 км/ч – три и более. Расстояние между указательными стрелами принимают равным 20-30 м.

Для обозначения приближения к сужению проезжей части (месту, где уменьшается число полос движения в данном направлении) следует наносить направляющие стрелы 1.19. Такие же стрелы могут быть нанесены перед линией 1.1, разделяющей транспортные потоки противоположных направлений на двухполосных дорогах.

Вне населенных пунктов горизонтальная разметка применяется на дорогах I-а, I-б, II и III категорий и на других дорогах, имеющих проезжую часть шириной 6 м и более при интенсивности движения 1000 авт./сут и более, а также на дорогах с регулярным движением маршрутных транспортных средств. Разметка может наноситься на других до-



рогах, когда это необходимо для обеспечения организации движения и обеспечения его безопасности.

Для горизонтальной разметки проезжей части рекомендуется применять термопластик, нитроэмаль ЭП 51-55, а также искусственные или естественные материалы белого цвета. Термопластик следует использовать в первую очередь на участках дорог с интенсивным движением, где частое возобновление разметки из краски вызывает задержки в движении транспортных средств.

На цементобетонные покрытия не рекомендуется наносить термопластичные массы из-за незначительной долговечности разметки. Для таких покрытий применяют эмаль или пластик, наносимый в холодном состоянии. При попадании линии разметки, разделяющей потоки попутного движения, на продольный шов допускается ее нанесение рядом со швом с левой стороны по ходу движения, а разделяющей потоки встречного направления – с любой стороны на расстоянии не более 0,1 м от шва.

Вертикальную разметку дорожных сооружений и препятствий следует наносить с использованием различных эмалей (ПХВ-1, ХСЭ-1, ХФК и др.).

### 19.3. Направляющие устройства

Направляющие устройства предназначены для указания водителю изменения направления движения, расположения границ проезжей части и обочин, протяженности и формы опасных участков дороги или дорожных сооружений преимущественно в темное время суток и при неблагоприятных погодных условиях. Направляющие устройства не должны наносить серьезных повреждений автомобилям и каких-либо травм участникам движения при случайном наезде на них.

**К направляющим устройствам относят:**

- 1) направляющие столбики;
- 2) световые тумбы с проблесковыми или постоянными огнями;
- 3) плитки, кнопки и устройства со световозвращающими элементами, закрепляемые на проезжей части и дорожных сооружениях;
- 4) переносные барьеры, стойки, щиты, конусы и вехи, применяемые в местах проведения дорожных работ;
- 5) направляющие островки и островки безопасности.

*Направляющие столбики* изготавливают из железобетона (железобетонные тумбы), дерева, стальных листов, изогнутых в форме уголка, или пластических материалов (полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида), обладающих ударопрочной вязкостью. На корпусе направляющего столбика, окрашиваемого в белый цвет, должна быть нанесена наклонная черная полоса вертикальной разметки, в пределах которой устанавливают световозвращающие элементы (полоски из пленки или катафоты) с двух сторон столбика, обращенных навстречу движению транспортных средств. На столбике устанавливают световозвращающие элементы двух цветов: красного – для обозначения правой стороны дороги (по направлению движения транспортных средств) и белого – для обозначения левой стороны дороги. Столбики должны быть достаточно прочными, чтобы противостоять попыткам умышленного их разрушения (ощутимый поперечный изгиб столбика должен быть обеспечен только при воздействии нагрузки не менее 1 кН, приложенной на высоте 0,8-1,0 м).

*Направляющие столбики устанавливают* на обочине, ближе к бровке земляного полотна, но не менее чем на 0,35 м от нее. При этом нельзя приближать столбик к проезжей части на расстояние менее 0,75 м при отсутствии бордюра и менее 0,15 м – при наличии. На разделительной полосе установка столбиков не рекомендуется из-за возникновения эффекта перемещающихся теней при освещении столбиков светом фар встречных автомобилей. Высота направляющих столбиков и сигнальных тумб должна быть 0,75-0,80 м, в особых случаях – до 1,1 м.

В соответствии с требованиями СТБ 1300-2002 **направляющие (сигнальные) столбики следует устанавливать** на дорогах, не имеющих стационарного искусственного освещения, при условиях, когда не требуется установка ограждений первой группы:

– в пределах закруглений дорог в продольном профиле и на подходах к закруглению (по три столбика с каждой стороны дороги) при высоте насыпи не менее 2 м и интенсивности движения не менее 2000 авт./сут – на расстояниях, указанных в табл. 19.2 (рис. 19.6);

Таблица 19.2. Установка направляющих столбиков на закруглениях дороги в продольном профиле

Радиус кривой в продольном профиле, м	Расстояние между столбиками в пределах кривой $l_0$ , м	Расстояние между столбиками на подходах к закруглению, м			Радиус кривой в продольном профиле, м	Расстояние между столбиками в пределах кривой $l_0$ , м	Расстояние между столбиками на подходах к закруглению, м		
		$l_1$	$l_2$	$l_3$			$l_1$	$l_2$	$l_3$
100	5	8	17	34	2000	25	40	50	50
200	7	12	23	47	3000	30	47	50	50
300	9	15	30	50	4000	35	50	50	50
400	11	17	33	50	5000	40	50	50	50
500	12	19	37	50	6000	45	50	50	50
1000	17	27	50	50	8000	50	50	50	50

Примечание. При промежуточных значениях радиусов кривых в продольном профиле, кратных 50 м, значения расстояний между столбиками следует определять интерполяцией.

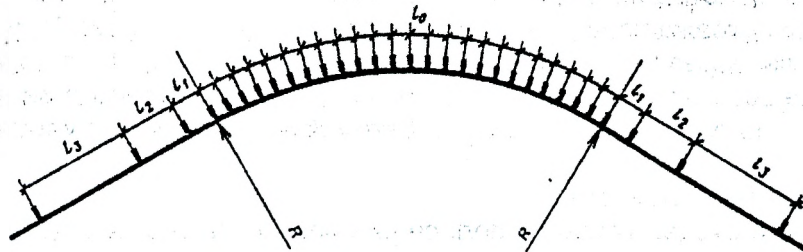


Рис. 19.6. Установка направляющих столбиков в продольном профиле

– в пределах закруглений дорог в плане и на подходах к закруглению (по три столбика с каждой стороны дороги) при высоте насыпи не менее 1,0 м – на расстояниях, указанных в табл. 19.3 (рис. 19.7);

Таблица 19.3. Установка направляющих столбиков на закруглениях дороги в плане

Радиус кривой в плане, м	Расстояние между столбиками в пределах кривой		Расстояние между столбиками на подходах к кривой		
	на внешней стороне кривой $l_0$ , м	на внутренней стороне кривой $l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$l_4$ , м
20	3	6	6	10	20
30	3	6	7	11	21
40	4	8	9	15	31
50	5	10	12	20	40
100	10	20	25	42	50
200	15	30	30	45	50
300	20	40	36	50	50
400	30	50	50	50	50
500	40	50	50	50	50
600 и более	50	50	50	50	50

Примечание. При промежуточных значениях радиусов кривых в плане, кратных 5 м, значения расстояний между столбиками следует определять интерполяцией.

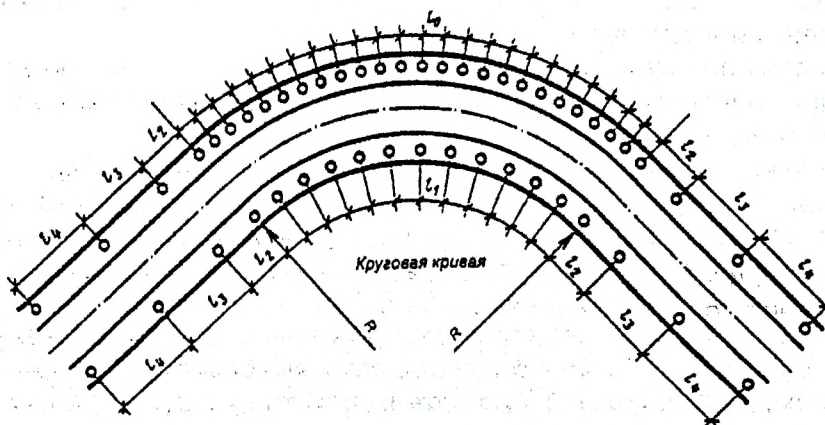


Рис. 19.7. Установка направляющих столбиков в плане



– на прямолинейных участках дорог при высоте насыпи не менее 2,0 м и интенсивности движения не менее 2000 авт/сут – через 100 м;

– в пределах закруглений на пересечениях и примыканиях дорог в одном уровне – на расстояниях, указанных в табл. 19.3 для внешней стороны закруглений;

– на дорогах, расположенных в 15 м и менее от болот и водотоков глубиной более 1 м при паводке продолжительностью 15 сут. и более с 10% вероятностью превышения – через 20 м;

– у мостов и путепроводов перед и после ограждений, установленных на подходах к сооружению, по три столбика с двух сторон дороги до и после сооружения – на расстоянии 10 м;

– у водопропускных труб по одному столбику с каждой стороны дороги вдоль оси трубы и по три столбика с двух сторон дороги до и после сооружения – на расстоянии 10 м;

– между транспортными развязками на всем протяжении участков дорог I-а и I-б категорий, не имеющих ограждающих устройств проезжей части – через 50 м. Допускается устанавливать столбики через 100 м при наличии на них световозвращающих элементов.

*Сигнальные световые тумбы с постоянными или проблесковыми огнями* применяют преимущественно на освещенных участках автомобильных дорог и улиц для указания водителям:

- островков безопасности;
- разрывов в разделительной полосе для разворота транспортных средств;
- начала рампового участка тоннеля;
- расположения пешеходных переходов, опор путепроводов и возвышающихся над проезжей частью массивных блоков островков безопасности на пешеходных переходах.

Металлические, керамические, пластмассовые *кнопки, плитки и устройства* применяют для *улучшения видимости линий продольной разметки* в темное время суток и в дождливую погоду. В них могут быть использованы световозвращающие элементы. *Плитки и кнопки приклеивают* на поверхность покрытия или встраивают в проезжую часть таким образом, что они возвышаются над поверхностью покрытия. Они должны быть надежно закреплены на покрытии для противостояния воздействию отвалов снегоочистительных машин.

*Различные устройства со световозвращающими элементами* устанавливаются на ограждениях, торцовых частях перил мостов и путепроводов, железнодорожных шлагбаумах и габаритных воротах, островках безопасности. Они позволяют улучшить видимость в ночное время, рельефнее очертить контуры сооружения и привлечь внимание водителя к опасной зоне.

В зимний период в целях ориентирования водителей о месте их нахождения устанавливают *сигнальные вехи* на расстоянии 0,3 м от бровки земляного полотна с внешней стороны. Высота указательных вех должна быть 1,5-2,0 м, диаметр – 0,02-0,05 м. Они окрашиваются чередующимися полосами белого и красного цвета шириной 0,20 м. На дорогах I и II категорий указательные вехи должны иметь световозвращающие элементы.

*Направляющие островки* предназначены для разделения движения транспортных потоков по направлениям и устанавливаются на:

- перекрестках при суммарной интенсивности не менее 1000 авт./сут и доле поворачивающих транспортных средств 10% и более на дорогах вне населенных пунктов и 20% и более – на городских дорогах;
- перекрестках, имеющих сложную и нестандартную планировку.

Направляющие островки, площадь которых превышает 10 м<sup>2</sup>, следует устраивать приподнятыми над проезжей частью для возможности установки на них дорожных знаков и светофоров, ограждений и т.п. Расстояние от края приподнятого островка до границы ближайшей полосы движения должно составлять 0,50-0,75 м.

*Островки безопасности* предназначены для выделения на проезжей части зон для остановки пешеходов. Вне населенных пунктов островки безопасности должны устраиваться на наземных пешеходных переходах при интенсивности движения транспортных средств не менее 400 авт./ч на одну полосу проезжей части и большом количестве полос движения (4 и более). В населенных пунктах приподнятые над проезжей частью островки безопасности должны устанавливаться на наземных пешеходных переходах через проезжую часть дороги

с разделительной полосой как конструктивным элементом или при количестве полос движения в обоих направлениях более пяти.

Направляющие островки и островки безопасности устраивают в одном уровне с проезжей частью или приподнятой над ней. При устройстве островков в одном уровне с проезжей частью их местоположение определяется горизонтальной разметкой. Ширина выделенного разметкой островка должна быть не менее 1,5 м, а длина – не менее ширины пешеходного перехода. Приподнятые над проезжей частью островки должны иметь высоту 0,05-0,20 м. Вне населенных пунктов приподнятые над проезжей частью островки, как защитные элементы (рефюжи), устраивают высотой 0,05-0,15 м, в населенных пунктах – 0,15-0,20 м. Ширина приподнятого островка должна быть не менее 2,0 м. Длина пешеходной части островка безопасности, на которой не должны располагаться опоры дорожных знаков и светофоров, должна быть не менее ширины пешеходного перехода.

#### 19.4. Дорожные ограждения

Дорожные ограждения устанавливают для предотвращения:

- 1) непредвиденных съездов автомобилей с откосов насыпей;
- 2) падения с мостов, путепроводов и эстакад;
- 3) переездов разделительной полосы;
- 4) наездов на массивные препятствия;
- 5) для упорядочения движения пешеходов.

По функциональному назначению конструкции дорожных ограждений **разделяют на две группы:**

1) конструкции, рассчитанные на **силовое воздействие** транспортных средств. Форма и размеры элементов этих конструкций обусловлены требованиями удерживания транспортных средств на проезжей части, обочине или разделительной полосе с допустимым воздействием инерционных сил на водителей и пассажиров;

2) конструкции, предназначенные для **регулирования движения пешеходов.**

По условиям взаимодействия автомобиля и ограждения конструкции ограждений первой группы разделяют на два вида: **направляющие и останавливающие.**

**Направляющие ограждения** устанавливают вдоль оси дороги на обочине, разделительной полосе или у края проезжей части моста (путепровода) и рассчитывают на противодействие скользящим ударам автомобилей (угол наезда на ограждение до 30°). **Останавливающие ограждения**, получившие широкое распространение за рубежом, рассчитывают на фронтальный удар автомобиля (угол наезда 90°) и устанавливают на участках дорог, где направляющие ограждения не могут удержать автомобиль от падения с моста, высокой насыпи или ослабить удар о массивное неподвижное препятствие.

По конструктивному исполнению направляющие ограждения первой группы разделяют на несколько типов: **барьерные, парпетные, бордюрные и комбинированные.**

Ограждения барьерного типа включают следующие элементы:

- железобетонные брусья, закрепленные на железобетонных стойках (рис. 19.8а);

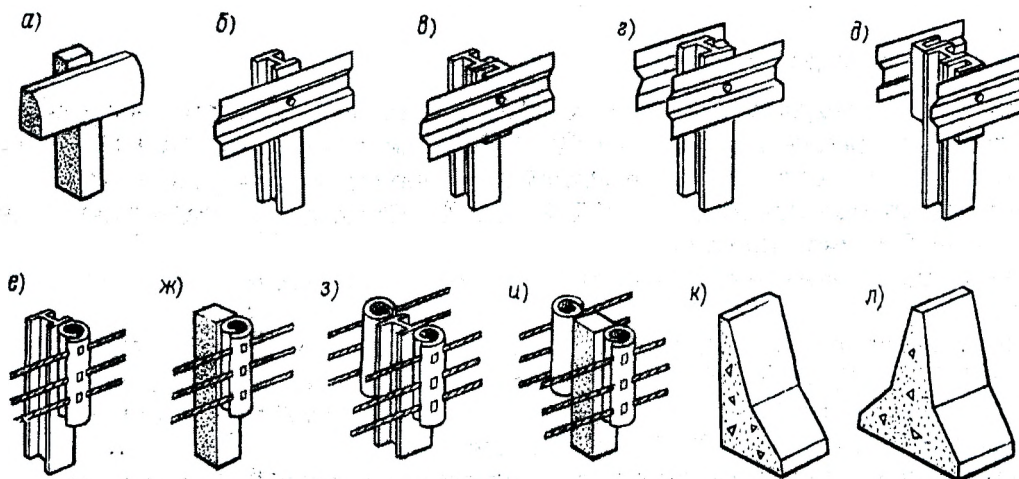


Рис. 19.8. Направляющие ограждения первой группы



- металлические профилированные планки, прикрепленные к амортизаторам (консолям), установленным на металлических, железобетонных или деревянных стойках (рис. 19.8б, в, г, д);
- стальные тросы, пропущенные через амортизаторы из листовой стали, которые закреплены на металлических или железобетонных стойках (рис. 19.8е, ж, з, и).

Барьерные ограждения из листовой стали на стальных стойках имеют несколько модификаций, рассчитанных на применение на мостах (путепроводах). Эти модификации объединяют одним термином «*мостовые ограждения*».

К *ограждениям парапетного типа* относят железобетонные блоки со специальной формой поперечного сечения (рис. 19.8к, л) и блоки прямоугольной формы из бетона и бутобетона.

К *бордюрным ограждениям* относят конструкции, применяемые на мостах и путепроводах при ограниченных габаритах проезжей части. Их изготавливают из отдельных железобетонных блоков (или камней) и закрепляют у тротуара, заглубляя в слой дорожной одежды.

К *комбинированным ограждениям* относят конструкции, в состав которых входят элементы барьерных, парапетных или бордюрных ограждений, а также ограждений второй группы.

Для регулирования движения пешеходов применяют конструкции *перильного типа* (рис. 19.9а, б, в, г, д) из стальных труб и цепей, а также сетки (рис. 19.9е). На автомобильных дорогах вне населенных пунктов рекомендуется применять перильные конструкции с двумя продольными элементами (рис. 19.9в, г) и сетки. В населенных пунктах допускается применение ограждений, показанных на рис. 19.9а, б, д.

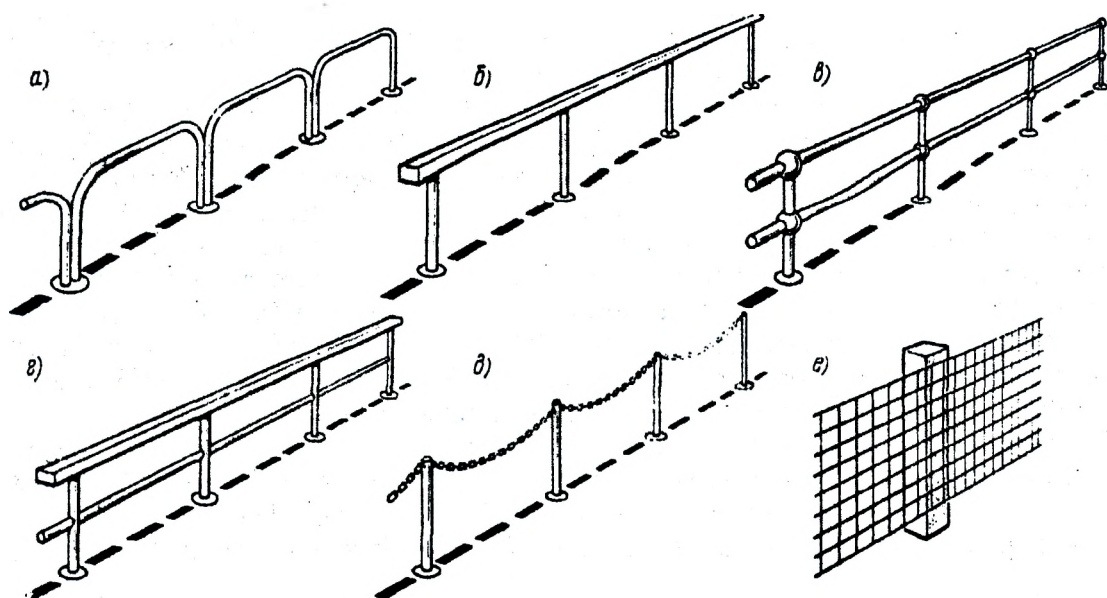


Рис. 19.9. Ограждения второй группы

Конструкции ограждений и схемы их установки следует выбирать в соответствии с типовыми проектными решениями 3.503.1-89 «Ограждения на автомобильных дорогах», «Проезжая часть, тротуары, водоотводные устройства, перила и ограждения мостов и путепроводов на автомобильных дорогах» и ГОСТ 26804-86 «Ограждения дорожные металлические барьерного типа. Технические условия».

*Направляющие ограждения барьерного типа должны соответствовать следующим основным требованиям:*

- 1) иметь достаточную податливость для достижения расчетного прогиба ограждения 0,5-1,25 м и ограничения инерционных перегрузок (в долях от ускорения свободного падения), измеренных около центра масс автомобиля (продольная перегрузка – не более 12, поперечная – 9, вертикальная – 10);
- 2) плавно корректировать траекторию движения автомобиля таким образом, чтобы угол его отхода от ограждения составлял не более 0,6 от угла наезда;

3) не вызывать потери устойчивости автомобиля против опрокидывания при его контакте с ограждением.

Однако эти требования не могут быть выполнены при больших значениях скорости и угла наезда автомобиля. Приходится ограничивать область использования той или иной конструкции ограждения с учетом ее работоспособности.

Работоспособность конструкции ограждения можно установить, определяя показатель соответствия ограждения функциональным критериям по специальной методике с учетом фактических скоростей расчетных моделей автомобилей, а также расчетных и допустимых углов наезда автомобилей на ограждения. В СССР допустимые углы наезда для разных скоростей движения расчетных автомобилей (ЗАЗ-968, ВАЗ-2101, ГАЗ-24, ЗИЛ ММЗ-555, ЛАЗ-697) были установлены на основе полномасштабных испытаний ограждений на полигоне и математического моделирования процесса удара.

Ограждения из стальных планок в наибольшей степени отвечают требованиям обеспечения безопасности. Планки, имеющие W-образную форму поперечного сечения, закрепляют к жесткой консоли, а консоль – к швеллеру № 12 (рис. 19.10). Разработаны четыре модификации конструкции дорожного одностороннего ограждения с шагом стоек соответственно 1 м, 2 м, 3 м, 4 м (по ГОСТ 26804-86).

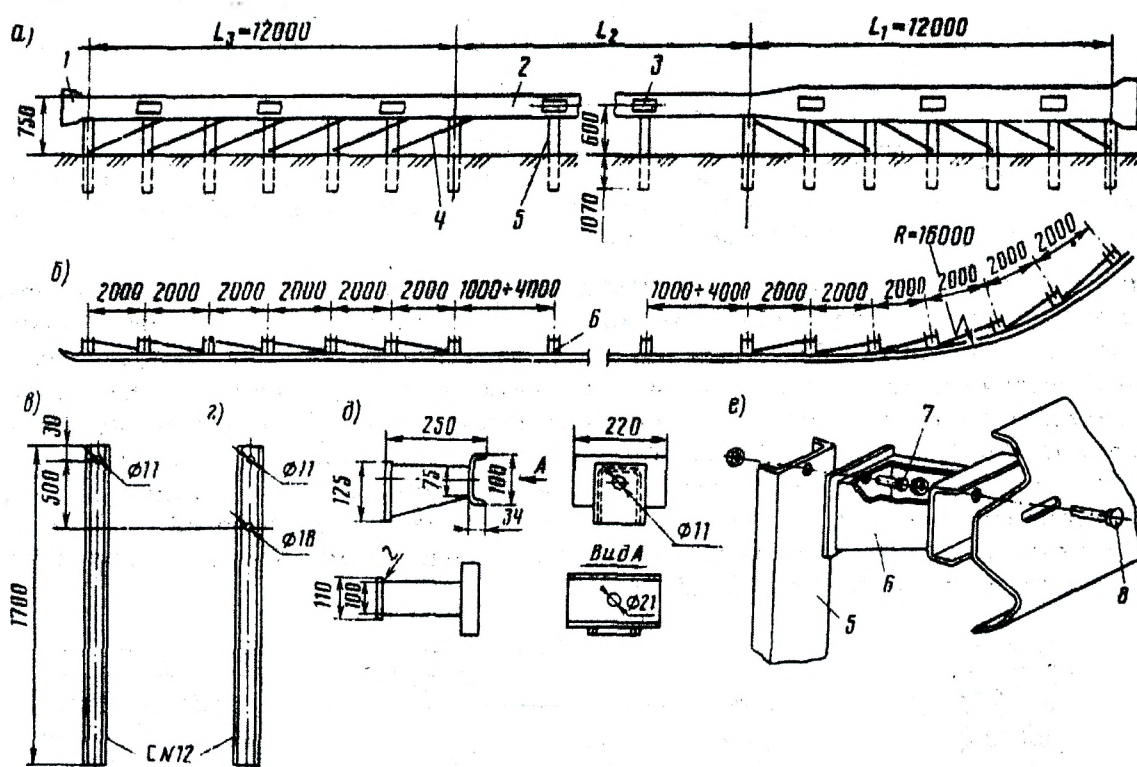


Рис. 19.10. Металлическое одностороннее ограждение (ГОСТ 26804-86): а – фасад; б – план; в – стойка для рабочего участка; г – стойка для начального и конечного участков; д – жесткая консоль; е – соединение планки со стойкой;  $L_1$  – начальный участок;  $L_2$  – рабочий участок;  $L_3$  – конечный участок; 1 – концевой элемент; 2 – планка; 3 – световозвращающий элемент; 4 – диагональная связь; 5 – стойка; 6 – жесткая консоль; 7 – болт М10; 8 – болт М16

Принцип работы этих конструкций заключается в следующем: при наезде автомобиля на ограждение основную нагрузку воспринимает планка, а стойки, на которые передается часть нагрузки, деформируются. При угле наклона стойки около  $35^\circ$  происходит отделение от нее жесткой консоли, и это дает возможность сохранить вертикальное положение планки и предотвратить ее опускание к земле, вызывающее опрокидывание автомобиля через ограждение. Для обеспечения работы планки в момент удара по принципу «натянутой нити» предусмотрено устройство начального и конечного участков ограждения, в пределах которых шаг стоек принят 2 м (длина каждого участка 12 м).

Для установки на разделительной полосе ГОСТ 26804-86 предусматривает двустороннее барьерное ограждение (рис. 19.11).



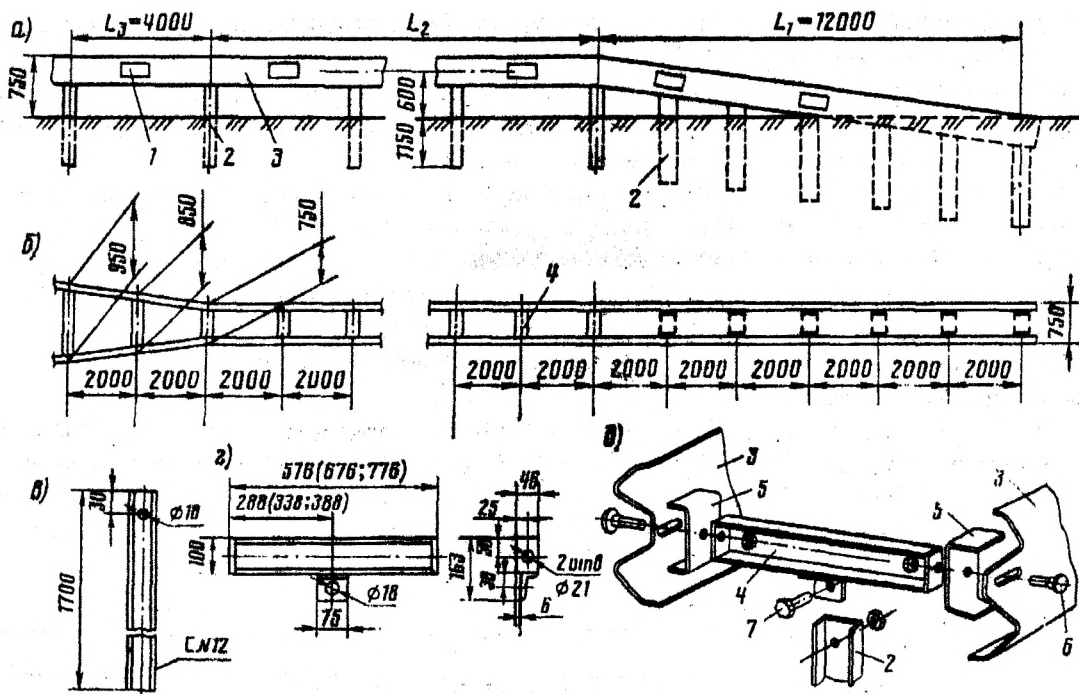


Рис. 19.11. Металлическое двустороннее ограждение (ГОСТ 26804-86): а – фасад; б – план; в – конструкция стойки; г – консоль-распорка; д – соединение балок со стойкой; L1 – начальный участок; L2 – рабочий участок; L3 – переходный участок; 1 – световозвращающий элемент; 2 – стойка; 3 – планка; 4 – консоль-распорка; 5 – скоба; 6, 7 – болты М16

Высокие эксплуатационные показатели этих односторонних и двусторонних ограждений достигнуты за счет ослабления жесткости стоек, обеспечения натяжения планки, отделения консоли с планкой от стойки яри ударе и увеличения расстояния между краем стойки и бровкой земляного полотна для обеспечения расчетного поперечного прогиба ограждения.

Примерно такие же эксплуатационные показатели имеют и барьерные ограждения, состоящие из стойки (двутавр № 16), консоли (швеллер № 14) и стальной планки (рис. 19.12а), если предусмотреть в типовом проекте отделение консоли с планкой во время удара. Закрепление планок к амортизаторам и последних – к деревянным и железобетонным стойкам менее эффективно, чем к металлическим, но ради экономии металла и эти конструктивные решения используют часто (рис. 19.12б, в).

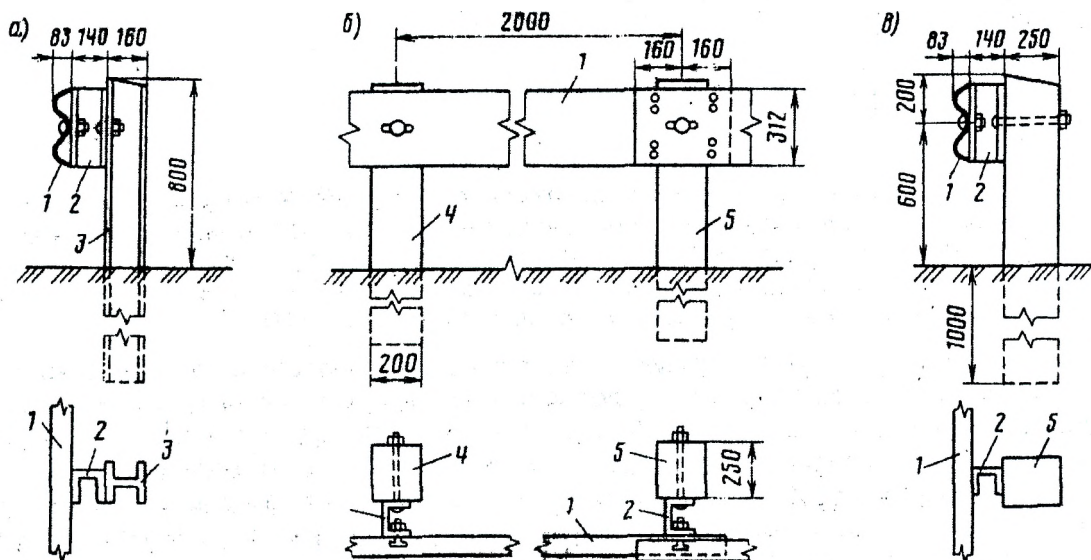


Рис. 19.12. Барьерное ограждение из стальных планок, закрепленных через амортизаторы к стойкам (типовой проект 3.503.1-89): а – к металлическим; б, в – к железобетонным; 1 – планка; 2 – амортизатор; 3 – металлическая стойка; 4 – промежуточная железобетонная стойка; 5 – основная железобетонная стойка

Ограждения из стальных тросов диаметром 19,5 мм устанавливают преимущественно на прямолинейных участках дорог (рис. 19.13). Стальные тросы пропускают через амортизатор-рессору из листовой стали, прикрепленную к стойкам. На концах участков ограждений устанавливают стойки специальной конструкции и устраивают анкерное закрепление тросов. При натяжении каждого троса с усилием 50 кН требуется установка трех тросов. Два троса допускается применять, если усилие натяжения составляет 100 кН. *Основной недостаток этих ограждений – резкое снижение их работоспособности при провисании тросов.* Поэтому за рубежом такие ограждения постепенно убирают с дорог, так как их эксплуатация обходится довольно дорого.

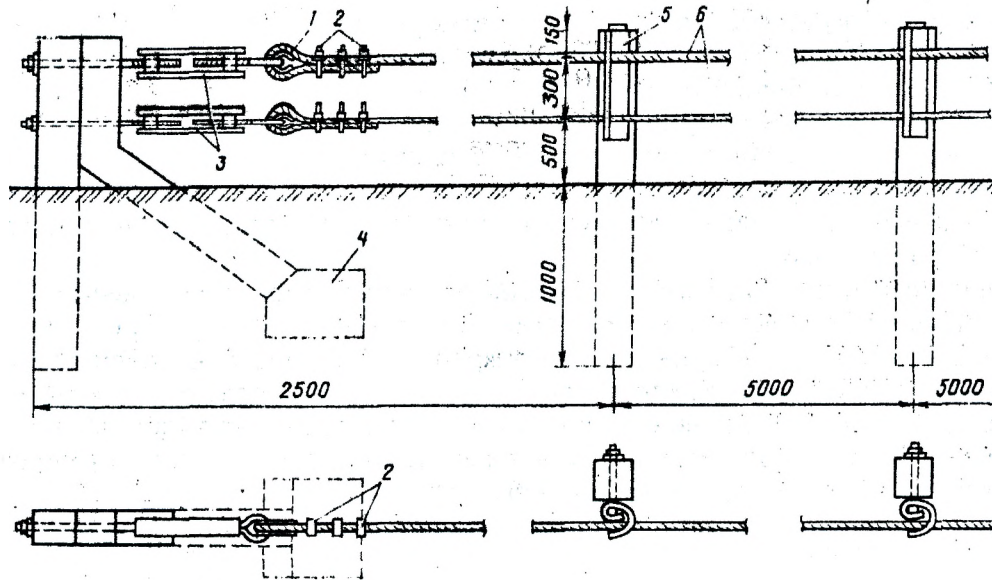


Рис. 19.13. Ограждение из стальных тросов, закрепленных через амортизаторы на железобетонных стойках: 1 – коуш; 2 – сжимы; 3 – натягивающее устройство; 4 – упор; 5 – амортизатор; 6 – трос

Железобетонные барьерные ограждения состоят из брусьев длиной 2,49 м, которые закрепляют на стойках, сваривая между собой закладные детали (рис. 19.14а, в) или соединяя брусья Т-образными болтами диаметром 22 мм (рис. 19.14б, г).

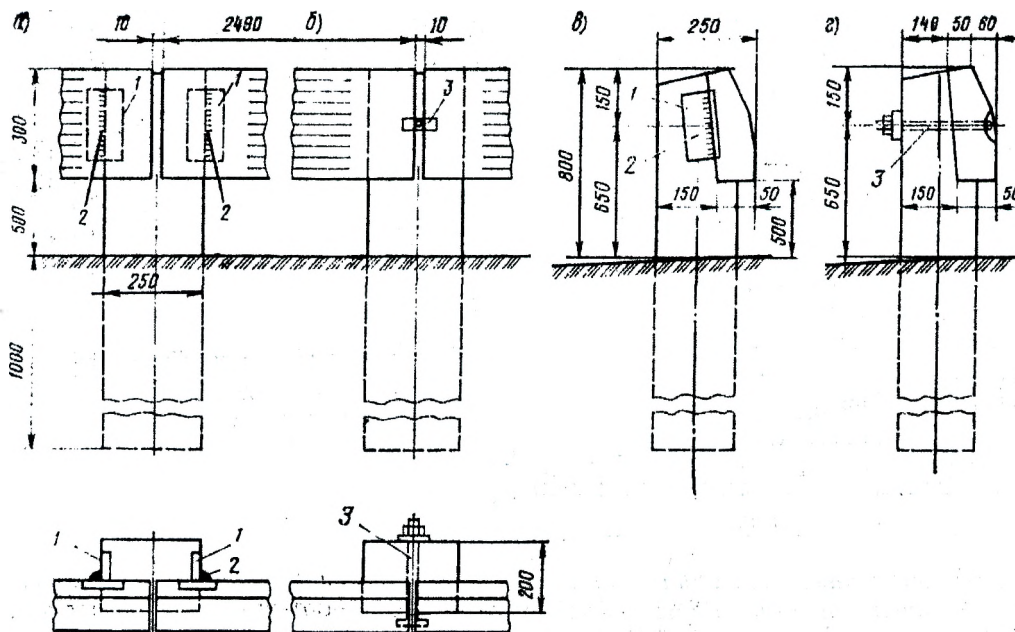


Рис. 19.14. Железобетонное барьерное ограждение: а, в – соединение балок и стоек с помощью сварки; б, г – соединение с помощью стальных болтов; 1 – закладной элемент; 2 – сварной шов; 3 – болт



На подходах к мостам устанавливают брусья повышенной прочности и располагают их на трех стойках с шагом 1,25 м. Промежуточную стойку устанавливают посередине между основными стойками. На начальном и конечном участке ограждения применяют брусья, имеющие в плане криволинейную форму.

Однако необходимо иметь в виду, что сварные швы и Т-образные болты не выдерживают современных эксплуатационных нагрузок. Вся конструкция работает удовлетворительно, когда скорость наезда грузового автомобиля на ограждение не превышает 40 км/ч (угол наезда до 20°). Поэтому такие ограждения допустимо применять только на дорогах низких категорий (III-IV). В последние годы все большее распространение получают железобетонные ограждения парапетного типа (монолитные и сборные). Монолитные ограждения изготавливают непосредственно на дороге, используя жесткую бетонную смесь и специальную бетоноукладочную машину со скользящей опалубкой. Сборные ограждения конструируют в виде блоков длиной 3, 6 или 9 м. Применяют несколько разновидностей стыков соединений блоков, но лучше зарекомендовали себя те, которые имеют повышенную жесткость и обеспечивают минимальную деформацию ограждения.

В отличие от барьерных, ограждения парапетного типа рассчитаны на удержание автомобиля в результате изменения наклона его поперечной оси, а также силового воздействия на колеса и подвеску.

В поперечном сечении парапетные ограждения имеют форму ступенчатой трапеции и рассчитаны на одностороннее (см. рис. 19.8к) или двустороннее (см. рис. 19.8л) силовое воздействие автомобилей. Сборные блоки закрепляют к железобетонной плите штырями (рис. 19.15а), а монолитные ограждения заглубляют в слои дорожной одежды или грунт на 200 мм (рис. 19.15б). Во избежание удара автомобиля о торец ограждения начальные и конечные блоки изготавливают с наклонной верхней гранью (рис. 19.15в). Армирование блоков выполняют с учетом эксплуатационных нагрузок.

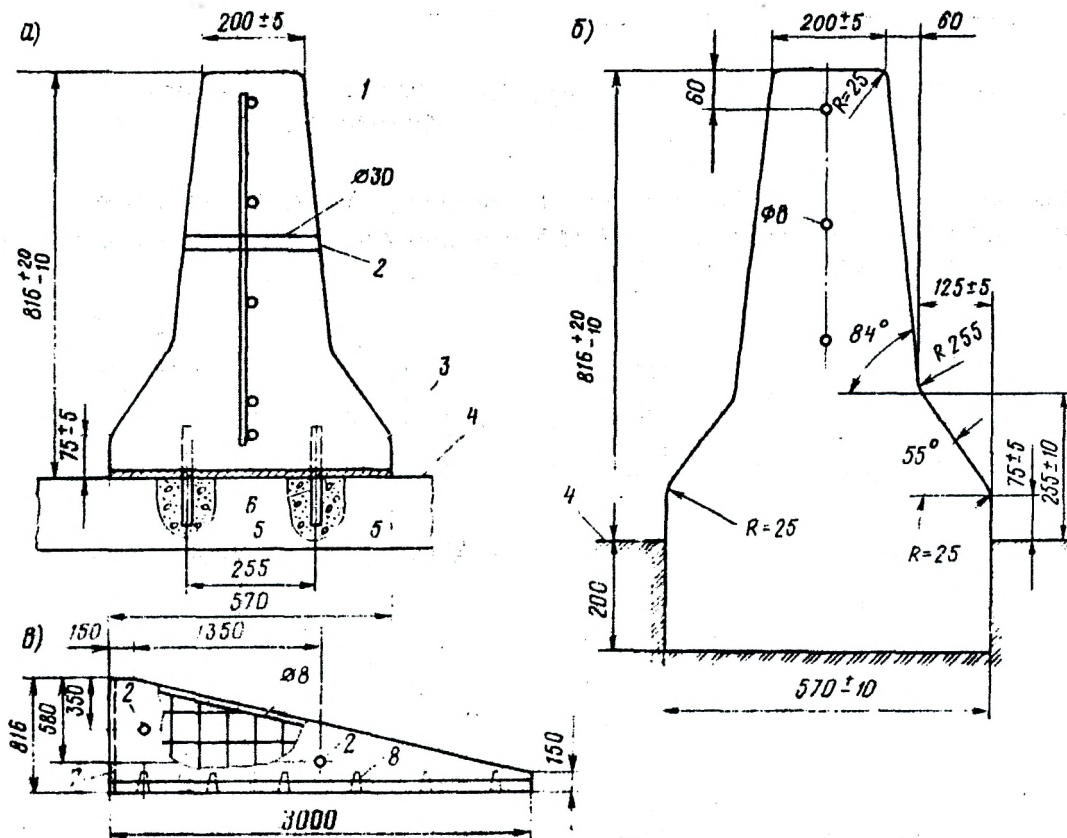


Рис. 19.15. Железобетонные ограждения парапетного типа: а – сборное; б – монолитное; в – концевой блок; 1 – арматурная сетка (диаметр стержней 8 мм); 2 – отверстие для пропускания монтажных тросов; 3 – цементный раствор толщиной 10 мм; 4 – уровень дорожного покрытия; 5 – заполнение отверстий песчаным бетоном или цементным раствором; 6 – стальной штырь размером 25x200 мм; 7 – паз для соединения блоков; 8 – углубление в блоке для размещения штырей

Из-за большой жесткости *парапетного ограждения* автомобиля при наездах получают значительные повреждения. При скорости движения 90 км/ч и угле наезда 25° легковые автомобили опрокидываются, а грузовые автомобили разрушают ограждение. В некоторых случаях грузовые автомобили и автобусы опрокидывались над ограждением из-за его недостаточной высоты (0,8 м). Поэтому для того, чтобы удержать от съезда с дороги большегрузный автомобиль, например автомобиль-цистерну массой 36 т (скорость движения 80 км/ч, угол наезда 15°), требуется усиливать фундамент ограждения, применяя специальные железобетонные стойки, заглубленные в грунт на 2 м, и увеличивать высоту ограждения до 2 м.

Учитывая отмеченные недостатки ограждений парапетного типа, *их область применения ограничивается узкими разделительными полосами и мостами (путепроводами)*. На горных дорогах их применение должно сопровождаться более надежным закреплением блоков к основанию, возвышением верхней грани блока над обочиной на 1,1 м, совершенствованием конструкций соединительных узлов.

Кроме направляющих ограждений, на дорогах все большее распространение получают *амортизирующие устройства*, рассчитанные на полное рассеивание кинетической энергии автомобиля при фронтальном ударе. Эту группу защитных устройств называют *останавливающими ограждениями*. Наиболее приемлемой конструкцией является ограждение из пустых стальных бочек, связанных в одну группу (рис. 19.16).

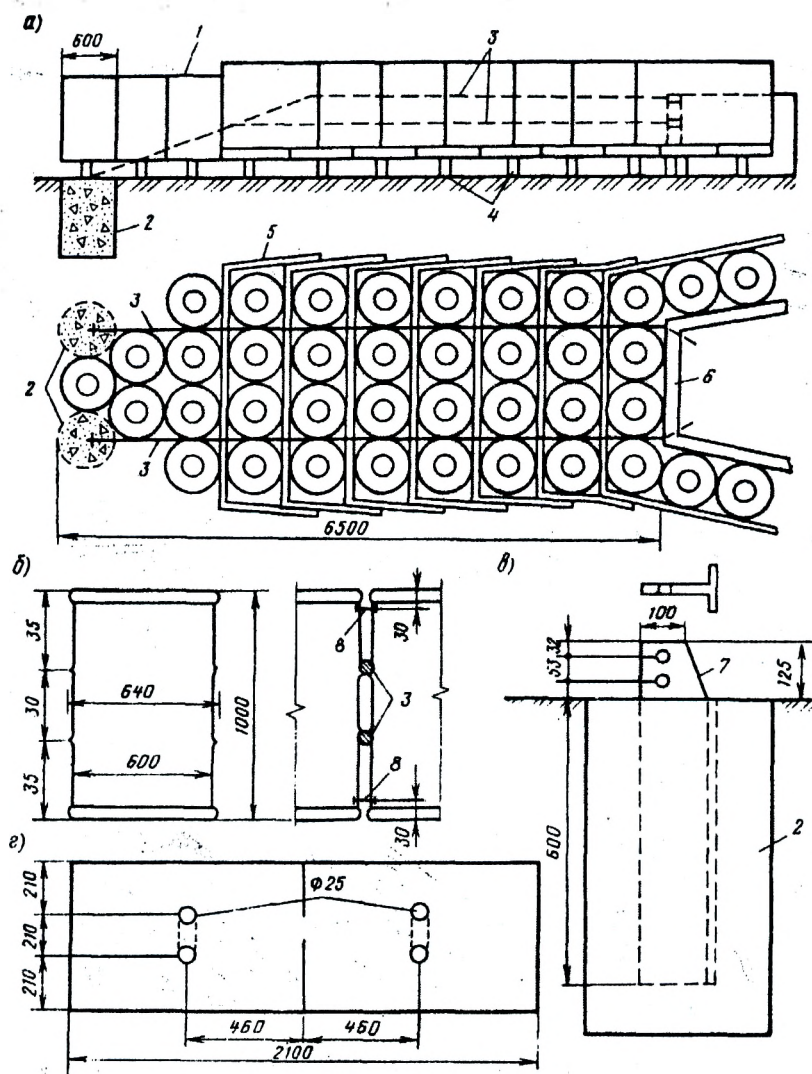


Рис. 19.16. Останавливающее ограждение из стальных бочек: а – фасад и план; б – соединение бочек; в – железобетонный анкерный блок; г – перегородка между секциями; 1 – бочка с отверстиями в крышке и днище; 2 – цементобетон; 3 – стальной трос  $d=20$  мм; 4 – пара скоб, приваренных к днищу бочки; 5 – боковая панель; 6 – массивная железобетонная стенка перед препятствием; 7 – стальной тавр; 8 – болтовое соединение



Бочки с отверстиями, сделанными в верхнем и нижнем днищах, скрепляют между собой болтами; между продольными рядами натягивают стальные тросы диаметром 16 мм, закрепленные с одной стороны к массивному препятствию, а с другой к анкерному железобетонному блоку, установленному в грунт перед ограждением. Ограждение по периметру закрывают листовым металлом и окрашивают наклонными линиями вертикальной разметки. Требуемое число бочек для рассеивания энергии удара зависит от скорости движения и полной массы расчетного автомобиля.

Остывающие ограждения рекомендуется применять:

- на разветвлении автомобильных дорог в пределах клиновидной зоны, образующейся между двумя проезжими частями;
- у мостов (путепроводов) (рис. 19.17а, б);
- на высоких насыпях у водопропускных труб (рис. 19.17в);
- у зданий и массивных сооружений (рис. 19.17г);
- перед концевой частью подпорных стенок (рис. 19.17д);
- у массивных опор информационно-указательных знаков (рис. 19.17е);
- опор снегозащитных галерей, селепроводов при наличии параллельной дороги при движении в летнее время (рис. 19.17ж);
- напротив примыкающей дороги, расположенной на крутом спуске, перед опорой путепровода или другим массивным препятствием (например, опорой высоковольтной линии электропередачи), расположенным на внешней стороне закругления дороги в плане (рис. 19.17з, и, к);
- у концевых участков ограждений, обращенных торцом к направлению движения, в начале разделительной полосы (рис. 19.17л);

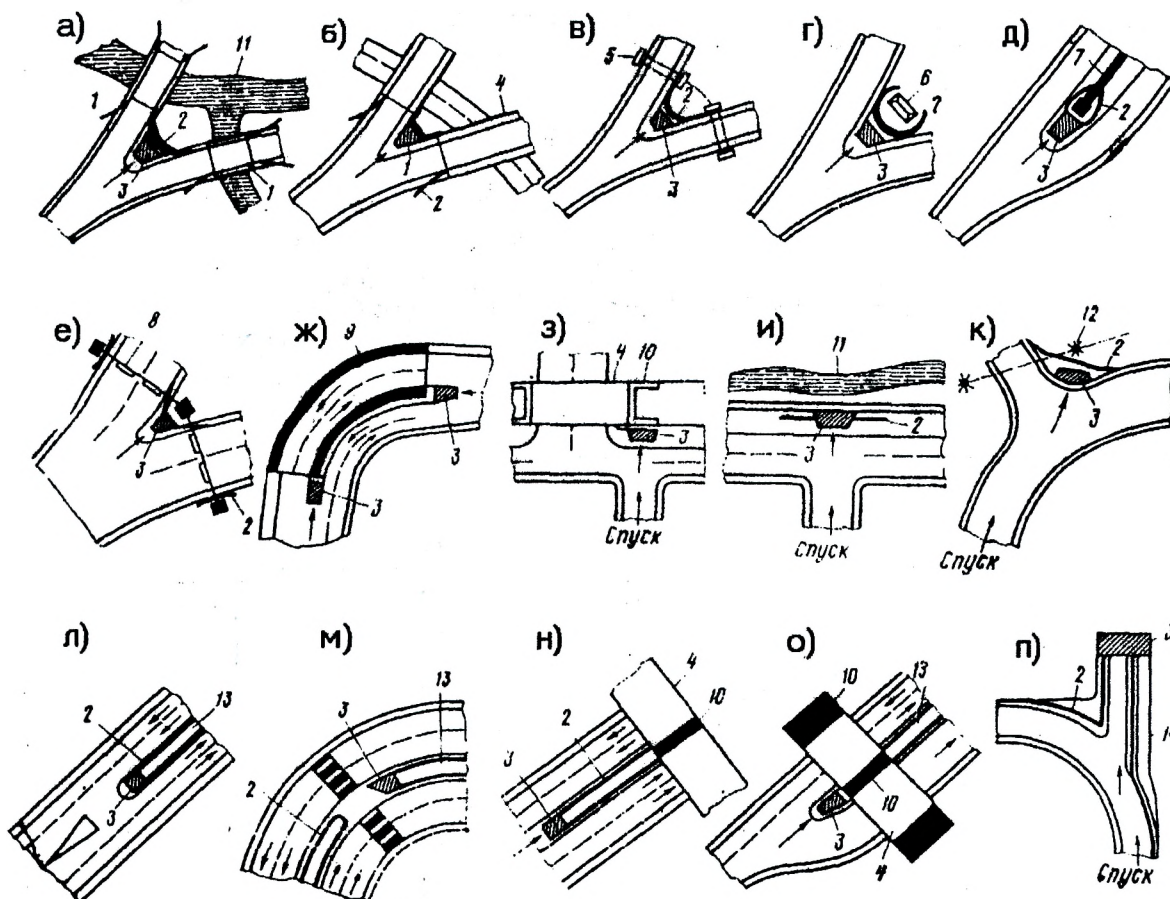


Рис. 19.17. Размещение ограждений первой группы у препятствий и на опасных участках дорог: 1 – мост; 2 – направляющие ограждения; 3 – останавливающие ограждения; 4 – путепровод; 5 – водопропускная труба; 6 – здание; 7 – подпорная стена; 8 – рамная опора информационно-указательных знаков; 9 – тоннель, селепровод или снегозащитная галерея; 10 – опора путепровода; 11 – река; 12 – опора высоковольтных линий электропередачи; 13 – разделительная полоса; 14 – противонаварийный съезд

- у мест разрыва ограждений для пропуска пешеходов, поворота и разворота транспортных средств (рис. 19.17м);
- у опор путепроводов на участках, где размеры островка безопасности недостаточны для установки направляющего ограждения требуемой длины (рис. 19.17н, о);
- на затяжных крутых спусках в горной и пересеченной местностях вместо противонаварийных съездов или в дополнении к ним при ограниченной длине съездов (рис. 19.17п). Их располагают на расстоянии не менее 1 м от края проезжей части.

В соответствии с требованиями СТБ 1300-2002 **ограждения первой группы следует устанавливать:**

- на мостах, путепроводах, эстакадах;
- на подходах к искусственным сооружениям в пределах длины участков дороги с высотой насыпи 3 м и более, а при меньшей высоте насыпи – на расстоянии не менее 18 м в каждую сторону от начала и конца сооружения, если длина искусственного сооружения превышает 10 м;
- в населенных пунктах на центральной разделительной полосе скоростных дорог шириной, не превышающей 4 м;
- вне населенных пунктов на разделительной полосе автомобильных дорог при условиях, указанных в табл. 19.4;

Таблица 19.4. Условия размещения ограждений на разделительных полосах

Число полос движения в обоих направлениях	Наличие на разделительной полосе опор освещения	Перспективная интенсивность движения, тыс. авт/сут, при ширине разделительной полосы, м	
		3-4	5-6
4	Отсутствуют	15	20
	Имеются	10	15
6	Отсутствуют	20	30
	Имеются	15	25

**Примечания.** 1. При установке дорожных ограждений и направляющих устройств перспективная интенсивность движения рассчитана на пятилетний период. 2. При проектировании новых дорог ограждения следует устанавливать независимо от интенсивности движения, если в проекте предусмотрено размещение опор освещения на разделительной полосе шириной 5-6 м.

- на разделительной полосе при размещении в пределах контролируемой зоны объектов дорожного сервиса, которые расположены друг напротив друга или смещены вдоль оси дороги на расстояние менее 500 м. Если расстояние между соседними участками ограждений составляет менее 20 м, то эти участки следует объединять;
- на обочинах дорог в пределах насыпей с откосами круче 1:3 при условиях, указанных в табл. 19.5;

Таблица 19.5. Условия размещения дорожных ограждений на обочинах

Участок автомобильных дорог	Продольный уклон, ‰	Минимальная высота насыпи, м, при перспективной интенсивности движения, авт/сут, не менее	
		500	2000
		Обочины прямолинейных участков и закруглений дорог в плане радиусом более 600 м	до 40
Обочина с внутренней стороны закругления дорог в плане радиусом менее 600 м на спуске или после него	до 40	4,0	3,0
	более 40	3,5	2,5
Обочина с внешней стороны закругления дороги в плане радиусом менее 600 м на спуске или после него	до 40	3,5	2,5
	более 40	3,0	2,0
Обочина на вогнутом закруглении дороги в продольном профиле, сопрягающем встречные уклоны с алгебраической разностью 50‰ и более	–	3,5	2,5

**Примечание.** Допускается вместо установки дорожных ограждений по согласованию с землепользователями устраивать откосы насыпей крутизной 1:4 при интенсивности движения более 2000 авт./сут и 1:3 при интенсивности движения менее 2000 авт./сут.

- на обочинах дорог, расположенных на склонах местности крутизной более 1:3 (со стороны склона);
- на обочинах дорог, расположенных параллельно железнодорожным линиям, болотам и водным потокам глубиной более 2 м, оврагам и горным ущельям, на расстоянии до



25 м от края проезжей части при перспективной интенсивности движения не менее 2000 авт/сут и до 15 м при перспективной интенсивности движения менее 2000 авт/сут;

- на обочине или разделительной полосе у опор путепроводов, деревьев с диаметром стволов более 0,1 м, консольных или рамных опор информационно-указательных знаков, расположенных на расстоянии менее 4 м от края проезжей части, при перспективной интенсивности движения не менее 2000 авт/сут;
- со стороны одностоечных или двустоечных опор путепроводов сечением менее 1,0 м независимо от расстояния до стойки от края проезжей части.

**Ограждения первой группы следует располагать:**

- у края проезжей части мостов, путепроводов, эстакад на расстоянии от него, равном ширине предохранительной полосы, но не менее 1 м;
- на середине разделительной полосы (рис. 19.18а, б), а при наличии опор путепроводов, освещения, консольных или рамных опор информационно-указательных дорожных знаков – вдоль оси разделительной полосы (рис. 19.18в) на расстоянии не менее 1 м от края проезжей части и не менее расстояния, равного расчетному прогибу, от его лицевой поверхности до ограждаемого препятствия;
- у края обочины на расстоянии допустимого прогиба ограждения барьерного типа от бровки земляного полотна (рис. 19.18г, е) или на расстоянии 0,5 м от бровки земляного полотна до края ограждения парпетного типа (рис. 19.18ж).

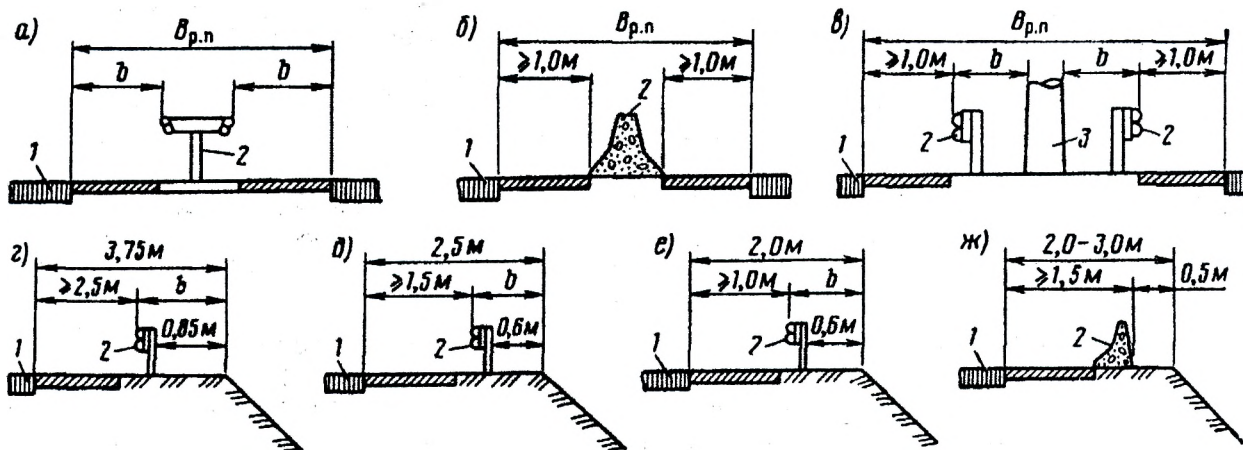


Рис. 19.18. Установка ограждений: а, б, в – на разделительных полосах; г, д, е, ж – на обочинах; 1 – проезжая часть; 2 – ограждение; 3 – опора светильников наружного освещения;  $B_{p.n}$  – ширина разделительной полосы;  $b$  – расчетный поперечный прогиб ограждения

В исключительных случаях на особо трудных участках эксплуатируемых дорог в горной местности, а также при наличии опор путепроводов, освещения, опор информационно-указательных дорожных знаков на обочине допускается установка ограждений на расстоянии не менее 1,0 м от края проезжей части до лицевой поверхности ограждения и не менее расстояния, равного расчетному прогибу от его лицевой поверхности до ограждаемого препятствия в соответствии с рис. 19.18.

Номера конструкций должны соответствовать типам, приведенным в табл. 19.6. Рекомендуемые конструкции ограждений следует выбирать согласно табл. 19.7 и 19.8.

Таблица 19.6 Типы конструкций дорожных ограждений

Номер	Тип конструкции дорожного ограждения
1	Барьерное одностороннее металлическое 11ДО-1
2	Барьерное одностороннее металлическое 11ДО-2
3	Барьерное одностороннее металлическое 11ДО-3
4	Барьерное одностороннее металлическое 11ДО-4
5	Барьерное одностороннее с металлической планкой на железобетонных стойках 11ДО-МЖ.2,00
6	Барьерное одностороннее железобетонное с шагом стоек 1,25 м 11ДО-ЖЖ.1,25

Продолжение таблицы 19.6

1	2
7	Барьерное одностороннее железобетонное с шагом стоек 2,50 м 11ДО-ЖЖ.2,50
8	Барьерное одностороннее тросовое 11ДО-ТЖ.5,00
9	Барьерное одностороннее железобетонное с криволинейным профилем лицевой боковой поверхности
10	Барьерное двухстороннее железобетонное с криволинейным профилем лицевой боковой поверхности
11	Барьерное двухстороннее металлическое 11ДД-2
12	Барьерное двухстороннее металлическое 11ДД-4

Таблица 19.7 Установка различных конструкций дорожных ограждений на обочинах

Категория дороги	Число полос движения в обоих направлениях	Ширина обочины, м	Допустимый поперечный прогиб ограждения, м	Номер конструкции дорожного ограждения для установки на обочинах дорог		
				Прямолинейные участки дорог в плане и закругления в плане радиусом более 600 м (125 м для I-с и II-с)	Закругления дорог в плане радиусом менее 600 м (125 м для I-с и II-с)	
					с внешней стороны закругления	с внутренней стороны закругления
I	4, 6, 8	3,75	1,50	2	1, 2	4, 5
		3,50	1,25	—	2	4
		3,50	—	9	9	—
II	2, 3	3,75	1,50	2, 3	2	4, 5
		3,50	1,25	2	2	4, 5
		3,50	—	9	9	—
III	2	2,50	1,25	5	5	5
			—	6	—	—
IV	2	2,00	1,25	8	—	—
			—	6	6	7
V	1	1,75	1,25	8	8	8
			—	6	—	—
I-с	2	2,00	—	6	6	7
II-с	1	1,75	1,25	8	8	8

Примечание. 1. Расчетный прогиб определен из условия съезда автомобиля с ближней к ограждению полосы движения и измеряется от лицевой поверхности ограждения.

Таблица 19.8. Установка различных конструкций дорожных ограждений на разделительных полосах

Наличие на разделительной полосе опор освещения и дорожных знаков	Номер конструкции ограждения для установки на разделительной полосе шириной, м		
	3	4	5-6
Отсутствуют	10, 11*	11 (прогиб 1,5 м)	12 (прогиб 1,5 м)
Имеются	10, 11*	10	1

Примечание. \*Допускается применение двустороннего металлического ограждения 11ДД-2 при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Не допускается устанавливать ограждения барьерного типа с использованием тросов на дорогах категорий I-а, I-б и II, мостах и путепроводах, в пределах длины отвода ограждений на подходах к этим сооружениям, а также в случаях ограждения препятствий, если расстояние между тросами и этими препятствиями менее 2,5 м. Также не допускается устройство железобетонных ограждений барьерного типа с криволинейным профилем лицевой боковой поверхности в виде отдельно стоящих блоков.

На разделительных полосах мостов следует устанавливать ограждения такого же типа, как и на разделительных полосах прилегающих к ним дорог.

Сопряжение барьерных металлических ограждений на искусственных сооружениях и подходах к ним следует выполнять без разрывов с постепенным доведением жесткости ограждений на подходах до жесткости ограждений на искусственных сооружениях на длине 8-24 м посредством уменьшения шага стоек.

**Ограждения второй группы следует устанавливать:**

- на центральной или боковой разделительной полосе шириной не менее 1 м в виде конструкций перильного типа или сеток напротив остановок общественного транспорта с подземными или надземными пешеходными переходами в пределах всей



остановки и на протяжении не менее 20 м в каждую сторону за пределы границ остановки;

- на тротуаре в транспортном тоннеле в виде конструкций перильного типа при интенсивности движения пешеходов более 100 чел/ч на одну полосу тротуара;
- у наземных пешеходных переходов со светофорным регулированием в виде конструкций перильного типа с двух сторон дороги на протяжении не менее 50 м в каждую сторону от пешеходного перехода, а также на участках, где интенсивность пешеходного движения превышает 1000 чел/ч на одной полосе тротуара при разрешенной остановке или стоянке транспортных средств и 750 чел/ч при запрещенной остановке или стоянке.

**Ограждения второй группы располагают:**

- у внешней вертикальной грани бордюра, отделяющего проезжую часть от обочины, на которой устроена пешеходная или велосипедная дорожка (тротуар). Расстояние от ограждения перильного типа до края тротуара должно быть не менее 0,75 м;
- на середине разделительной полосы, а при наличии опор путепроводов, освещения, консольных или рамных опор информационно-указательных дорожных знаков – вдоль оси разделительной полосы на расстоянии не менее 1,0 м от края проезжей части для ограждений из сеток и не менее 0,5 м для ограждений перильного типа.

К защитным устройствам относятся противоослепляющие экраны (рис. 19.19), которые предназначены для защиты водителей от ослепления при встречном движении в темное время суток на участках дорог I-а и I-б без стационарного освещения. Нижняя граница противоослепляющих экранов должна располагаться не более чем на 0,50 м, а верхняя – не менее чем на 1,80 м над проезжей частью.

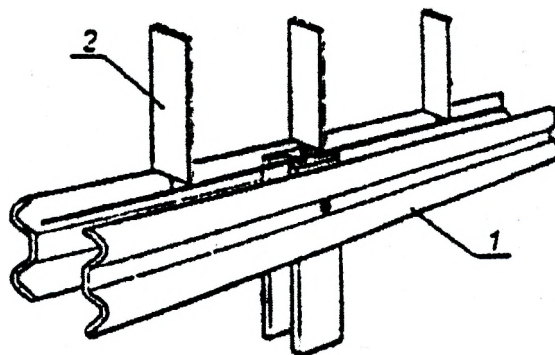


Рис. 19.19. Установка противоослепляющего экрана: 1 – барьерное двустороннее металлическое ограждение; 2 – противоослепляющий экран

### 19.5. Освещение автомобильных дорог

Стационарные осветительные установки предназначены для обеспечения безопасности движения транспортных средств и пешеходов, а также повышения пропускной способности дорог в темное время суток. Их устраивают, содержат и ремонтируют специализированные строительные-монтажные управления (СМУ) и служба эксплуатации районных электросетевых предприятий на основе договоров, заключаемых с дорожной службой. Организация, эксплуатирующая дорогу, должна выступать инициатором освещения опасных участков автомобильных дорог, предоставлять в распоряжение проектных организаций необходимые данные, выполнять на основе долевого участия строительные-монтажные и эксплуатационные работы, облегчающие установку опор, прокладку кабелей, размещение проводов при воздушной подвеске.

При согласовании проектов освещения и при выполнении строительных работ специализированными СМУ дорожная служба должна контролировать соблюдение требований действующих норм, относящихся к размещению опор, относительно кромки проезжей части, бровки земляного полотна и края бордюра.

СНиП 2.05.02-85 требует устраивать **стационарное электрическое освещение:**

- на участках автомобильных дорог в пределах населенных пунктов (независимо от интенсивности движения);
- на других участках при наличии возможности использования существующих электрических распределительных сетей и соответствующем технико-экономическом обосновании;
- на больших мостах;
- на автобусных остановках;
- на пересечениях дорог I и II категорий между собой и с железными дорогами;
- на всех соединительных ответвлениях узлов пересечений и на подходах к ним на расстоянии не менее 250 м;
- на кольцевых пересечениях и подъездных дорогах к промышленным предприятиям или на их участках.

*При освещении автомобильных дорог следует руководствоваться следующими нормами:*

- вне населенных пунктов средняя яркость проезжей части дорог и мостов (путепроводов) должна составлять: 0,8 кд/м<sup>2</sup> на дорогах I категории; 0,6 кд/м<sup>2</sup> на дорогах II категории; 0,4 кд/м<sup>2</sup> на соединительных ответвлениях пересечений в разных уровнях и подходах к пересечениям;
- средняя горизонтальная освещенность обочин должна быть не ниже: 8 лк на дорогах I категории; 6 лк на дорогах II категории; 4 лк на соединительных ответвлениях пересечений в разных уровнях и подходах к пересечениям;
- среднюю горизонтальную освещенность тротуаров мостов (путепроводов) назначают по СНиП «Мосты и трубы»;
- отношение максимальной яркости проезжей части к минимальной должно составлять не более 3:1 на дорогах I категории и 5:1 на остальных участках дорог;
- отношение максимальной освещенности обочины к средней должно быть при норме средней освещенности 6-8 лк не более 3:1, а при норме 4 лк – не более 5:1.

Средняя горизонтальная освещенность проездов под путепроводами (мостами) длиной от 30 до 60 м должна быть не менее 15 лк, а отношение максимальной освещенности к средней – не более 3:1. Для уменьшения слепящего действия светильников наружного освещения значение показателя ослепленности должно быть не более 150.

Электрическое освещение должны иметь все железнодорожные переезды I и II категорий, а также переезды III и IV категорий, расположенные на участках, оборудованных продольными линиями энергоснабжения или имеющих вблизи другие постоянные источники энергоснабжения.

Средняя горизонтальная освещенность проезжей части на переездах должна быть не менее: I категории – 5 лк; II категории – 3 лк; III категории – 2 лк; IV категории – 1 лк. Подходы к переезду должны быть освещены на протяжении 100 м от крайнего рельса.

**Основные принципы установки опор светильников:**

- опоры светильников устанавливают за бровкой земляного полотна на расстоянии от нее не менее 0,5 м;
- на насыпях высотой до 3 м для установки опор устраивают присыпные бермы с размерами 2х2 м;
- при высоте насыпи более 3-6 м и наличии устойчивых откосов опоры устанавливают на сваях длиной 5-6 м с оголовком (рис. 19.20а);
- при высоте насыпи более 6 м и наличии устойчивых откосов опоры устанавливают на сваях, огражденных деревянными коробами (рис. 19.20б), засыпая пазухи в верхней части дренирующим грунтом;
- в исключительных случаях (на насыпях высотой более 3 м при наличии неустойчивых откосов земляного полотна, на участках дорог, где размещению опор препятствуют кабельные или воздушные линии связи или электропередачи) допускается устанавливать опоры на обочине (при ее ширине не менее 3 м) с защитой от наезда автомобилей ограждениями.



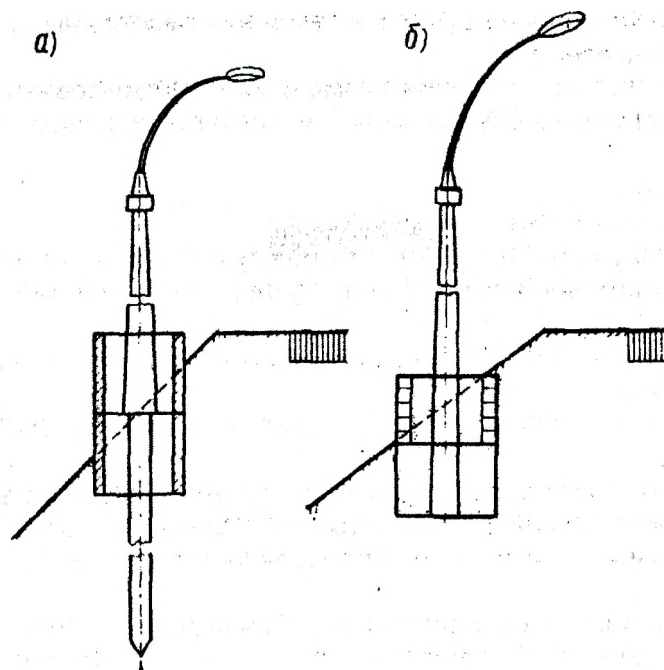


Рис. 19.20. Способы установки опор светильников на откосах высоких насыпей

При проектировании осветительных установок учитывают светотехнические характеристики дорожных покрытий, мощность ламп, светораспределение светильников и схему размещения опор. Выбор параметров осветительной установки осуществляют на основе технико-экономических расчетов по приведенным затратам.

Для освещения дорог рекомендуется применять газоразрядные ртутные лампы, металлогалогенные лампы или натриевые лампы высокого давления. Лампы накаливания применяют, в основном, для освещения пешеходных дорожек.

Опоры светильников могут размещаться по **трем основным схемам**:

- 1) с одной стороны дороги (односторонняя схема), если ширина проезжей части не превышает 12 м (рис. 19.21а);
- 2) при ширине проезжей части более 12 м опоры устанавливают с двух сторон дороги в прямоугольном или шахматном порядке (рис. 19.21б, в);
- 3) в отдельных случаях по экономическим соображениям допускается установка опор на разделительной полосе шириной не менее 5 м (рис. 19.21г) при условии защиты опор ограждениями.

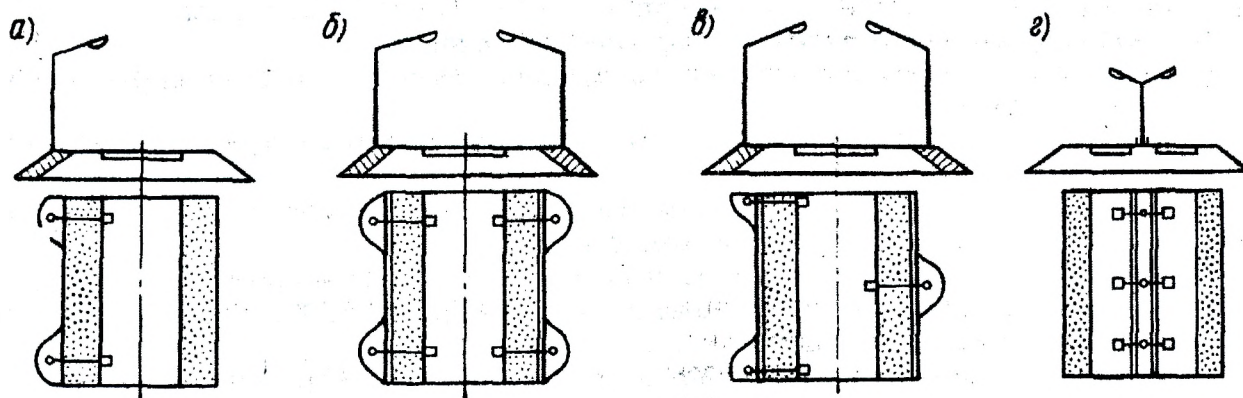


Рис. 19.21. Схемы размещения опор светильников в поперечном профиле дороги

В зависимости от нормируемых значений яркости и освещенности опоры располагают через 25-40 м, а светильники подвешивают на высоте 6-12 м. На закруглениях дорог в плане радиусом менее 600 м опоры устанавливают у обочины на внешней стороне кривой. При этом следует уменьшать расстояние между опорами на закруглении дороги по сравнению с расстоянием, принятым для прямолинейного участка:

радиус кривой в плане, м	600	400	200	100;
отношение расстояния между опорами на кривой в плане к расстоянию на прямолинейном участке, м	1,0	0,8	0,5	0,45.

Для упрощения выбора осветительной установки рекомендуется пользоваться типовыми решениями.

### 19.6. Составление схемы обстановки дороги

При проектировании автомобильных дорог составляют *график обустройства дороги*, на котором схематично показывают расположение основных сооружений и технических средств организации движения. Однако одного этого графика недостаточно для воспроизведения сложных планировочных решений и конкретизации мест размещения этих средств. Поэтому на отдельные сложные узлы, а в отдельных случаях и на всю дорогу необходимо составлять *схему обстановки дороги*, на которой указывают расположение дорожных знаков, разметки, ограждений, осветительных установок, направляющих устройств (рис. 19.22).

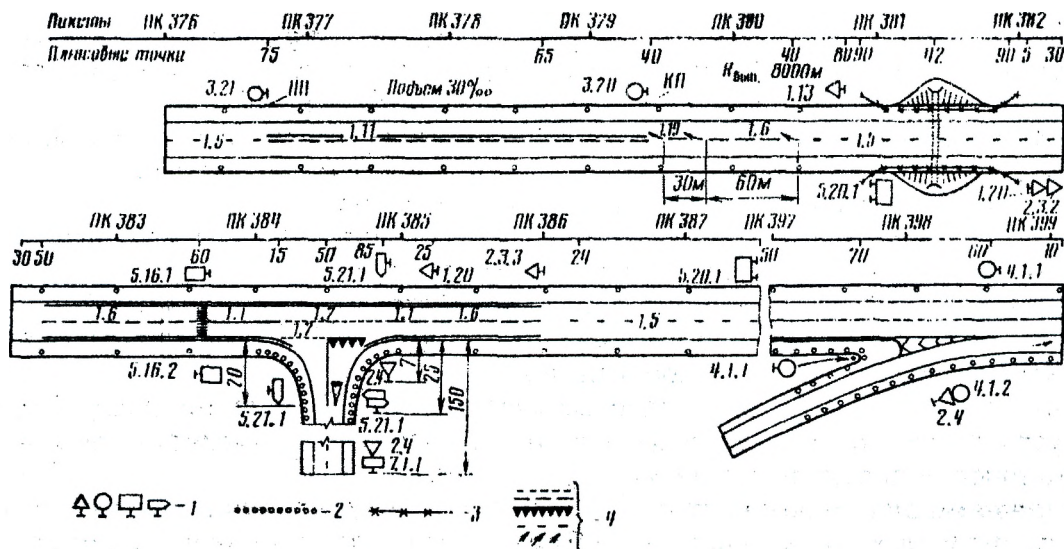


Рис. 19.22. Схема инженерного оборудования дороги: 1 – дорожные знаки; 2 – направляющие столбики; 3 – дорожные ограждения; 4 – дорожная разметка; НП – начало подъема; КП – конец подъема

Схему вычерчивают в масштабе 1:500 (для населенных пунктов 1:200) и на ней указывают пикетажное положение мест установки знаков, начала и конца однотипных линий разметки.

При составлении схемы обстановки дороги рекомендуется разрабатывать мероприятия в следующем порядке:

- 1 – установка дорожных знаков;
- 2 – применение дорожной разметки;
- 3 – установка дорожных ограждений и направляющих столбиков;
- 4 – освещение опасных участков дороги.

Работу по составлению схемы рекомендуется выполнять в несколько этапов:

**На первом этапе** на схеме размещают указательные знаки, информирующие водителей об основных направлениях движения, протяженности дороги, расположении и наименовании отдельных пунктов маршрута и участков, на которых установлен определенный порядок движения транспортных средств (скоростная дорога, населенный пункт). В соответствии с условиями применения каждого знака располагают на схеме километровые знаки, маршрутные марки, обозначающие номер дороги, знаки с названиями населенных пунктов, колхозов, совхозов, рек, перевалов, через которые проходит дорога, знаки-указатели направления движения к пунктам следования, расположенным в стороне от дороги: населенным пунктам, железнодорожным станциям, переправам, заготовительным пунктам, карьерам, заводам, складам, аэропортам, пристаням, речным и морским портам. При этом учитывают необходимость повторения на специальных знаках надписей латинским шрифтом, передающим произношение названий на соответствующем национальном языке. На всех дорогах должны быть обозначены знаками подъезды к достопримечательным местам и пункты



обслуживания движения. Эти знаки наносят на схему, учитывая необходимость установки дополнительных знаков для предварительной информации водителей в соответствии с правилами установки каждого знака.

На этом этапе намечают расположение и содержание изображений знаков «Предварительный указатель направлений» и знаков «Указатель расстояний».

**На втором этапе** работы вначале условно разделяют всю дорогу по протяженности на две группы участков: населенные пункты и перегоны. Затем в пределах каждого участка выделяют следующие элементы: перекрестки, мосты, путепроводы, тоннели, железнодорожные переезды, горизонтальные и вертикальные кривые, сужения, подъемы и спуски с уклоном более 20%, сооружения обслуживания движения, места оживленного пешеходного движения. Некоторые элементы могут быть проанализированы совместно.

Для каждого элемента или группы элементов, изображенных на схеме, анализируют необходимость применения различных знаков и разметки. Для облегчения этой задачи предварительно в пределах каждого элемента или группы элементов на схеме выделяют **возможные конфликтные зоны**:

- 1 – зоны оживленного пешеходного и велосипедного движения вдоль проезжей части или поперек нее и зоны возможного скопления людей, ожидающих попутных автомобилей;
- 2 – зоны, где часто происходят изменение скорости движения;
- 3 – зоны, в которых ширина проезжей части, число полос движения, габариты высоты или допустимая нагрузка от автомобилей меньше, чем на смежных участках;
- 4 – зоны с ограниченной видимостью в плане и профиле;
- 5 – зоны, в которых в различное время года возникают густые туманы, гололед, сильный боковой ветер, имеется ямочность и колейность покрытия;
- 6 – зоны со светофорным регулированием и односторонним движением;
- 7 – зоны, в которых необходимо устанавливать дорожные ограждения, направляющие столбики или устраивать стационарное освещение.

Выявив конфликтные зоны на опасных участках, по возможности следует применять меры по устранению причин, порождающих эту опасность, и в максимальной степени использовать типовые проектные решения.

**На третьем этапе** разрабатывают предложения по устройству дорожной разметки в основных конфликтных зонах. При этом необходимо обращать внимание на дислокацию дорожных знаков и их смысловое содержание, чтобы информация от знаков и разметки не была противоречивой. *В первую очередь*, намечают расположение линий, разграничивающих встречные полосы движения, и линий, устанавливающих преимущество в движении на пересечениях. *Во вторую очередь*, разграничивают зоны наземных пешеходных переходов, островков безопасности и остановок общественного транспорта. *В третью очередь*, устанавливают места расположения указательных и направляющих стрел, линий вертикальной разметки, надписей и обозначений на проезжей части.

**На четвертом этапе** уточняют виды знаков с учетом схемы разметки дороги, изучают возможности сокращения числа знаков и исключения отдельных видов разметки, оценивают необходимость ограничения скорости или исправления плана и профиля дороги.

**На пятом этапе** отмечают положение опасных участков, где возможны серьезные травмы людей при неожиданных съездах автомобилей с дороги, наездах на дорожные сооружения и препятствия. Конструкции ограждений выбирают с учетом возможностей строительных организаций и наличия соответствующих материалов. После уточнения мест установки ограждений первой и второй групп приступают к разработке схемы установки направляющих столбиков.

**На шестом этапе** намечают ориентировочно схемы освещения опасных участков и расположение опор освещения (схему уточняют после разработки проектов освещения специализированными организациями).

**На седьмом этапе** окончательно уточняют элементы и детали схемы обстановки дороги, оценивают необходимость применения объемных дорожных знаков, выбирают материалы для разметки, уточняют, в каких местах необходимо устанавливать ударобезопасные конструкции элементов обстановки дороги.

**На заключительном этапе** проводят согласование схемы с заинтересованными организациями.

## 20. ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ РАЙОНАХ

### 20.1. Типы болот и их инженерная классификация

*Болотами* называют избыточно увлажненные участки земной поверхности, на которых большую часть года застаивается вода. Остатки влаголюбивой болотной растительности, подвергшиеся неполному разложению при затруднительном доступе воздуха и большой влажности, образуют отложения *торфа*. Участки, на которых застаиваются поверхностные воды или происходит их систематическое переувлажнение грунтовыми водами, однако торфяной покров отсутствует или имеет толщину менее 30 см, называют *заболоченными*.

Болота в Беларуси занимают около 23% площади всей территории. Они широко распространены в южных районах, где количество выпадающих осадков превышает испарение.

По условиям расположения и питания водой различают *верховые* и *низинные болота*. *Верховые* образуются при застое атмосферных осадков на водораздельных участках, имеющих малые уклоны. Они на всю толщину состоят из торфа (рис. 20.1а).

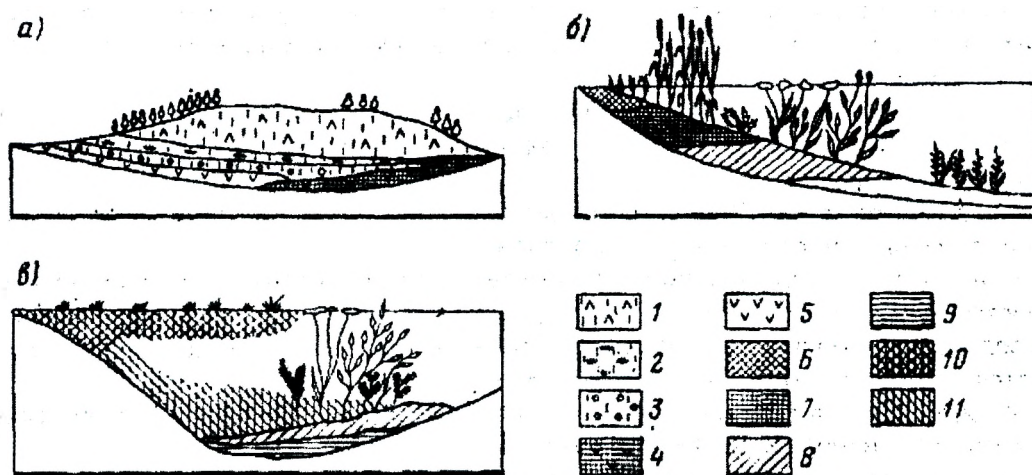


Рис. 20.1. Схема расположения растительности на болоте: а – верховое болото; б – зарастающий с берегов мелкий водоем; в – нарастание сплавины на глубоком озере; 1 – сфагновый торф с пнями сосны; 2 – пушицево-сфагновый торф; 3 – осоковый и лесной торф; 4 – шейхцериево-сфагновый торф; 5 – гипновый торф; 6 – осоковый торф; 7 – тростниковый торф; 8 – сапропелевый торф; 9 – сапрпель; 10 – торф сплавины; 11 – тонкий ил

В процессе образования **верховые болота** проходят несколько стадий:

1) образование верховых болот начинается с появления в густом лесу, на лесных пожарищах и на лугах мха «кукушкин лен», удерживающего в себе воду. Начинается торфообразовательный процесс;

2) по мере зарастания и утолщения слоя торфа поверхность болота повышается. Водный баланс поверхностных слоев изменяется, и происходит постепенная смена растительности на более влаголюбивую;

3) при нарастании слоев торфа условия жизни деревьев ухудшаются. Деревья начинают угнетаться и гибнуть. Последними исчезают береза и сосна;

4) заключительной фазой образования верхового болота является появление белого мха – *сфагнума*, который обладает чрезвычайно большой водоудерживающей способностью и быстро растет, питаясь атмосферной влагой. Нижние слои сфагнума отмирают, образуя сфагновый торф. Середина большого сфагнового болота может возвышаться над краями на 6-8 м. Болото в этой стадии называется *моховым*;

5) в дальнейшем на верховых болотах могут возникать застои воды – *мочажины*.

**Низинные болота** образуются в результате зарастания водоемов. Заболочивание идет от берегов к середине (см. рис. 20.1б):

1) у берегов появляются осока, тростники, камыши, на больших глубинах – плавающая растительность. Их отмирающие остатки повышают дно водоема, и постепенно растительность продвигается к его середине;



2) дно также повышается за счет образования ила – оседающих глинистых частиц, образующих пористые водонасыщенные отложения, а также сапропеля – отложений, образующихся в водоемах из остатков обитающих в них микроскопических животных, растений и продуктов их жизнедеятельности;

3) в середине водоема появляются плавающие растения (кувшинки, ряска, аир), постепенно образующие на его поверхности сплошной зыбкий ковер – *сплавину*, состоящую из корневищ и мхов (см. рис. 20.1в). Сплавина постепенно утолщается за счет нарастания растений;

4) со временем на сплаvine появляются травянистая растительность и кустарники. Над ключами и глубокими местами водоемов часто остаются «окна» – незаросшие участки водной поверхности. Сплавина толщиной 3-4 м может выдержать нагрузку до 35 МПа.

**Торфу присваивают название по растительности**, которая послужила для его образования:

- 1) *травянистый торф* (тростниковый, осоковый);
- 2) *моховый* (сфагновый, гипновый);
- 3) *лесной* (ольховый).

Если в образовании торфа принимали участие два вида растительности, первым в названии указывается тот вид, остатки которого содержатся в большем количестве (например, травяно-осоковый).

В связи с последовательной сменой в процессе роста болота растений – торфообразователей торфяные напластования обычно имеют слоистое строение.

**Основные свойства торфа:**

- 1) торф обладает большой *влагоемкостью* и может удерживать воды в 10-20 раз больше своей массы в воздушно-сухом состоянии;
- 2) *влагоемкость* торфа зависит от степени его разложения, т. е. от степени превращения растительных остатков в бесструктурную гумусовую массу. Сильно разложившийся торф не содержит заметных на глаз растительных остатков. Сжатый в руке, он хорошо продавливается между пальцами, не выделяя воды;
- 3) в торфе всегда содержатся минеральные частицы, количество которых определяет его *зольность*. На низовых болотах *зольность* достигает 12-15%;
- 4) *плотность* торфов зависит от степени разложенности и уплотнения. Мало разложившиеся торфы имеют плотность 0,6-0,7 т/м<sup>3</sup>, сильно разложившиеся 1,1 т/м<sup>3</sup>;
- 5) *водопроницаемость* уменьшается по мере разложения торфа. Хорошо разложившийся плотный торф практически водонепроницаем.

Проектирование дорог в болотистых районах требует весьма внимательного предварительного изучения и исследования болота. Важное значение для проектирования земляного полотна автомобильных дорог имеет *строение болота в вертикальном разрезе*, отражающее условия его формирования и соотношение прочности отдельных его слоев. Укрупненная инженерная классификация болот, принятая при проектировании и строительстве автомобильных дорог, приведена в табл. 20.1.

Таблица 20.1. Укрупненная инженерная классификация болот

Тип	Подтип	Характерный вид болот	Работа основания под насыпью
I	а	Заполненное болотными грунтами, перекрытыми слоем наносного грунта	Преимущественное сжатие без бокового выдавливания под насыпями высотой до 3 м
	б	Сплошь заполненные болотными грунтами	
II	а	Слой торфа, подстилаемый сапропелями, слоем ила и перекрытый наносным грунтом	Содержит хотя бы один слой слабого грунта, который выдавливается при быстром возведении насыпи высотой до 3м, но уплотняется при медленном возведении
	б	то же без наносного грунта	
III		Болота с торфяным слоем, плавающим на поверхности воды (сплавинные болота)	Имеется хотя бы один слой, который выдавливается при возведении насыпей до 3м при любых режимах проведения работ

Конструкции земляного полотна на болотах выбирают с учетом строения болот, мощности и свойств отдельных слоев торфа. В ряде случаев для этого необходимы предварительные расчеты устойчивости земляного полотна в условиях слабых оснований.

## 20.2. Основные принципы трассирования дорог в заболоченных районах

Строительство дороги через болота обходится значительно дороже, чем в обычных условиях. **Основные принципы трассирования дорог в заболоченных районах:**

- 1) целесообразно обходить болота, если это не вызывает значительного удлинения и извилистости дороги;
- 2) пересекать болота следует в наиболее узком и мелком месте перпендикулярно направлению течения воды;
- 3) при пересечении сплавинных болот следует избегать проложения трассы в местах, где дно водоема имеет большие поперечные уклоны, по которым возможно сползание земляного полотна;
- 4) в сложных случаях следует наметать несколько вариантов трассы, из которых лучший выбирают на основе технико-экономического сравнения;
- 5) необходимо внимательно изучить гидрологический режим болот, пересекаемых дорогами, и предусмотреть его стабильность;
- 6) следует учитывать, что насыпь, прорезающая торф или уплотняющая его своим весом, создает препятствие проходу воды, может вызвать застой воды с верховой стороны и активизировать процессы заболачивания;
- 7) трассу намечают на основе детального изучения карт крупного масштаба в горизонталях и материалов аэрофотосъемки с последующим осмотром на местности назначенных вариантов;
- 8) необходимо оконтурить болото и определить условия поверхностного водоотвода с их площади, а также приближенно оценить вид и мощность торфяных отложений, их физико-механические свойства. Эти сведения дают возможность обоснованно наметить варианты перехода. Известное представление о типе болота, стадии его развития и возможной глубине можно составить при изысканиях на основе визуального осмотра по типам растительности.

Пока болото питается *грунтовыми водами*, на нем развиваются болотные травы, преимущественно осока, тростник, камыш, кустарники и зеленые мхи. Карликовые чахлые сосны, багульник и сфагнум указывают на то, что болото *верховое* и находится в последней стадии своего развития, в связи с чем можно предполагать значительную толщину торфа. Смешанный лес (березы, осины, сосны) вырастает при сравнительно небольшой мощности торфа. Болота без кустарника и леса, но покрытые бурными мхами, имеют большую глубину, чем болота травяные, поросшие осокой и тростником.

На сплавинных болотах большая толщина сплавини наблюдается на участках, защищенных от действия господствующих ветров. Обычно за выступающими над поверхностью болота островами минерального грунта ниже их по течению располагаются участки болот со слабой несущей способностью сплавини.

## 20.3. Классификация слабых грунтов и их свойства

**А) Биогенные грунты.** Органические и органо-минеральные грунты в соответствии с СТБ 943 относят к подгруппе биогенных грунтов, входящих в группу осадочных несцементированных пород. Среди биогенных грунтов наибольшее распространение имеют болотные грунты (торф, сапропель, болотный мергель, органический ил), т. е. грунты, слагающие болота. В естественных отложениях болот в условиях недостаточного стока и испарения эти грунты находятся в водонасыщенном состоянии и имеют высокую пористость.

В зависимости от содержания органических веществ слабые болотные грунты можно разделить на *три группы*:

- органические грунты (потери при прокаливании ( $\Gamma$ )  $\Gamma > 60\%$ );
- органо-минеральные ( $10\% < \Gamma < 60\%$ );
- минеральные ( $\Gamma < 10\%$ ).

*Свойства болотных грунтов* зависят от их состава и состояния. Характеристикой состава торфяных грунтов служит соотношение трех основных компонентов: волокнистых, гумусных и минеральных частиц.

**Содержание частиц различных видов в составе торфа определяется:**

- волокнистых – по массе остатка при промывании на сите 0,25 мм;
- гумусных – по массе вещества, прошедшего через указанное сито;



– минеральных – по массе остатка после прокаливания при температуре (800±25)°С.

**Основная характеристика состава органо-минеральных грунтов** (сапропель, болотный мергель, ил) – соотношение органической и минеральной частей (по массе); **дополнительная** – содержание карбонатов типа (CaCO<sub>3</sub>), определяемых по количеству углекислого газа (CO<sub>2</sub>), образующего при действии на грунт 10% раствора соляной кислоты (НСl).

**Характеристикой состояния болотных грунтов** является природная влажность (W) или коэффициент пористости (e). Значения физико-механических характеристик болотных грунтов устанавливаются на основе данных изысканий и лабораторных испытаний.

При отсутствии данных испытаний значения физико-механических характеристик болотных грунтов допускается определять по основным показателям состава и состояния, используя табл. 20.2 и 20.3.

Таблица 20.2. Классификация торфяных грунтов

Тип грунтов	Природная влажность W	Коэффициент пористости e	Плотность сухого грунта ρ <sub>д</sub> , г/см <sup>3</sup>	Степень разложения R, %	Степень волокнистости Ф, %	Зольность Z, %	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) τ, МПа, (кгс/см <sup>2</sup> )	Модуль осадки I <sub>p</sub> , мм/м при нагрузке P=0,05 МПа (0,5 кгс/см <sup>2</sup> )
Осушенный (или уплотненный)	<3	<4	>0,25	<25	>75	>5 <5	>0,040 (> 0,40) >0,035 (>0,35)	150-200
				25-40	75-60	>5 <5	>0,030 (>0,30) >0,033 (>0,33)	
Маловлажный	3-6	4-9	0,14-0,25	>40	<60	>5 <5	>0,019(0,19) >0,026 (0,26)	200-350
				<25	>75	>5	0,040-0,025(0,40-0,25) 0,035-0,022(0,35-0,22)	
				25-40	75-60	>5 <5	0,30-0,017(0,30-0,17) 0,033-0,016 (0,33-0,16)	
				>40	>75	>5 <5	0,019-0,0008 (0,19-0,08) 0,026-0,013(0,26-0,13)	
Средней влажности	6-9	9-14	0,10-0,14	<25	>75	>5 <5	0,026-0,010 (0,26-0,10) 0,022-0,010 (0,22-0,10)	350-450
				25-40	75-60	>5	0,017-0,010(0,17-0,10) 0,016-0,011 (0,16-0,11)	
				>40	<60	<5	0,008-0,005 (0,08-0,05) 0,013-0,008 (0,13-0,08)	
Очень влажный	9-12	14-18	0,07-0,10	25	>75	<5 >5	0,015-0,008 (0,15-0,08) 0,013-0,006 (0,13-0,06)	450-550
				25-40	75-60	<5 >5	0,01-0,005(0,10-0,05) –	
				40	>75	<5 >5	0,005-0,003 (0,05-0,03) –	
Избыточно влажный	>12	>18	<0,07	25	>75	<5 >5	<0,005 (<0,05)	550-600
				25-40	75-60	<5 >5	<0,003 (<0,03)	
				40	>75	<5 >5	<0,003 (<0,03)	

**Примечание.** Величины показателей физико-механических свойств при промежуточных значениях влажности определяются интерполяцией.

Таблица 20.3. Классификация органических и органо-минеральных илов

Тип залегания	Вид грунта	Разновидность	Содержание органических веществ, %	Содержание карбонатных веществ (CaCO <sub>3</sub> ), %	Природная влажность W	Коэффициент пористости e	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) τ, МПа, (кгс/см <sup>2</sup> )	Модуль осадки I <sub>p</sub> , мм/м при нагрузке P=0,05 МПа (0,5 кгс/см <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Неуплотненные в природном залегании (озерные под слоем воды)	Сапропели органические	Детритовые	>60	<30	6-20	12-25	< 0,002 (< 0,002)	900-500
	Сапропели органо-минеральные	Известковистые	10-60	>30	2-6	5-12	0,006-0,002 (0,06-0,2)	400-200
		Кремнеземистые	10-60	<30	1,5-6	4-12	0,005-0,003 (0,05-0,03)	300-200
Неуплотненные в природном залегании (болотные под слоем торфа)	Сапропели органические	Торфосапропели	>80	<10	9-12	16-20	0,013-0,002 (0,13-0,02)	800-500
		Детритовые	60-80	>30	6-9	12-16	0,013-0,002 (0,13-0,02)	700-600

Продолжение таблицы 20.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Сапропели органико-минеральные	Известковистые	10-60	>30	1,5-6	1-12	0,013-0,008 (0,13-0,08)	500-200
		Кремнеземистые	10-60	<30	1,2-6	3-12	0,013-0,007 (0,13-0,07)	400-200
	Болотный мергель	–	<10	>10	1,2-0,8	3-1,5	0,20-0,008 (0,20-0,08)	200-60
	Болотный ил	–	<10	<10	1,2-0,3	3-1,1	0,032-0,011 (0,32-0,11)	100-40
Уплотненные в природном залегании (озерно-болотные под слоем минеральных наносов или под насыпью)	Сапропели органические	Детритовые	>60	<30	1,5-3,0	4-6	0,020-0,008 (0,20-0,08)	250-150
	Сапропели органико-минеральные	Известковистые	10-60	>30	0,8-2,5	1,2-0,4	0,25-0,010 (2,5-0,10)	200-80
		Кремнеземистые	10-60	<30	0,5-2,0	1,4-4,0	0,030-0,010 (0,30-0,10)	150-80

*Примечание.* Величины показателей физико-механических свойств при промежуточных значениях влажности определяются интерполяцией.

**Торф** – органическая осадочная горная порода, формирующаяся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха. *Твердое вещество высушенного торфа* состоит из не вполне разложившихся растительных остатков: растительного волокна, продуктов разложения растительных остатков, темного бесструктурного вещества (*гумуса*) и *неорганических примесей*.

*Механические свойства торфов* зависят от их структурных особенностей, определяемых:

- степенью волокнистости;
- плотностью;
- влажностью;

– составом торфообразователей, косвенно отражаемым величиной *конституционной зольности торфа*.

При зольности менее 5% состав торфообразователей соответствует условиям формирования *верхового болота*. Торф в этом случае следует называть *малозольным (верховым)*. При зольности от 5 до 20% состав торфообразователей соответствует условиям формирования *низинного болота – торф средней зольности (низинный)*, при зольности 20-40% – *высокозольный (минерализованный)*.

**Сапропели** представляют собой озерные отложения, образующиеся в водоемах в результате отмирания животных и растительных организмов и оседания минеральных частиц, заносимых водой и ветром.

**Торфосапрпель**, представляющий граничный слой и содержащий раздробленные растительные остатки, имеет цвет от бурого до темно-коричневого или черного, но отличается от торфа однородной структурой, маслянистым блеском по срезу. **Детритовые сапропели** имеют темно-оливковый цвет; **известковистые** – от серовато-оливкового до светло-серого, а при высушивании приобретают белый цвет и теряют высокую связность, характерную для других сапропелей.

**Кремнеземистый сапрпель** темнее, часто с зеленым оттенком, в нем заметны темные прослойки. Встречаются сапропели красноватых оттенков, которые придают им привнесенные водным питанием гидроокислы железа.

*Структура сапропелей обычно аморфна, в некоторых случаях – слабозернистая.* Все сапропели при срезе приобретают маслянистый цвет.

**Болотный мергель** представляет собой рыхлую осадочную породу, образовавшуюся в озерно-болотных условиях при поступлении в водоемы воды, содержащей в растворенном виде кислый углекислый кальций ( $Ca(HCO_3)_2$ ). По мере испарения воды и удаления из нее ( $CO_2$ ) из раствора выпадает углекислый кальций ( $CaCO_3$ ). Болотный мергель может подстилать торфяную толщу или переслаиваться с торфяными пластами.

Мергель содержит от 25 до 50% карбоната кальция. Остальная часть состоит из песчаных, глинистых, илистых частиц и растительных остатков различной степени разложения.

**Болотный ил** по свойствам близок к пылевато-глинистым грунтам. Для ила характерно наличие различных по крупности минеральных зерен, более высокая плотность, цвет обычно серый с различными оттенками.



## Б) Переувлажненные глинистые грунты.

Наряду с перечисленными выше специфичными категориями к числу слабых могут относиться и **обычные глинистые грунты** различного возраста, имеющие в природном состоянии повышенную влажность.

Анализ зависимости механических характеристик глинистых грунтов от показателей их состава (число пластичности) и состояния (коэффициент консистенции) показывает, что при влажности, соответствующей мягкопластичной консистенции и выше ( $B > 0,5$ ), глинистые грунты в соответствии с принятыми выше условиями (см. табл. 20.2) должны быть отнесены к слабым грунтам. Ориентировочные значения механических характеристик переувлажненных глинистых грунтов представлены в табл. 20.4.

Таблица 20.4. Значения показателей механических свойств переувлажненных глинистых грунтов

Разновидность грунта		Подвид (по пластичности)	Показатели механических свойств			Плотность $\rho$ , т/м <sup>3</sup>
Наименование	Коэффициент консистенции $B$		Сцепление $c$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Модуль деформации $E$ , МПа	
Мягкопластичный	0,5-0,75	Супесь	0,005	20	38	1,9
		Суглинок	0,015	17	19	1,9
		Глина	0,020	14	2	1,95
Текучепластичный	0,75-1,00	Супесь	0,002	$\leq 18$	19	1,85
		Суглинок	0,010	13	12,5	1,85
		Глина	0,010	8	3	1,9
Текучий	> 1,00	Супесь	0,001	14	12,5	1,85
		Суглинок	0,005	10	6	1,8
		Глина	0,005	6	3	1,8

**Примечание.** К супеси следует относить грунты при  $1 \leq I_p < 7$ , к суглинку – при  $7 \leq I_p < 17$ , к глине – при  $I_p \geq 17$ .

## 20.4. Выделение расчетных участков и расчетных слоев слабой залежи.

### Назначение расчетных характеристик слабых грунтов

Расчетные значения физико-механических показателей слабых грунтов устанавливаются для каждого выделенного расчетного участка и расчетного слоя, однородных (однотипных) по инженерно-геологическим свойствам.

Предварительное разделение слабой залежи на однородные участки и слои выполняются на основе геологического разреза, получаемого по результатам бурения, с визуальной оценкой грунтов по качественным признакам.

Для уточнения границ выделенных слоев на геологический разрез наносят графики изменения по глубине удельного сопротивления зондированию, сопротивления сдвигу по крыльчатке и основных классификационных показателей состава и состояния грунтов. Уточнение границ расчетных слоев осуществляется после определения расчетных значений показателей физико-механических свойств грунтов: влажность, зольность, предел пластичности, плотность частиц грунта, плотность грунта и др.

Выделение однородных расчетных слоев геотехнической модели для слабой залежи производят путем статистической обработки результатов испытаний. При этом руководствуются следующими правилами:

а) геологический слой должен быть генетически однороден (значения основных классификационных показателей слоя не должны выходить за пределы одной классификационной группы, определяемой по табл. 20.2 и 20.3).

б) геологический слой должен характеризоваться статистической однородностью по выбранному показателю или набору показателей (резкие отскоки (промахи) среди значений показателей должны быть исключены, если они не являются следствием статистического разброса);

в) количество определений одного и того же показателя должно быть не менее шести.

**По прочностным свойствам болотные грунты можно считать однородными, если коэффициент вариации сопротивления сдвигу не превышает 20%.**

Для физических показателей допустимые величины коэффициентов вариации по условиям статистической однородности приведены в табл. 20.5.

Таблица 20.5. Показатели статистической однородности грунтов

Физические свойства болотных грунтов			Допустимые величины коэффициентов вариации
Влажность $W$	Коэффициент пористости $e$	Плотность сухого грунта $\rho_d, \text{г/см}^3$	
< 3	< 4	> 0,25	15
3-6	4-9	0,14-0,25	12
6-9	9-14	0,10-0,14	7
9-12	14-18	0,07-0,10	5
> 12	> 18	< 0,07	4

Для определения расчетных значений характеристик слабых грунтов следует применять вероятностно-статистические методы, назначая надежность (доверительную вероятность) расчетных показателей в зависимости от категории автомобильной дороги.

Расчетные характеристики слабых грунтов определяют по формуле

$$X_{расч} = X_n \pm \Delta X_a, \quad (20.1)$$

где  $X_{расч}$  – расчетное значение показателя;  $X_n$  – нормативное значение показателя (среднеарифметическое, средневзвешенное);  $\Delta X_a$  – отклонение нормативного значения от его истинного значения (половина ширины доверительного интервала)

$$\Delta X_a = \frac{t_\alpha \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (20.2)$$

где  $t_\alpha$  – коэффициент Стьюдента, определяемый в зависимости от заданной доверительной вероятности  $\alpha$  – коэффициента надежности и числа измерений;  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение;  $n$  – число измерений.

Коэффициент надежности  $\alpha$  для дорог I, II, III и IV-V категорий, соответственно, равен 0,95, 0,90, 0,85 и 0,80.

При определении расчетных значений прочностных характеристик грунтов коэффициент надежности принимается равным 0,99 независимо от категории проектируемой дороги.

В качестве расчетного следует принимать значение показателя, получаемое по формуле (20.1), обеспечивающее большую надежность расчета.

Для проведения *геотехнических расчетов* на каждом расчетном участке назначают расчетные поперечники. Число расчетных поперечников устанавливают в зависимости от мощности слабых грунтов и протяженности участка. Кроме того, во всех случаях расчетные поперечники необходимо назначать в наиболее опасных сечениях (глубокие места болот, наличие уклонов минерального дна и т.п.).

### 20.5. Особенности изысканий автомобильных дорог на участках залегания слабых грунтов

Целью инженерно-геологического обследования является получение данных, необходимых для обоснования положения трассы и назначения конструкции и технологии сооружения земляного полотна. **При инженерно-геологическом обследовании с учетом требований СНБ 1.02.01-96 «Инженерные изыскания для строительства» необходимо:**

- установить границы участка со слабыми грунтами в пределах зоны возможного расположения трассы;

- выявить строение слабой толщи (ее стратиграфические особенности), в том числе наличие включений (валуны, пни и т.п.), а также характер подстилающих пород и рельеф их кровли;

- установить физико-механические характеристики грунтов, слагающих слабую толщу, необходимые для определения их строительного типа, типа основания по устойчивости и расчета конструкции насыпи;

- выявить особенности гидрогеологического режима толщи.

**Для получения требуемых данных выполняются:**

- топографическая съемка участка;

- проходка зондировочных и опорных скважин с отбором проб грунтов нарушенного и ненарушенного сложения и испытания грунтов в условиях их природного залегания (без отбора монолитов);

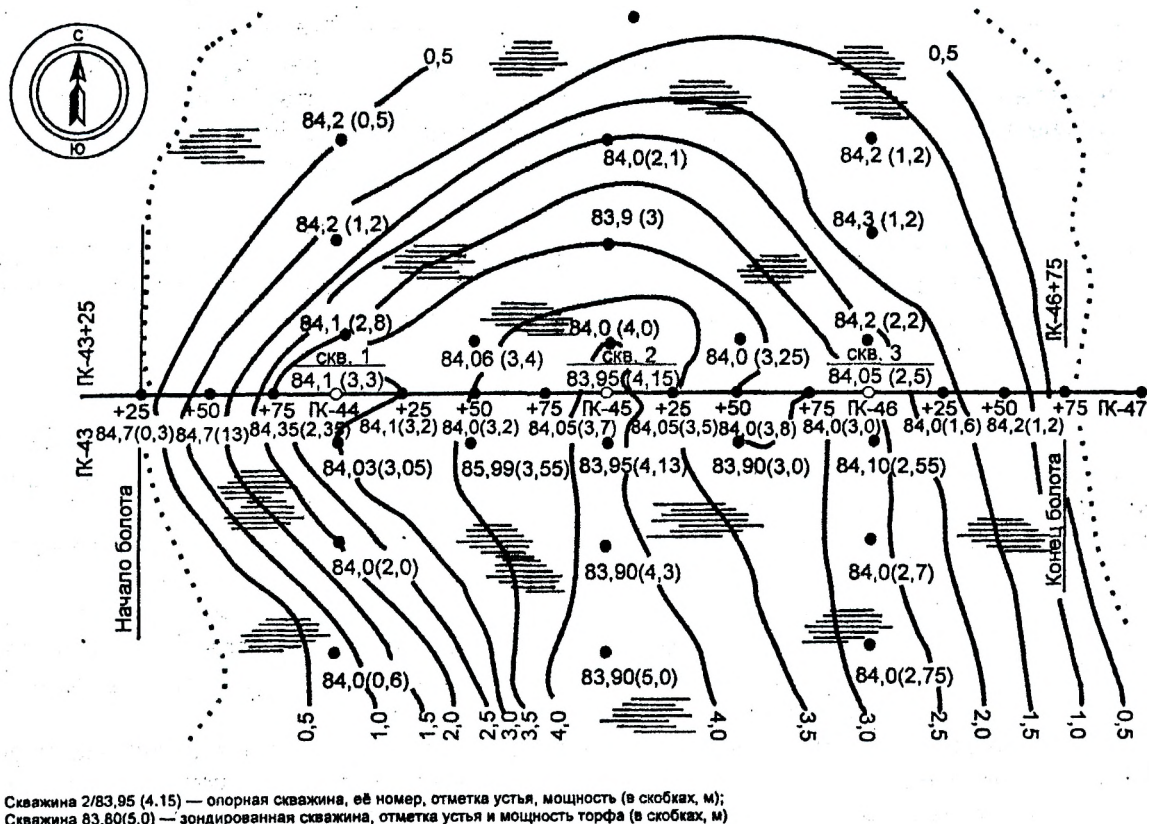


– лабораторные испытания проб грунтов нарушенного сложения с определением основных показателей состава и состояния грунтов и испытания монолитов для определения характеристик механических свойств грунтов (параметров, характеризующих сопротивление сдвигу, сжимаемость и скорость уплотнения грунта и показателей плотности);

– камеральная обработка материалов обследования, включающая составление отчетной документации.

**Отчетная документация оформляется в виде паспорта, включающего:**

– план участка с изолиниями мощности слабой толщи в масштабе 1:2000 (рис. 20.2);



○ Сквжина 2/83,95 (4,15) — опорная сквжина, её номер, отметка устья, мощность (в скобках, м);  
 ● Сквжина 83,80(5,0) — зондированная сквжина, отметка устья и мощность торфа (в скобках, м)

Рис. 20.2. План болота (линии мощности торфа проведены через 0,5 м)

– геологические разрезы по оси вариантов трассы и по характерным поперечникам с нанесенными на них результатами определения основных показателей состава и состояния грунтов и механических испытаний грунтов в условиях природного залегания (рис. 20.3);

– результаты лабораторных испытаний грунтов слабой толщи;

– пояснительную записку, в которой дают оценку строительных свойств слабых грунтов, выделяют расчетные (однотипные) участки, расчетные слои (т. е. слои, однообразные по инженерно-геологическим свойствам) и приводят расчетные значения механических характеристик грунтов для этих слоев.

**Пояснительная записка должна содержать:**

- подробное описание участка, включая его происхождение;
- источники питания грунтовых вод;
- состав и состояние грунтов слабой толщи;
- данные о растительно-корневом покрове, пнистости, наличии поверхностного водоотвода;
- данные о постоянных водотоках и о проходе весенних вод;
- данные о характере пород, слагающих дно толщи и рельефе дна;
- сведения о состоянии существующих дорог, расположенных в пределах данного участка, состоянии земляного полотна;
- сведения о конфигурации основания насыпи;
- сведения о резервах грунта, намечаемых для использования при возведении насыпи на участке залегания слабых грунтов, с указанием характеристик этих грунтов.

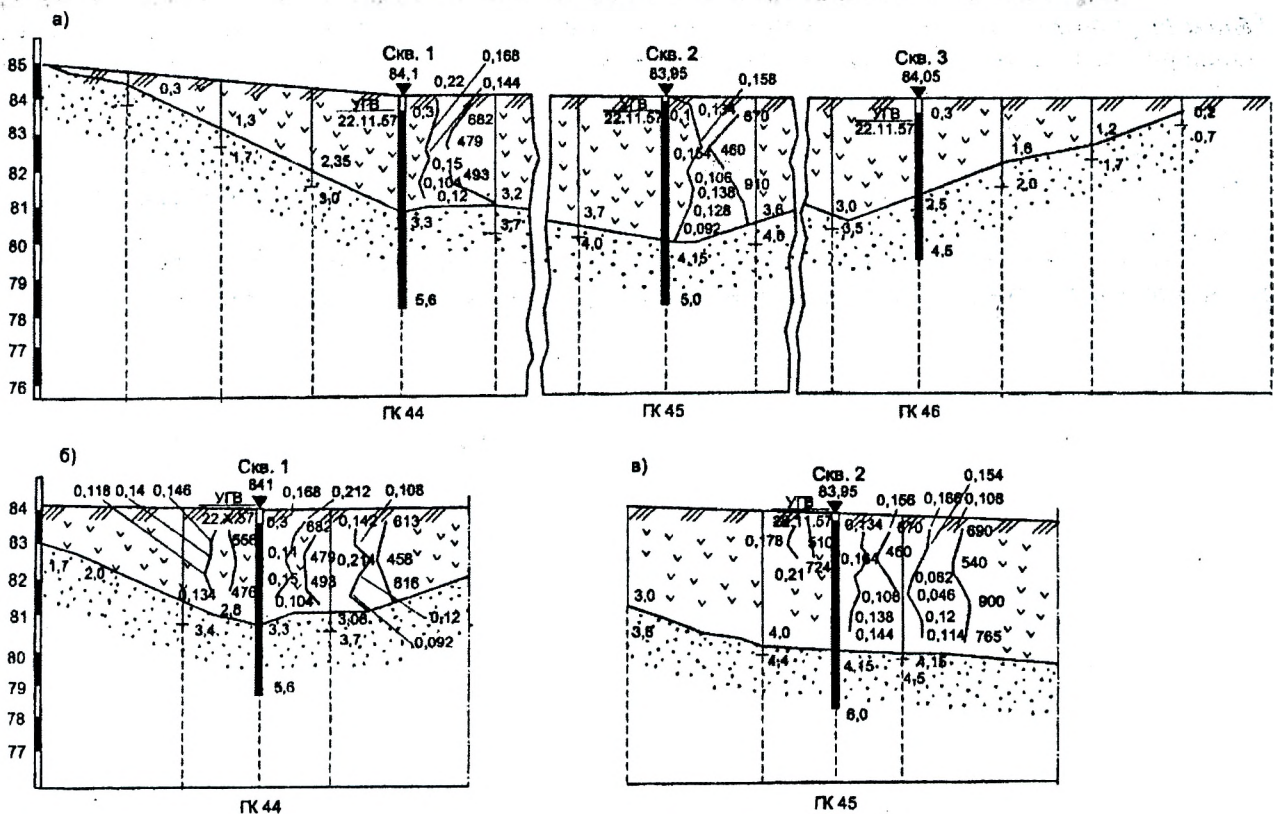


Рис. 20.3. Геологические разрезы по трассе: а – продольный разрез по оси дороги; б – поперечный разрез на ГК 44; в – поперечный разрез на ГК 45. Расстояние между скважинами – 25 м

На основе количественной оценки механических свойств фунтов слабой толщи должна быть проведена предварительная оценка слабой толщи как основания насыпи.

В результате обобщения всех данных обследования должно быть сделано заключение о принципиальной возможности или невозможности (нецелесообразности) использования слабой толщи в качестве основания и указаны конструкции, которые могут рассматриваться в качестве конкурирующих вариантов при дальнейшей разработке проекта.

Состав и объем работ, выполняемых при обследовании, методика их выполнения, применяемые способы определения свойств грунтов и аппаратура зависят от стадии проектирования и этапа изысканий.

При составлении технико-экономического расчета необходимо иметь данные о границах, глубине и типе болота, а также знать категорию проектируемой дороги и тип покрытия.

При разработке проектной документации необходимо иметь следующие материалы инженерно-геологических изысканий:

- геологический профиль болота по оси дороги и на расчетных поперечниках с указанием стратиграфического строения болотной залежи и положения уровня грунтовых вод;
- основные физические (влажность, плотность, коэффициент пористости, степень разложения, содержание органических веществ и карбонатов кальция) и механические (сопротивление сдвигу по крыльчатке, результаты компрессионных или штамповых испытаний) характеристики выделенных однородных слоев болотной залежи;
- геотехнические модели болотной залежи, построенные с использованием статистических методов обработки результатов испытаний применительно к расчету устойчивости, и осадки с выделенными слоями и расчетными показателями;
- характеристики грунтов минерального дна болота (гранулометрический состав и водопроницаемость);
- расчетные характеристики (прочностные и деформационные) грунтов земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожной одежды.



**Во всех случаях при изысканиях следует стремиться обойти участки со слабыми грунтами** или, при невозможности обхода, пересечь их в наиболее узком месте и с меньшей мощностью слабых грунтов. Варианты трассы намечают по картам масштаба 1:25000 (1:10000) или по материалам аэрофотосъемки с последующим осмотром на месте назначенных вариантов.

На пересечении трассой участков слабых грунтов должны быть сняты план масштаба 1:5000-1:1000 с сечением рельефа через 0,25-0,50 м, продольные и поперечные профили и проведен первый этап инженерно-геологического обследования.

Реперы на участках слабых грунтов закладывают на возвышенных местах, в плотных минеральных грунтах, где исключается возможность их осадки или смещения.

## 21. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ

### 21.1. Общие принципы проектирования земляного полотна на слабых грунтах

**К слабым грунтам** относятся 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.

Земляное полотно на слабых грунтах проектируют в виде насыпей, расчет которых должен осуществляться с учетом особенностей работы всей дорожной конструкции.

Требования к уплотнению грунтов земляного полотна, а также необходимое возвышение низа дорожной одежды над расчетным уровнем поверхностных и грунтовых вод приведены в табл. 21.1 и 21.2.

Таблица 21.1. Наименьший коэффициент уплотнения грунта

Виды земляного сооружения	Части земляного полотна	Глубина расположения слоя от поверхности покрытия, м	Коэффициент уплотнения грунта в случаях применения дорожных одежд	
			капитальных	облегченных
Насыпи	рабочий слой	< 1,5	1,0-0,98	0,98-0,95
	нижняя неподтопляемая	1,5-6,0	0,95	0,95
		> 6,0	0,98	0,95
	нижняя подтопляемая	1,5-6,0	0,98-0,95	0,95
> 6,0		0,98	0,95	
Выемки и нулевые места	в слое сезонного промерзания	< 1,2	1,00-0,98	0,98-0,95
	ниже слоя сезонного промерзания	< 1,2	0,95	0,95-0,92

**Примечания.** 1. Большие значения коэффициентов уплотнения грунта следует принимать в случаях применения цементобетонных покрытий и оснований. 2. Требуемую степень уплотнения крупнообломочных природных и техногенных грунтов в верхней части (активной зоне) земляного полотна следует устанавливать по результатам пробного уплотнения.

Таблица 21.2. Возвышение низа дорожной одежды над уровнем грунтовых, поверхностных вод и поверхностью земли

Грунт верхней части (рабочий слой) земляного полотна	Наименьшее возвышение низа дорожной одежды, м	
	над поверхностью земли на участках 2-го типа местности	над уровнем грунтовых или длительно стоящих вод на участках 3-го типа местности
Песок средней крупности, мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	0,5	0,7
Песок пылеватый, суглинок легкий	0,6	1,2
Супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, тяжелый и тяжелый пылеватый, глины	0,8	1,9

За расчетный уровень грунтовых вод (УГВ) следует принимать максимально возможный за срок службы дорожной одежды. Положение расчетного УГВ устанавливается по данным разовых замеров на период изысканий на основе статистического метода, с учетом климатических и грунтово-гидрологических условий района строительства. При отсутствии данных наблюдений, а также при наличии верховодки за расчетный допускается принимать уровень, определяемый по верхней линии оглеения грунтов.

Низ дорожной одежды определяют по границе последнего по глубине конструктивного слоя одежды, учитываемого при расчете на прочность.

Возвышение низа дорожной одежды на участках насыпей, проектируемых с откосами крутизной менее 1:1,5, а также с бермами, допускается уточнять на основании расчета.

При наличии в рабочем слое земляного полотна различных грунтов возвышение следует назначать по грунту, для которого требуется возвышение имеет наибольшее значение.

**Дорожная конструкция земляного полотна** включает дорожную одежду, земляное полотно и слабое основание, состоящее из одного или нескольких слоев слабого грунта.



Для болот слой грунта, кровля которого является дном болотной залежи, считается несжимаемым.

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

- удаление слабого грунта и замена его или применение эстакад;
- использование слабого грунта в качестве основания насыпи с применением мероприятий, обеспечивающих устойчивость основания и ускорение его осадки, а также прочность дорожной одежды, сооружаемой на таком земляном полотне.

*Принцип и конкретное проектное решение по конструкции насыпи выбирается на основе технико-экономического сравнения вариантов с учетом:*

- категории автомобильной дороги и типа дорожной одежды;
- требуемой высоты насыпи и качества имеющегося для ее отсыпки грунта;
- протяженности участка со слабыми грунтами;
- вида и особенностей свойств слабых грунтов, залегающих на участке, и особенностей строения слабой толщи (мощность, наличие переслаивания, уклона кровли подстилающих пород и т.д.);
- условий производства работ, в том числе сроков завершения строительства, климата района, времени года, когда будут выполняться земляные работы, дальности возки грунта, возможности строительной организации (обеспеченность транспортом, наличие специального оборудования и т.п.).

Использование слабого грунта во многих случаях существенно снижает стоимость и трудоемкость работ, повышает темпы строительства, поэтому отказ от его использования должен быть обоснован технико-экономическим анализом с учетом конкретных условий. Такой анализ осуществляется на основе прогнозов устойчивости, конечной величины и длительности осадки слабой толщи при возведении на ней насыпи.

*Земляное полотно на слабых грунтах проектируют в комплексе с дорожной одеждой с учетом общих требований, предъявляемых к ним, и следующих дополнительных требований, обусловленных особенностями слабых грунтов:*

**а) устойчивости** – не допускается возможность выпора (или выдавливания) слабого грунта из-под насыпи в период ее эксплуатации;

**б) стабильности** – не допускается устройство дорожной одежды до завершения консолидации слабого грунта в основании насыпи;

**в) прочности** – упругие прогибы и колебания дорожной одежды и насыпи, вызываемые действием транспортной нагрузки, не должны превышать величин, допустимых для принятого типа покрытия.

Для исключения недопустимых упругих колебаний толщина насыпей, сооружаемых на торфяных основаниях, должна быть не менее указанной в таб. 21.3. Для насыпей на торфяном основании, толщина которых по статическому расчету менее значений, приведенных в табл. 21.3, необходимо провести динамический расчет с целью проверки допустимости усорений колебаний земляного полотна по условиям вибрационной прочности покрытия.

Таблица 21.3. Минимальная толщина насыпного слоя, м

Начальная мощность слабого слоя	Тип дорожной одежды		
	Капитальный	Облегченный	Переходный
1	2,0	1,5	1,2
2	2,5	2,0	1,5
4	3,0	2,5	2,0
6	3,0	3,0	2,5

**Примечания.** 1. Для промежуточных значений начальной мощности сжимаемого слоя требуемая толщина устанавливается линейной интерполяцией. 2. Толщина насыпи в данном случае определяется разностью отметок поверхности проезжей части и просевшей подошвы насыпи по оси земляного полотна. При наличии погребенного слоя торфа (слоя, перекрытого сверху слоем песчаного или глинистого грунта) толщина перекрывающего слоя включается в толщину насыпи. Допускается для конструктивных слоев, обладающих прочностью на растяжение, учитывать эквивалентную толщину.

Земляное полотно на участках залегания слабых грунтов следует проектировать не менее чем в **две стадии**, которые могут быть назначены после технико-экономического обоснования проекта дороги:

**1. На первой стадии** выделяют участки, для которых дальнейшая проработка варианта с использованием слабого грунта в основании нецелесообразна, и участки, где этот вариант может быть целесообразным. Применительно к первым участкам принимается окончательное решение (за исключением особо сложных случаев, где удаление слабых грунтов связано с применением специальных методов).

**2.** Для участков, где использование слабых грунтов представляется целесообразным, принимают предварительное решение, которое затем подлежит уточнению на следующей стадии проектирования. Все уточнения **на второй стадии** не должны увеличивать смету строительства.

*В особо сложных случаях, когда требуются специальные обследования и опытные работы, земляное полотно следует проектировать в три стадии.*

Конструкция земляного полотна на участках слабых грунтов назначается на основе технико-экономических расчетов и сравнения вариантов.

*Для обоснования выбора конструкции земляного полотна проект должен содержать:*

- материалы подробного инженерно-геологического обследования грунтовой толщи на участках залегания слабых грунтов, включая данные по мощности и расположению их в плане, глубине отдельных слоев и расчетным значениям физико-механических характеристик грунтов этих слоев, положению уровня грунтовых вод и т.п.;
- исходные данные по проектируемой насыпи (высота и другие геометрические параметры, а также свойства грунтов, укладываемых в насыпь) и расчетные условия движения;
- результаты инженерных расчетов, обосновывающие принятую конструкцию;
- указания по порядку сооружения запроектированной конструкции.

Объем, состав и методы получения данных, необходимых для обоснования конструкции земляного полотна, также как и методы расчетов, зависят от стадии проектирования.

**Земляное полотно на участке залегания слабых грунтов в общем случае проектируют в следующем порядке:**

- 1) на основе инженерно-геологических обследований намечают расчетные участки и устанавливают расчетные параметры слабой толщи и характеристик слагающих ее грунтов;
- 2) устанавливают минимально допустимую высоту насыпи на данном участке, руководствуясь условиями водно-теплового режима, снегонезаносимости и исключения упругих колебаний;
- 3) с учетом минимально допустимой высоты наносят красную линию, устанавливают расчетную высоту насыпи и намечают расчетные поперечники;
- 4) определяют расчетом величину осадки;
- 5) проверяют устойчивость основания;
- 6) прогнозируют длительность завершения осадки;
- 7) намечают варианты конструктивно-технологических решений, обеспечивающих, в случае необходимости, повышение устойчивости, ускорение осадки или снижение ее величины;
- 8) выполняют расчеты по этим вариантам и выбирают оптимальный;
- 9) дают рекомендации по наиболее рациональной технологии, механизации и организации работ;
- 10) выполняют наблюдения в процессе строительства и вносят коррективы в расчеты по фактическим данным (в случае необходимости) с целью уточнения объемов земляных работ, режима возведения насыпи, сроков устройства дорожной одежды и т.д.

После определения толщины проектируемой насыпи тип основания по устойчивости уточняют специальным расчетом, который приведен ниже.



## 21.2. Оценка возможности использования болотной залежи в качестве основания насыпи

Возможность использования болотной залежи в качестве основания насыпи устанавливают в зависимости от типа основания по устойчивости. На первом этапе расчета тип основания по устойчивости и характер специальных мероприятий, необходимых для использования болотного грунта в качестве основания проектируемой насыпи, определяют в зависимости от состава строительных типов болотных грунтов, слагающих болотную залежь (табл. 21.4).

Таблица 21.4. Типы оснований по устойчивости

Строительные типы грунтов, слагающих болотную залежь	Тип основания по устойчивости	Преобладающая деформация грунта наиболее слабого слоя	Возможность использования болотной залежи в качестве несущего слоя
Только тип 1	I	Сжатие	Можно использовать
Тип 2 обязателен. Возможно наличие типа 1	II	При быстрой отсыпке – сдвиг (выдавливание, выпор), при медленной – сжатие	Можно использовать при постепенном загрузении
Тип 3а обязателен. Возможно наличие типов 1 и 2	III А	При быстрой отсыпке – сдвиг (выдавливание, выпор), при медленной – сжатие и частичное выдавливание	Можно использовать при постепенном загрузении
Преимущественно тип 3б. Возможно наличие других типов	III Б	Сдвиг (выдавливание, выпор) при любой скорости отсыпки	Нельзя использовать (следует изменить конструкцию насыпи или удалить слабый грунт)

*Примечание.* При толщине наиболее слабого слоя менее 5% от общей мощности болотной залежи его наличие при определении типа основания по устойчивости не учитывают.

Строительный тип болотного грунта определяют по табл. 21.5 в зависимости от величины сопротивления сдвигу, устанавливаемой путем испытаний с помощью крыльчатки в условиях природного залегания.

Таблица 21.5. Строительные типы болотных грунтов

Разновидность болотного грунта по состоянию	Осушенный (уплотненный) или мало-влажный	Средней влажности	Очень влажный	Избыточно влажный и жидкие образования
Сопротивление сдвигу по крыльчатке $\tau$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	>0,015 (>0,15)	0,010-0,015 (0,10-0,15)	0,005-0,010 (0,05-0,10)	< 0,005 (< 0,05)
Строительный тип болотного грунта	1	2	3а	3б

После определения толщины проектируемой насыпи тип основания по устойчивости уточняют специальным расчетом, который приведен ниже.

### 21.3. Статический расчет прочности дорожной одежды

Расчет прочности дорожной одежды производят согласно Пособию 3.03.01 из условия, что упругий вертикальный прогиб на поверхности покрытия не превышает предельно допустимых величин.

Требуемое значение модуля упругости на поверхности насыпи ( $E_{\text{общ}}^{\text{н}} \text{ треб}$ ) (рис. 21.1) определяют по табл. 21.6 на основе известных отношений  $H_{\text{од}}/D$  и  $E_{\text{общ}}/E_{\text{ср од}}$ , где  $E_{\text{общ}}$  – общий требуемый модуль упругости на поверхности покрытия, МПа;  $E_{\text{ср од}}$  – средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа, который определяется по формуле

$$E_{\text{ср од}} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots + E_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} = \frac{\sum_1^n E_i h_i}{H_{\text{од}}}, \quad (21.1)$$

где  $H_{\text{од}}$  – толщина дорожной одежды, см;  $D$  – диаметр отпечатка колеса расчетного автомобиля, см;  $h_1, h_2, \dots, h_n$  – толщина конструктивных слоев дорожной одежды, см;  $E_1, E_2, \dots, E_n$  – модули упругости конструктивных слоев дорожной одежды, МПа.

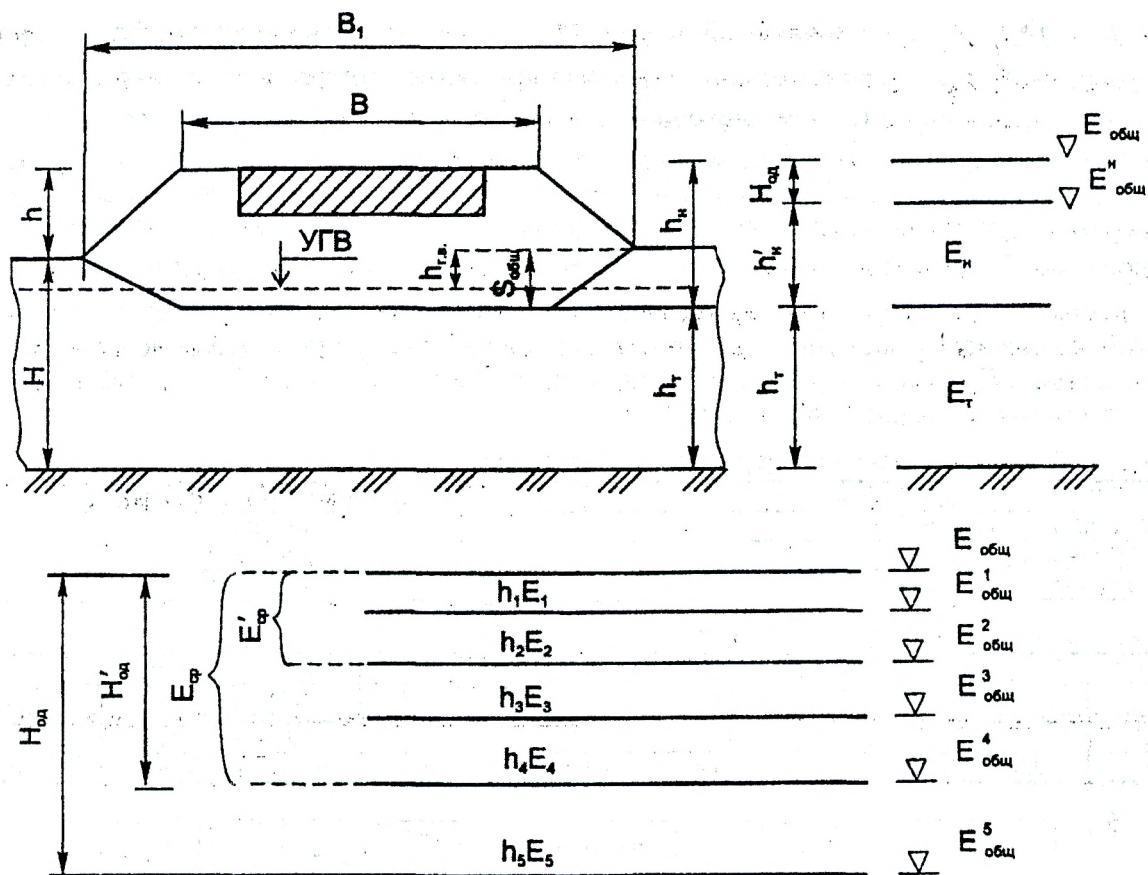


Рис. 21.1. Расчетная схема

Таблица 21.6. Общий модуль упругости на поверхности насыпи

$E_{ср.од}$ $E_{общ\ треб}^n$	$E_{общ} / E_{ср.од}$ для значений $H_{од} / D$															
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2
7	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,33	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
8	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42
9	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,35	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,40
10	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
11	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37
12	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36
13	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,26	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35
14	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34
15	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
20	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29

#### 21.4. Расчет толщины насыпного слоя

Проектируемая насыпь на основании из болотного грунта должна иметь достаточную толщину, чтобы обеспечить заданную прочность дорожной одежды. Соблюдение этого требования возможно, если фактический модуль упругости системы насыпь – болотный грунт равен требуемому модулю упругости ( $E_{общ\ треб}^n$ ), полученному по результатам расчета дорожной одежды.

Фактический модуль упругости на поверхности насыпи (модуль упругости системы насыпь – болотный грунт) определяют по формуле

$$E_{общ}^n = \frac{E_H E_T}{E_T \cdot m + E_H \cdot K \cdot n \cdot \eta}, \quad (21.2)$$

где  $E_H$  – модуль упругости грунта насыпи, принимаемый по данным таблицы 21.7 или на основе результатов испытаний, МПа;  $E_T$  – модуль упругости болотного грунта, уплотненного массой насыпи, который определяют по данным компрессионных или штамповых испытаний, МПа. Для торфяных грунтов  $E_T$  допускается определять по экспериментальной зависи-



мости  $E_T = f(\rho_d; \lambda_{сж})$ , приведенной на рис. 21.2 ( $\rho_d$  – плотность сухого торфа в природном залегании, г/см<sup>3</sup>;  $\lambda_{сж}$  – относительная деформация сжатия торфа, уплотненного массой насыпи);  $m$  – коэффициент, учитывающий относительную толщину насыпного слоя  $h'_H / D$  (табл. 21.8);  $D$  – диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса расчетного автомобиля;  $K$  – комплексный коэффициент, учитывающий конечные размеры слоя торфа и распределяющую способность насыпи, определяется по графику (рис. 21.3а) в зависимости от отношений  $h'_H / D$  и  $h_T / D$  ( $h_T = H - S_{общ}$ , где  $H$  – глубина болота, м);  $\eta$  – коэффициент изменения контактного напряжения в слоях различных жесткостей, зависящий от отношения жесткостей, выражаемых модулями упругости. Численные значения коэффициента  $\eta$  как функции отношения  $E_H / E_T$  для  $h'_H > 2D$  определяют по графику (рис. 21.3б);  $n$  – коэффициент, значения которого принимают по табл. 21.9.

Таблица 21.7. Значения модулей упругости песчаных грунтов

Вид грунта	Модуль упругости $E_H$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
Пески крупные и гравелистые	130(1300)
Пески средней крупности	120(1200)
Пески мелкие	100(1000)

Таблица 21.8. Значения коэффициента  $m$

$h'_H / D$	0,2	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$m$	0,198	0,496	0,658	0,761	0,817	0,854	0,876	0,892
$h'_H / D$	4	5	6	8	10	12	16	20
$m$	0,907	0,925	0,938	0,953	0,963	0,968	0,977	0,988

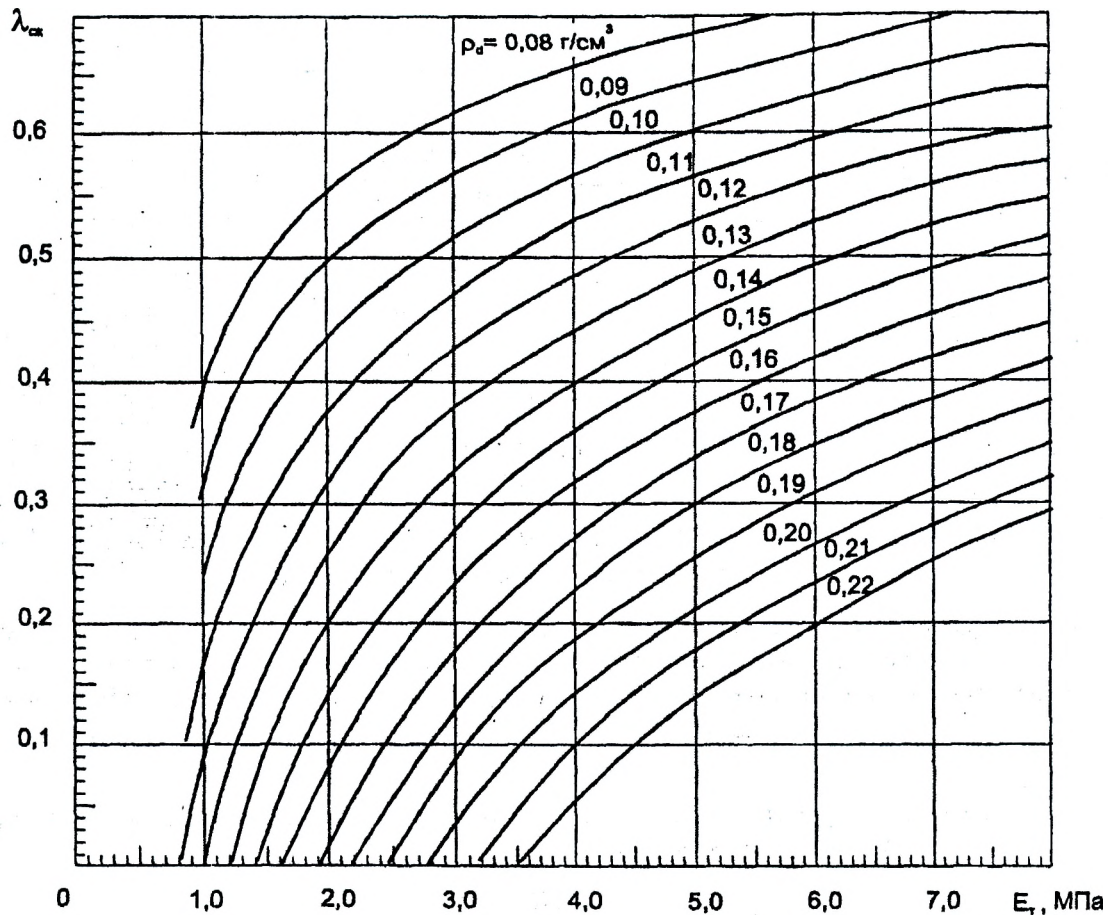


Рис. 21.2. Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания

Таблица 21.9. Значения коэффициента  $n$

$h'_H / D$	<2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	>5,0
$n$	5,0	4,0	3,0	2,0	1,5	1,3

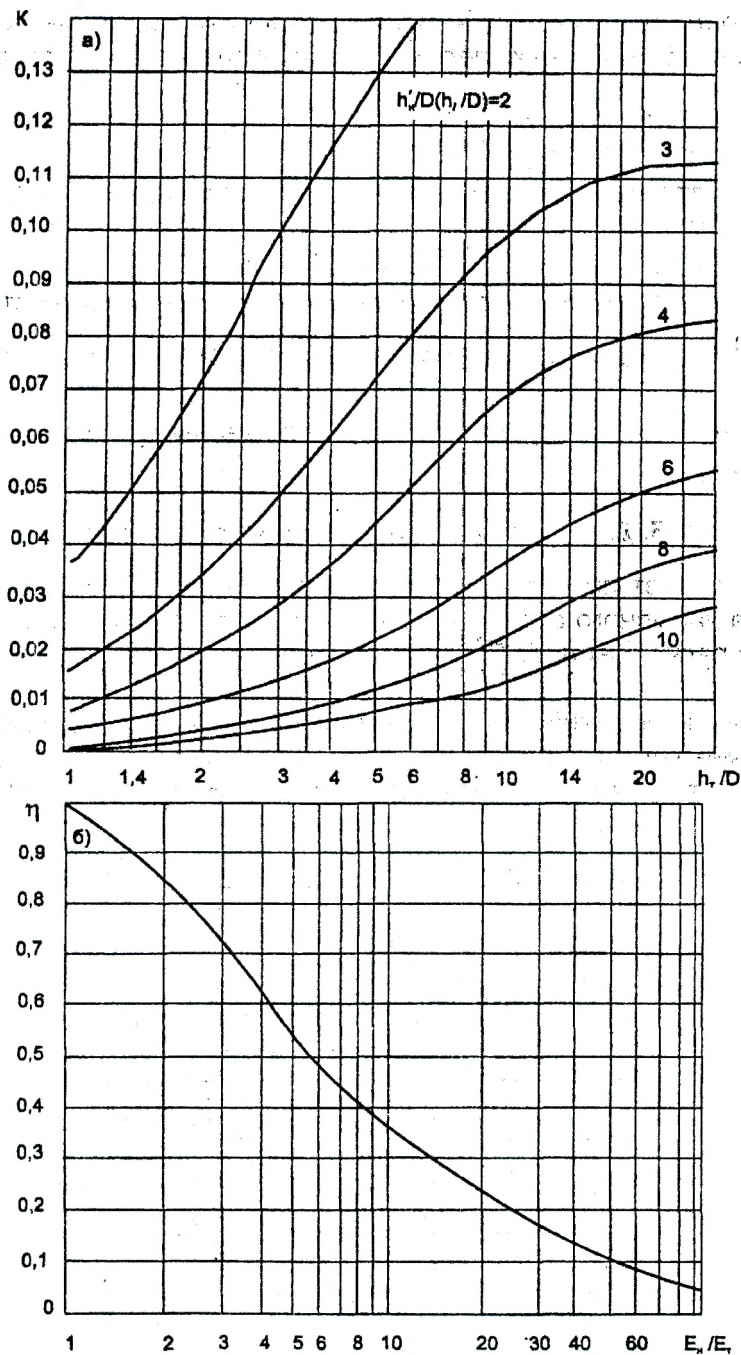


Рисунок 21.3. Графики для определения коэффициентов  $K$  и  $\eta$

Толщина насыпного слоя, исчисляемая от низа дорожной одежды до подошвы насыпи  $h'_n$  (см. рис. 21.1) определяется как

$$h'_n = h + S_{\text{общ}} - H_{\text{од}}, \quad (21.3)$$

где  $h$  – высота насыпи, м;  $S_{\text{общ}}$  – осадка слабого основания, м;  $H_{\text{од}}$  – толщина дорожной одежды, м.

Учитывая, что толщина и модуль упругости торфа под насыпью зависят от толщины насыпного слоя, которая подлежит определению, расчет ведут методом последовательного приближения. **Высоту насыпи ( $h$ ) принимают по условиям:**

- проектирования продольного профиля;
- соблюдения требований водно-теплового режима;
- снегонезаносимости;
- обеспечения минимальной толщины насыпи по условиям динамического расчета земляного полотна.



В первом приближении высоту насыпи по условиям динамического расчета принимают при капитальных, облегченных, переходных и низших типах покрытия соответственно равной, м:

- для болот глубиной до 4 м                   – 1,5;    1,2;    1,0;    1,0;
- для болот глубиной более 4 м               – 1,0;    0,8;    0,6;    0,6.

Далее производят расчет осадки основания насыпи ( $S_{сж}$ ) и ( $\lambda_{сж}$ ) (см. ниже) и определяют модуль упругости ( $E_T$ ) торфяного основания (см. рис. 21.2), уплотненного массой насыпи расчетной толщины  $h_n = h + S_{общ}$ . Затем сравнивают значение ( $E_{общ}^H$ ), рассчитанное по формуле (21.2), с ( $E_{общ\ треб}^H$ ), требуемым по условиям прочности и жесткости дорожной одежды. Если ( $E_{общ}^H$ ) меньше ( $E_{общ\ треб}^H$ ), необходимо увеличить толщину насыпного слоя и повторить расчет.

Расчет толщины насыпи считается законченным, если выполнено условие  $E_{общ}^H \geq E_{общ\ треб}^H$ , с точностью 5%.

### 21.5. Динамический расчет земляного полотна

Динамический расчет производят только для насыпей, в основании которых залегает торф, если толщина насыпного слоя, рассчитанного статическим методом, менее 3 м.

Динамический расчет сводится к удовлетворению следующего условия

$$a_{факт} \leq a_{доп}, \tag{21.4}$$

где  $a_{факт}$  – ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе, мм/с<sup>2</sup>;  $a_{доп}$  – предельно допустимое ускорение колебаний насыпи на торфе, определяемое в зависимости от типа проектируемого покрытия и частоты колебаний насыпи, мм/с<sup>2</sup> (рис. 21.4).

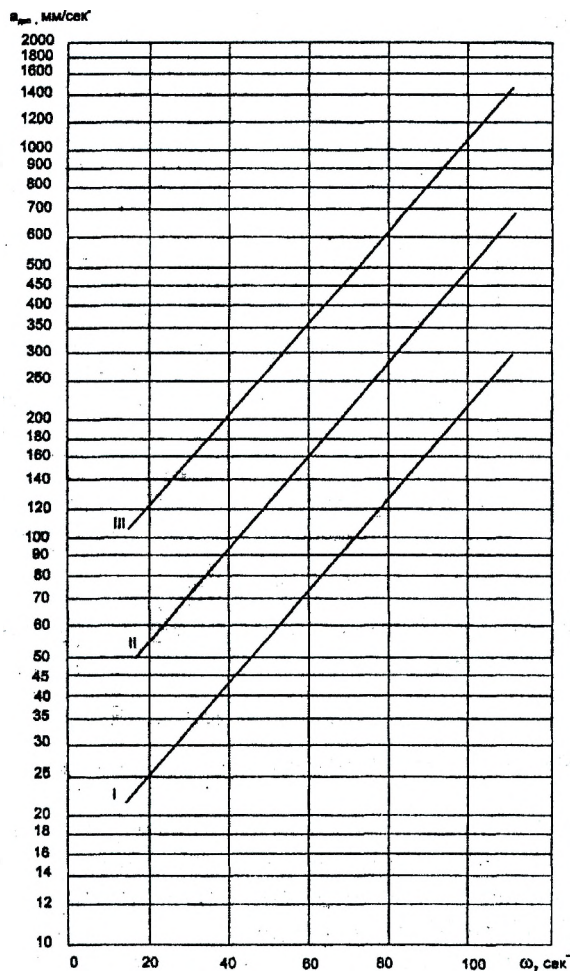


Рис. 21.4. Предельно допустимые ускорения колебаний земляного полотна для: I – усовершенствованных капитальных покрытий; II – усовершенствованных облегченных покрытий; III – переходных покрытий

Ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе определяется по формуле

$$a_{\text{факт}} = A \cdot \omega^2, \quad (21.5)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний насыпи мм/с;  $\omega$  – круговая частота собственных колебаний насыпи, 1/с.

Амплитуду колебаний насыпи на торфе определяют по формуле

$$A = l \cdot (K_{\text{дин}} - 1), \quad (21.6)$$

где  $l$  – упругий прогиб торфяного основания, вызываемый статической нагрузкой от колеса расчетного автомобиля, мм/с;  $K_{\text{дин}}$  – динамический коэффициент, характеризующий увеличение прогиба за счет эффекта подвижности нагрузки.

**Динамический расчет необходимо производить в такой последовательности:**

- 1) определить частоту собственных колебаний насыпи на торфяном основании;
- 2) определить амплитуду колебаний насыпи;
- 3) вычислить ускорение колебаний проектируемой насыпи;
- 4) определить предельно допустимые ускорения колебаний;
- 5) проверить допустимость ускорений колебаний проектируемой насыпи;
- 6) наметить мероприятия по уменьшению ускорений колебаний, если они превышают предельно допустимые величины.

### 21.6. Определение частот собственных колебаний насыпей на торфяном основании

При определении частот собственных колебаний насыпи в зависимости от отношения ее толщины к толщине оставляемого слоя торфа следует рассматривать два расчетных случая: **первый** –  $h_n/h_m > 0,5$  и **второй** –  $h_n/h_m < 0,5$ .

Частоты собственных колебаний насыпей на торфяном основании определяют по формулам:

а) для 1-го расчетного случая

$$\omega = \sqrt{\frac{E_{\text{пр}} \cdot g}{P_{\text{расч}} \cdot h_n \cdot \eta \cdot \alpha_o}}; \quad (21.7)$$

б) для 2-го расчетного случая

$$\omega = \frac{1}{h_T} \sqrt{\frac{E_{\text{пр}} \cdot g}{\rho_T \cdot \left(1 + \frac{K_2}{3K_1}\right)} \cdot \frac{K_2}{K_1}}; \quad (21.8)$$

где  $E_{\text{пр}}$  – приведенный модуль упругости торфа, учитывающий отсутствие боковых перемещений колеблющейся призмы торфяного основания, МПа

$$E_{\text{пр}} = E_T \cdot \frac{(1 - \mu)^2}{1 - 2\mu}; \quad (21.9)$$

$\mu$  – среднее значение коэффициента Пуассона для торфа. При отсутствии данных испытаний допускается принять  $\mu = 0,35$ . В этом случае  $E_{\text{пр}} = 1,141 E_T$ ;  $g$  – ускорение свободного падения, см/с<sup>2</sup>;  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты, рассчитываемые по формулам  $K_1 = h_n / h_T$  и  $K_2 = \rho_T / \rho_n$ ;  $h_n$  – общая толщина насыпного слоя, см;  $h_T$  – толщина слоя торфа под насыпью, см;  $\rho_T$  и  $\rho_n$  – соответственно средние плотности грунта торфа и насыпи, г/см<sup>3</sup>;  $\eta$  – коэффициент, определяемый по графику (см. рис. 21.3б);  $P_{\text{расч}}$  – расчетная нагрузка на основание, кг/см<sup>2</sup> (см. ниже);  $\alpha_o$  – коэффициент М.И. Горбунова-Посадова, определяемый в зависимости от отношения  $2h_T/D$  по табл. 21.10.

Таблица 21.10. Значения коэффициентов  $\alpha_o$

$2h_T/D$	$\alpha_o$	$2h_T/D$	$\alpha_o$	$2h_T/D$	$\alpha_o$	$2h_T/D$	$\alpha_o$
0,00	0,00	1,0	0,50	3	0,81	10	0,94
0,25	0,13	1,5	0,64	4	0,86	20	0,97
0,50	0,26	2,0	0,73	5	0,89	50	0,99
0,75	0,39	2,5	0,78	7	0,92	∞	1,00



Общая толщина насыпного слоя определяется по формуле (см. рис. 21.1)

$$h_n = h + S_{\text{общ}} = H_{\text{од}} + h'_n. \quad (21.10)$$

Упругий прогиб торфяного основания вычисляется по формуле

$$l = \frac{\rho \cdot D}{E_T} \cdot K \cdot \eta \cdot n, \quad (21.11)$$

где  $\rho$  и  $D$  – параметры расчетной нагрузки.

Динамический коэффициент ( $K_{\text{дин}}$ ), равный отношению максимального динамического прогиба торфяного основания, вызываемого движущимся автомобилем, к величине статического прогиба, определяют по графику (рис. 21.5) в зависимости от коэффициента демпфирования ( $\psi$ ), который для 1-го расчетного случая равен  $8,6/\omega$ ; для 2-го –  $0,33/E_T$  ( $E_T$  в МПа).

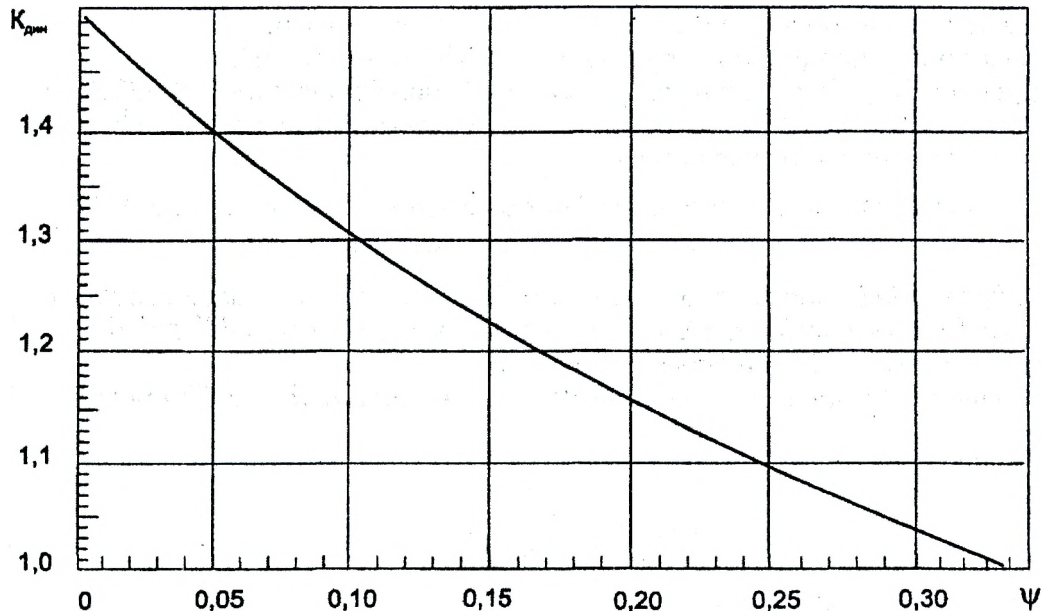


Рис. 21.5. График для определения динамического коэффициента  $K_{\text{дин}}$

В случаях, когда не выполняется требование формулы (21.4), обеспечивающее допустимые колебания насыпи на торфе, находящейся под действием динамической нагрузки, необходимо наметить мероприятия по снижению колебаний:

1) основным и наиболее простым способом снижения ускорений колебаний земляного полотна на торфяном основании является увеличение толщины насыпного слоя, что обеспечивает уменьшение частот и амплитуд колебаний и, в конечном счете, снижает ускорение колебаний.

2) если по условиям продольного профиля поднятие насыпи нежелательно, то для увеличения толщины насыпного слоя можно пользоваться методами перегрузки или частичного выторфовывания.

### 21.7. Расчет устойчивости слабого основания дорожной насыпи

Степень устойчивости основания при воздействии на него нагрузки от массы сооружаемого земляного полотна оценивают по величине коэффициента безопасности наиболее слабого слоя. Коэффициент безопасности ( $K_{\text{без}}$ ) определяют как отношение безопасной нагрузки ( $P_{\text{без}}$ ) к расчетной ( $P_{\text{расч}}$ ) и  $K_{\text{без}} = P_{\text{без}} / P_{\text{расч}}$ .

Величину безопасной нагрузки, которую можно приложить к слабому основанию, находящемуся в природном (неконсолидированном) состоянии, при быстрой отсыпке насыпи определяют по формуле

$$P_{\text{без}}^{\text{нач}} = N \cdot \tau, \quad (21.12)$$

где  $N$  – параметр, зависящий от ширины насыпи по подошве и относительной глубины расположения слабого слоя, значения которого следует принимать по табл. 21.11;  $\tau$  – сопротивление сдвигу слабого грунта в природном залегании по данным испытаний крыльчаткой, МПа.

Таблица 21.11. Значения коэффициента  $N$

Относительная глубина расположения расчетного слоя с минимальным сопротивлением сдвигу (в долях от ширины насыпи по подошве)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
Значения коэффициента $N$	5,25	3,84	3,51	3,34	3,23

Расчетную нагрузку ( $P_{расч}$ ) определяют по методике, приведенной ниже.

В зависимости от значений ( $K_{без}^{нач}$ ) определяют тип основания по устойчивости:

- $K_{без}^{нач} \geq 1$  – основание I типа;
- $1 > K_{без}^{нач} \geq 0,7$  – основание II типа;
- $0,7 > K_{без}^{нач} \geq 0,2$  – основание III А типа;
- $K_{без}^{нач} < 0,2$  – основание III Б типа.

Расчет безопасной нагрузки предварительно консолидированных оснований осуществляют по следующей формуле

$$P_{без}^{кон} = \frac{N \cdot \tau}{(1 - U_o \cdot \lambda_{сж})^3}, \quad (21.13)$$

где  $\lambda_{сж}$  – величина относительной конечной осадки сжатия основания при предварительном уплотнении;  $U_o$  – степень консолидации при предварительном уплотнении.

### 21.8. Расчет осадки земляного полотна

Прогноз конечной величины осадки. Величину погружения насыпи в болотную залежь (осадку насыпи) определяют по формуле

$$S_{общ} = S_{сж} + S_{от}, \quad (21.14)$$

где  $S_{общ}$  – общая осадка насыпи, м;  $S_{сж}$  – осадка сжимающихся (уплотняющихся) слоев болотной залежи, м;  $S_{от}$  – осадка отдавливаемых слоев болотной залежи (м), происходящая за счет выдавливания (выпора) слабых грунтов при любой скорости отсыпки, частичного выдавливания грунтов типа 3а при невозможности их предварительного уплотнения в течение строительного периода вследствие того, что в силу их высокой сжимаемости и низкой прочности нагрузка от возводимой насыпи растет быстрее, чем упрочнение слабого грунта, боковых деформаций слабых грунтов строительного типа 2 при интенсивности отсыпки насыпи в первые десять суток более 2,0 м.

Осадку ( $S_{от}$ ) вычисляют по формуле

$$S_{от} = \sum_I^n \lambda_{i\text{от}} \cdot h_i = \sum_I^n S_{i\text{от}}, \quad (21.15)$$

где  $S_{i\text{от}}$  – осадка  $i$ -го отдавливаемого слоя;  $\lambda_{i\text{от}}$  – относительная деформация  $i$ -го отдавливаемого слоя толщиной  $h_i$ ;  $n$  – количество расчетных слоев болотной залежи.

Относительную деформацию ( $\lambda_{от}$ ) определяют по табл. 21.12 в зависимости от величины сопротивления сдвигу ( $\tau$ ) по крыльчатке расчетного слоя в природном залегании.

Таблица 21.12. Относительная деформация  $\lambda_{от}$

$\tau$ , МПа	$\lambda_{от}$	$\tau$ , МПа	$\lambda_{от}$	$\tau$ , МПа	$\lambda_{от}$
0,001	1,00	0,006	0,55	0,011	0,20
0,002	1,00	0,007	0,45	0,012	0,15
0,003	1,00	0,008	0,37	0,013	0,10
0,004	0,82	0,009	0,30	0,014	0,05
0,005	0,67	0,010	0,25	0,015	0,00

Осадку ( $S_{сж}$ ) определяют по формуле

$$S_{сж} = \sum_I^n \lambda_{i\text{сж}} (h_i - S_{i\text{сж}}), \quad (21.16)$$

где  $\lambda_{i\text{сж}}$  – относительная вертикальная деформация расчетного слоя, полученная по данным испытаний в компрессионном приборе для нагрузки, действующей на этот слой.



При расчете осадки слабое основание разбивают на расчетные слои в соответствии с геологическим строением, прочностными и деформативными свойствами слабых грунтов и величиной действующих вертикальных напряжений по глубине.

При относительной мощности слабого основания  $H/B_1 < 0,5$  ( $H$  – мощность слабых грунтов,  $B_1$  – ширина насыпи по подошве) вертикальные напряжения по глубине можно считать постоянными. Величину напряжений для всей мощности залежи в этом случае принимают равной величине расчетной нагрузки ( $P_{расч}$ ). При  $H/B_1 > 0,5$  величину напряжений следует рассчитывать по методике, изложенной в Пособии Д2-01 (приложение К).

Расчетную нагрузку ( $P_{расч}$ ), действующую на болотную залежь от массы возводимой насыпи, определяют с учетом положения уровня грунтовых вод

$$P_{расч} = K_o \cdot \lambda_{сж} + P_o, \quad (21.17)$$

где  $\lambda_{сж}$  – относительная осадка сжатия основания

$$\lambda_{сж} = \frac{S_{сжс}}{H - S_{от}}. \quad (21.18)$$

Параметры нагрузки ( $K_o$ ) и ( $P_o$ ) определяют по следующим формулам:

$$K_o = \rho_n^{63g} \cdot H \cdot (1 - \lambda_{от}); \quad (21.19)$$

$$P_o = \rho_n(h + h_{2g}) + \rho_n^{63g}(H\lambda_{от} - h_{2g}), \quad (21.20)$$

где  $\rho_n$  и  $\rho_n^{63g}$  – соответственно, плотности грунта насыпи, расположенного выше и ниже уровня грунтовых вод,  $кг/м^3$ ;  $h$  – проектная высота насыпи (рабочая отметка), м;  $h_{2g}$  – расстояние от поверхности болота до горизонта грунтовых вод (см. рис. 21.1), м;  $\lambda_{от} = S_{от} / H$ ;  $H$  – глубина болота, м.

Если  $h_{2g} > S_{общ}$  в формулах (21.19) и (21.20) принимают  $\rho_n^{63g} = \rho_n$ .

Параметры сжимаемости ( $\lambda_{i сж}$ ) определяют по результатам компрессионных испытаний и расчет осадки ведут графоаналитическим методом. При отсутствии данных компрессионных испытаний допускается пользоваться номограммой (рис. 21.6), построенной на основе обобщения результатов обработки многочисленных компрессионных кривых. В качестве характеристики сжимаемости болотной залежи принят коэффициент пористости  $e_o$ .

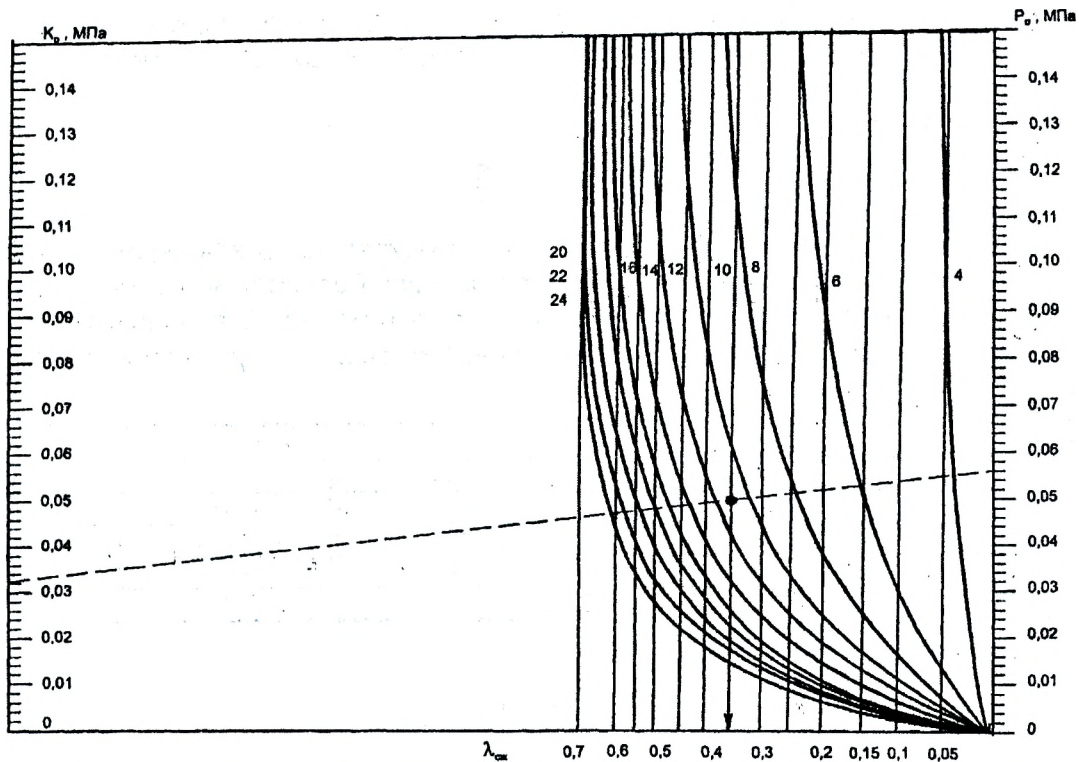


Рис. 21.6. Номограмма для определения осадки торфяных грунтов (цифры на кривых – коэффициент пористости  $e$ )

Номограмма связывает четыре параметра ( $K_0$ ,  $P_0$ ,  $\lambda_{сж}$  и  $e$ ) ( $e$  – средневзвешенное значение коэффициента пористости для болотной залежи) и позволяет путем одного наложения линейки, соединяющей две точки на шкалах ( $K_0$ ) и ( $P_0$ ) в точке пересечения линии с заданным ( $e_0$ ), найти искомое значение.

**Прогноз осадки во времени.** Продолжительность осадки ( $t$ ) для достижения требуемой степени консолидации ( $U$ ) слабого основания определяют по номограмме (рис. 21.7) в зависимости от режима возведения насыпи, характеризуемого величиной нагрузки ( $P_1$ ), допускаемой по условиям устойчивости основания, и длительностью строительного периода ( $t_0$ ), в течение которого нагрузка на основание возрастает от ( $P_1$ ) до ( $P_{расч}$ ).

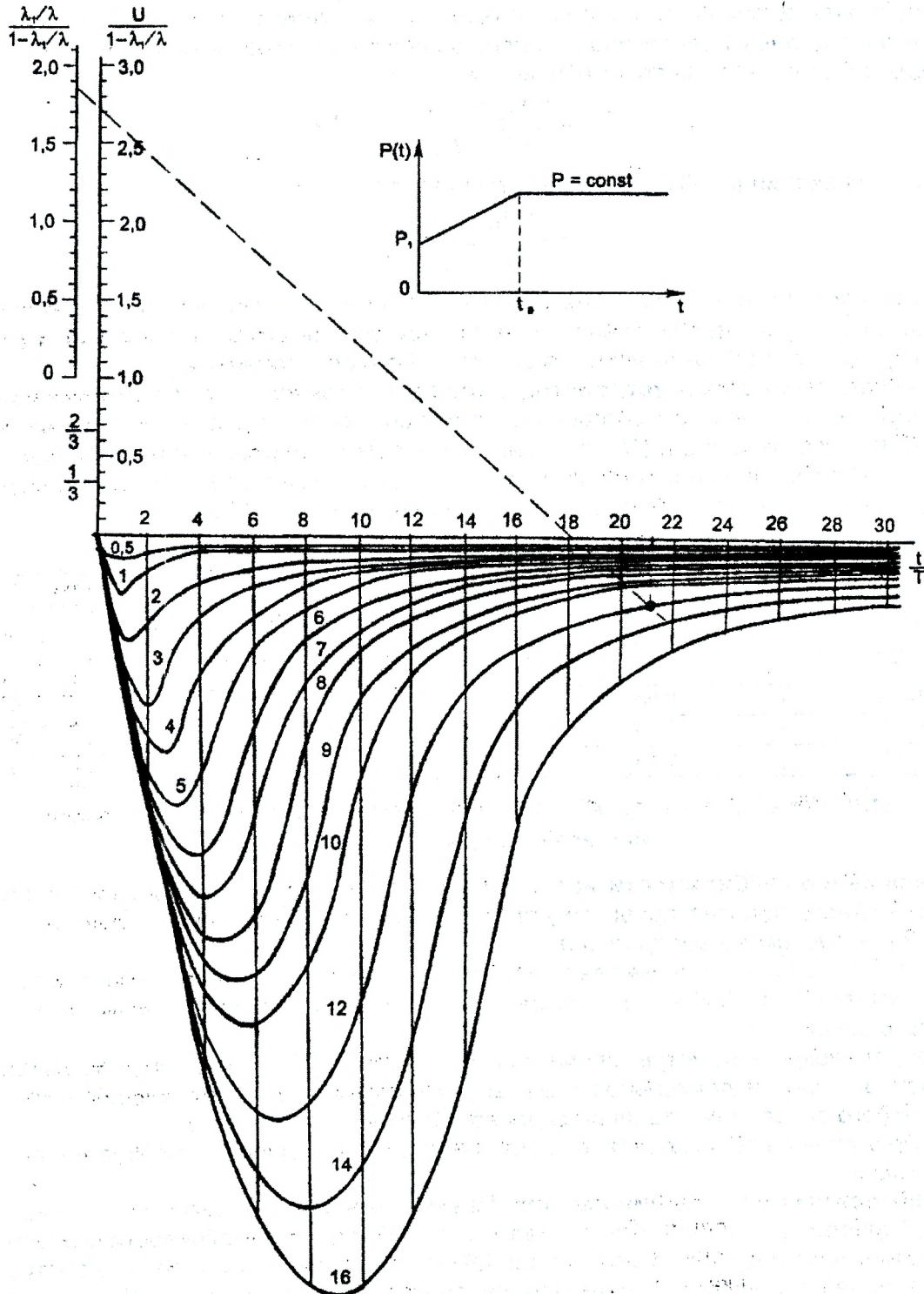


Рис. 21.7. Номограмма для расчета продолжительности осадки (цифры на кривых – отношение  $t_0/T$ )



Номограмма связывает четыре комплексных параметра:

$$\frac{t_0}{T}, \frac{t}{T}, \frac{\lambda_1/\lambda}{1-\lambda_1/\lambda} \text{ и } \frac{U}{1-\lambda_1/\lambda}, \quad (21.21)$$

где  $t_0$  – продолжительность строительного периода;  $t$  – время, необходимое для достижения требуемой степени консолидации ( $U$ ) слабой толщи;  $\lambda_1$  – конечная относительная деформация сжатия (уплотнения) основания для нагрузки ( $P_1$ );  $\lambda$  – конечная относительная деформация сжатия (уплотнения) основания для нагрузки ( $P_{расч}$ );  $T$  – консолидационный параметр, имеющий размерность времени, характеризует интенсивность затухания осадки.

По любым трем известным параметрам, обозначенным на шкалах номограммы, с помощью одного наложения линейки определяют искомым четвертый параметр.

Консолидационный параметр ( $T$ ) определяют по следующим зависимостям:

а) для оснований I типа по устойчивости

$$T = \frac{2,5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{сж}}{(\lambda_{сж} \cdot P)^2}; \quad (21.22)$$

б) для оснований II и III А типов по устойчивости

$$T = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot S_{сж}}{\sqrt{\lambda_{сж} \cdot P}}, \quad (21.23)$$

где  $T$  – консолидационный параметр, сут;  $P$  – нагрузка от массы насыпи, действующая на основание, МПа;  $\lambda_{сж}$  – относительная деформация сжатия слабого основания от действия нагрузки ( $P$ );  $S_{сж}$  – осадка сжимающихся слоев слабого основания, см.

**Установление сроков устройства дорожной одежды.** Сроки устройства дорожной одежды определяют расчетом согласно прогнозу осадки во времени в зависимости от требуемой степени консолидации ( $U$ ) основания и уточняют в период строительства по данным результатов наблюдений за осадками основания. Требуемая степень консолидации основания перед устройством дорожной одежды приведена в табл. 21.13.

Таблица 21.13. Степень консолидации ( $U$ )

Расчетная осадка сжатия ( $S_{сж}$ ), см	Требуемая степень консолидации ( $U$ ) для типа покрытия			
	усовершенствованного капитального	усовершенствованного облегченного	переходного	низшего
$\leq 30$	0,90	0,85	0,80	0,75
31-100	0,95	0,90	0,85	0,80
101-170	0,96	0,92	0,87	0,82
$> 170$	0,98	0,95	0,90	0,85

### 21.9. Мероприятия по обеспечению стабильности и устойчивости насыпей на слабых грунтах

**Обеспечение стабильности насыпей.** Для получения устойчивого и стабильного во времени земляного полотна проектом должны быть предусмотрены следующие *конструктивно-технологические мероприятия*:

- установлен режим возведения насыпи во времени (темп отсыпки и продолжительность предварительной консолидации) из условия обеспечения устойчивости слабого основания;
- определены параметры временной пригрузки (схема пригрузки, толщина пригрузочного слоя и длительность его выдерживания), обеспечивающей стабилизацию слабого основания в течение заданного срока строительства;
- определена строительная высота насыпи, учитывающая необходимый запас на осадку.

**Расчет режима возведения насыпи.** Режим возведения насыпи (темп отсыпки) зависит от устойчивости основания. Для оснований I и III Б типа по устойчивости скорость отсыпки не регламентируется, для оснований II и IIIА типа отсыпка насыпи должна вестись постепенно (медленная отсыпка) в течение определяемого расчетом времени ( $t_0$  – строительного периода), необходимого для упрочнения слабых грунтов в результате их консолидации.

При проведении расчетов необходимо соблюдать следующий порядок расчета:

1) назначают толщину насыпи (величину нагрузки  $P_1$ ), которую можно отсыпать сразу (в один прием). Величину нагрузки ( $P_1$ ) принимают равной

$$P_1 = \rho_n \cdot h_1, \quad (21.24)$$

где  $\rho_n$  – плотность грунта насыпи;  $h_1$  – толщина насыпи, отсыпаемой сразу, которая принимается равной  $h_1 = \frac{P_{нач}}{\rho_n}$  при  $\frac{P_{нач}}{\rho_n} > S_{от}$  или  $h_1 = S_{от}$  при  $\frac{P_{нач}}{\rho_n} \leq S_{от}$ .

2) устанавливают продолжительность строительного периода ( $t_0$ ), в течение которого необходимо возводить насыпь до проектной толщины, чтобы основание успело приобрести необходимое упрочнение в процессе консолидации. Для этого определяют параметры

$$\frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}} \text{ и } \frac{U_0}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$$

Затем на вертикальных шкалах номограммы (рис. 21.8) находят точки, отвечающие заданным значениям переменных  $\frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$  и  $\frac{U_0}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$ , и соединяют их линией путем

наложения линейки. Точки пересечения этой линии со шкалами  $\frac{t_0}{T}$  и  $\frac{t}{T}$  при условии  $\frac{t_0}{T} = \frac{t}{T}$

дают искомое значение  $\frac{t_0}{T}$ ;

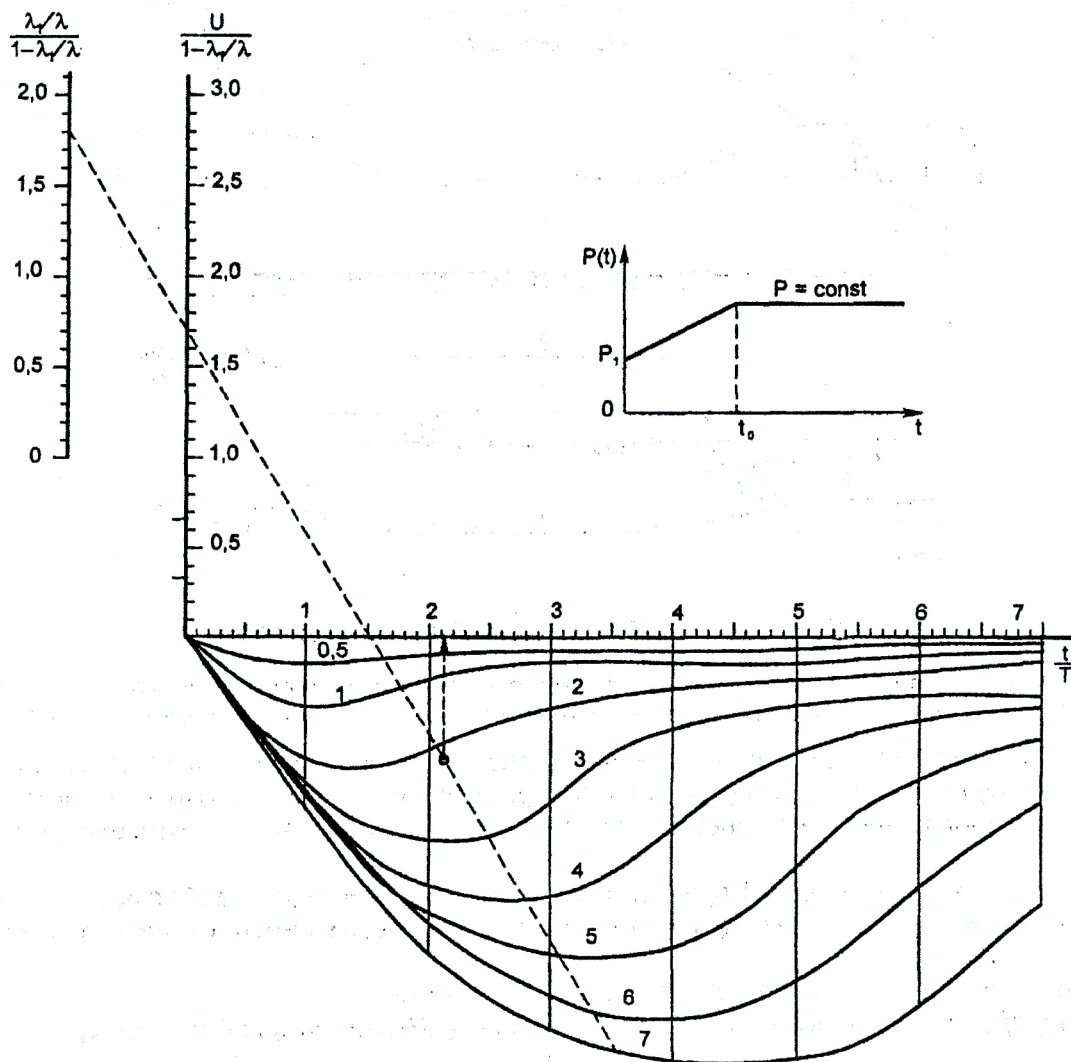


Рис. 21.8. Номограмма для расчета продолжительности строительного периода ( $t_0$ ) (цифры на кривых – отношение  $t_0/T$ )



3) устанавливают допустимую интенсивность отсыпки насыпи ( $q$ ) в расчете на месяц

$$q = \frac{30 \cdot (h_n - h_1)}{t_o}, \quad (21.25)$$

где  $h_n$  – проектная толщина насыпи, см;

4) устанавливают длительность консолидации основания ( $t$ ), необходимую для достижения заданной степени консолидации ( $U$ ). Для этого по известным параметрам

$$\frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}, \quad \frac{U_o}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}} \quad \text{и} \quad \frac{t_o}{T}$$

метр  $\frac{t}{T}$ . При значениях  $\frac{t_o}{T}$  и  $\frac{t}{T}$ , не превышающих 7, следует пользоваться номограммой, приведенной на рис. 21.8, которая является деталью номограммы, изображенной на рис. 21.7.

**Расчет временной пригрузки.** При строительстве дорог на болотных грунтах применяют следующие конструктивно-технологические решения временной пригрузки (рис. 21.9):

- в виде дополнительного слоя насыпи на всю ширину земляного полотна – схема А;
- в виде суженной насыпи (насыпи-пригрузки) – схема Б.

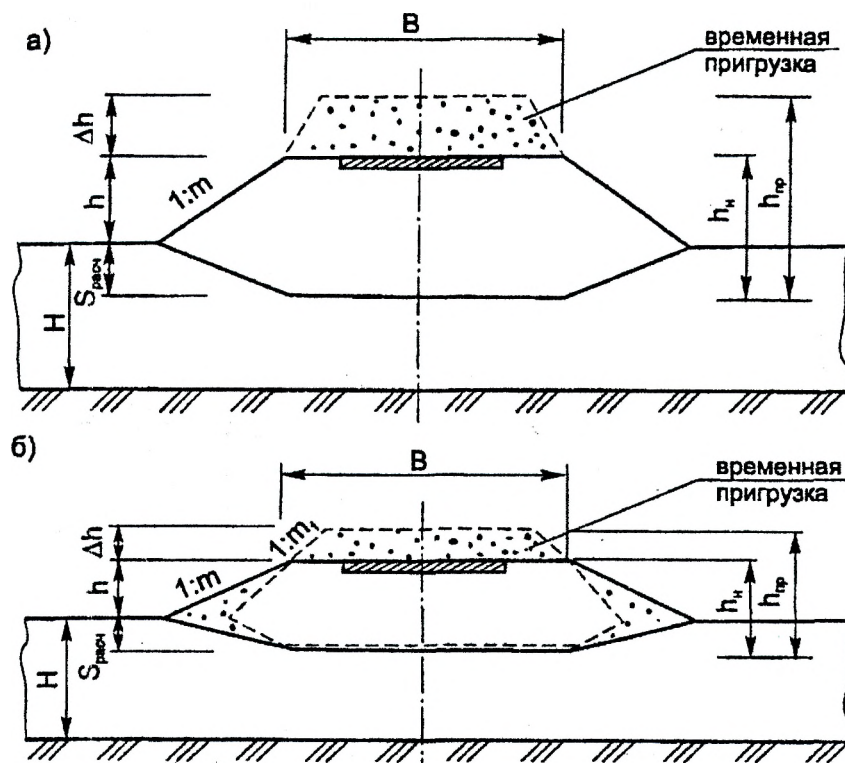


Рис. 21.9. Конструктивные решения земляного полотна с временной пригрузкой: а – в виде дополнительного слоя насыпи – схема А; б – в виде суженной насыпи (насыпь-пригрузка) – схема Б

При использовании *схемы А* грунт пригрузки после завершения консолидации используют на следующих участках дороги или в других элементах конструкции в соответствии с проектом организации строительства; при использовании *схемы Б* – грунт распределяют на откосы.

Толщина слоя временной пригрузки принимается исходя из требуемых сроков достижения заданной степени консолидации при одновременном обеспечении устойчивости основания.

Следует соблюдать следующий порядок расчета:

1) определяют величину временной пригрузки ( $\Delta P$ ) для *схемы А* по формуле

$$\Delta P = d \cdot P_{расч}, \quad (21.26)$$

где  $d$  – коэффициент перегрузки, минимальное значение которого следует принимать по рис. 21.10;

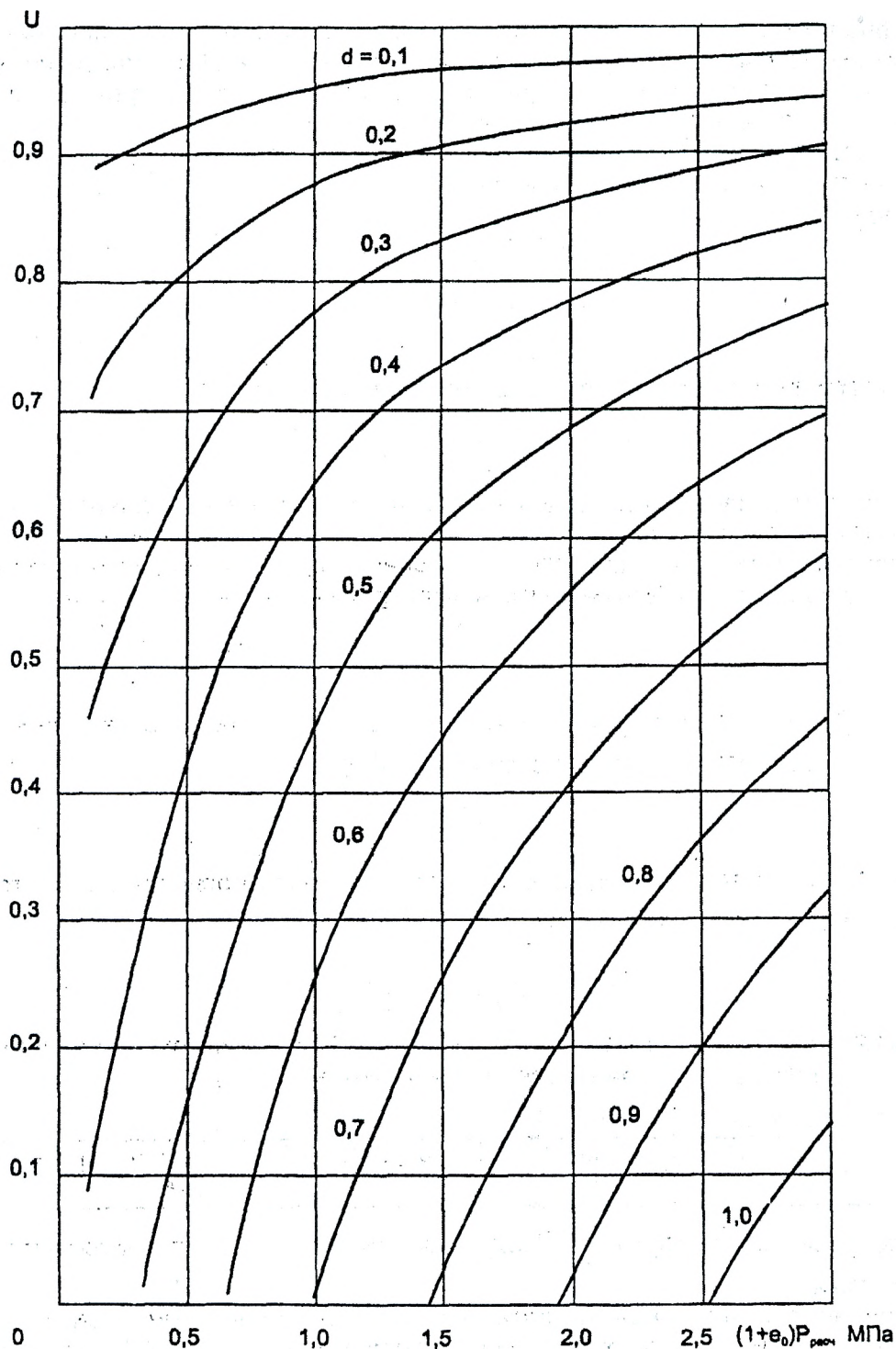


Рис. 21.10. График для определения минимального коэффициента перегрузки

2) коэффициент перегрузки ( $d$ ) для пригрузки, выполняемой по схеме Б, определяют методом последовательного приближения в зависимости от требуемых сроков консолидации основания по следующей формуле

$$d = \frac{2h}{B} \cdot (m - m_1), \quad (21.27)$$

где  $h$  – высота проектируемой насыпи, м;  $B$  – ширина проектируемой насыпи поверху, м;  $m$  – показатель крутизны заложения откоса проектируемой насыпи;  $m_1$  – показатель крутизны заложения откоса суженной насыпи (насыпи-пригрузки).

При проектировании насыпи-пригрузки варьирование значений крутизны откосов осуществляют в пределах: ( $m$ ) от 1,5 до 4,0; ( $m_1$ ) от 1,0 до 2,0.



Коэффициенты перегрузки ( $d$ ), вычисленные по формуле (21.27), должны быть не менее минимальных значений, полученных из графика на рис. 21.10. В противном случае пригрузка по схеме Б неэффективна, и для получения требуемого коэффициента перегрузки необходимо применять временную пригрузку по схеме А;

3) определяют консолидационный параметр ( $T_{пр}$ ) для насыпи с пригрузкой по формулам (21.22) или (21.23). При этом параметры ( $\lambda$ ,  $P$  и  $S_{сж}$ ) для насыпи с пригрузкой вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} S_{сж пр} &= S_{сж расч} (1 + bd), \\ \lambda_{сж пр} &= \lambda_{сж расч} (1 + bd), \\ P_{пр} &= P_{расч} (1 + d), \end{aligned} \quad (21.28)$$

где  $b$  – безразмерный коэффициент, определяемый по формуле

$$b = \frac{1}{1 + 1,52(1 + e_0) \cdot P_{расч}}, \quad (21.29)$$

где  $P_{расч}$  – расчетная нагрузка на основание, МПа;  $e_0$  – средневзвешенное значение коэффициента пористости основания;

4) проверяют устойчивость слабого основания при возведении насыпи с временной пригрузкой. Коэффициент безопасности основания вычисляют по формуле

$$K_{без пр}^{нач} = \frac{P_{без}^{нач}}{P_{пр}}. \quad (21.30)$$

Если  $K_{без пр}^{нач} > 1$ , то допускается быстрая отсыпка насыпи и временной пригрузки, и расчет длительности консолидации производят по формуле

$$t = \frac{U \cdot T_{пр}}{b \cdot d}. \quad (21.31)$$

При  $K_{без пр}^{нач} < 1$  определяют коэффициент безопасности основания с учетом его упрочнения при медленной отсыпке насыпи:

$$K_{без пр}^{кон} = \frac{P_{без}^{нач}}{P_{пр} (1 - U_0 \cdot \lambda_{сж пр})}, \quad (21.32)$$

где  $U_0$  – степень консолидации основания, достигаемая за время строительного периода ( $t_0$ ), определяется по табл. 21.14 в зависимости от величины ( $\lambda_{сж пр}$ ).

Таблица 21.14. Степень консолидации ( $U_0$ )

$\lambda_{сж}$	< 0,05	0,05-0,15	0,16-0,30	0,31-0,40	> 0,40
$U_0$	0,25	0,33	0,5	0,6	0,65

Если полученные по формуле (21.32) значения  $K_{без пр}^{кон} \geq 1$ , то допускается медленная отсыпка пригрузки.

**Назначение строительной высоты насыпи.** Для приложения заданной расчетной нагрузки на основание ( $h_n$ ) – при отсыпке насыпи без пригрузки или ( $h_{пр}$ ) – при отсыпке с пригрузкой) насыпь в течение строительного периода необходимо отсыпать выше проектных отметок на высоту ( $\Delta X$ ). Строительную высоту насыпи ( $h_0$ ) определяют по формуле

$$h_0 = h + \Delta X, \quad (21.33)$$

где  $h$  – проектная высота насыпи (рабочая отметка), м.

Толщину слоя насыпи ( $\Delta X$ ), отсыпаемого сверх проектных отметок для компенсации длительно протекающих осадков консолидации, определяют по формуле

$$\Delta X = \Delta h + S_{сж расч} [1 - U_0 (1 + b \cdot d)], \quad (21.34)$$

где  $\Delta h$  – толщина слоя пригрузки, м;  $S_{сж расч}$  – осадка за счет сжатия торфа от насыпи проектной толщины, м;  $U_0$  – степень консолидации, определяемая по табл. 21.14;  $b$ ,  $d$  – коэффициенты, определяемые по формулам (21.27) и (21.29).

Строительную высоту насыпи ( $h_0$ ) указывают на продольном профиле в скобках рядом с проектной высотой насыпи, (например, 2,10 (2,77), где 2,10 и 2,77 – соответственно, проектная и строительная высота насыпи в метрах).

### 21.10. Конструкции земляного полотна на болотах без выторфовывания

Рекомендуемые конструкции земляного полотна на болотах приведены на рис. 21.11.

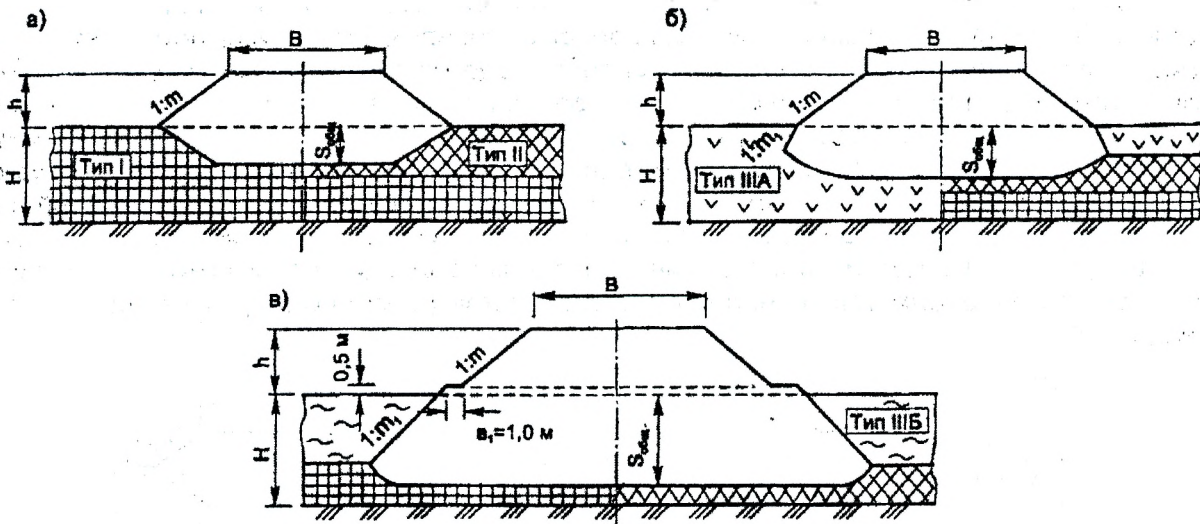


Рис. 21.11. Конструкция земляного полотна на болотах: а – на основаниях I и II типов; б – на основаниях III A типа; в – на основаниях III Б типа

Крутизну откосов верхней части насыпи принимают в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Крутизну откосов нижней части насыпи, возводимой на основаниях III A и III Б типа по устойчивости, принимают равной  $m = 1,5$  и  $m_1 = 3$ , соответственно, для песков мелких и пылеватых и  $m_1 = 1$  – для песков средней крупности.

При определении требуемого объема грунта для возведения насыпи площадь сечения погруженной части ( $F_{погр}$ ) насыпи вычисляют по следующим формулам:

1) для насыпей, возведенных на основаниях I и II типов по устойчивости

$$F_{погр} = (B + 2mh) \cdot (S_{от} + n \cdot S_{сж}); \quad (21.35)$$

2) для насыпей, возведенных на основаниях III A и III Б типов по устойчивости

$$F_{погр} = (B + 2mh + m_1 \cdot v_1) \cdot (S_{от} + n \cdot S_{сж}) + m_1 \cdot (2n \cdot S_{сж} \cdot S_{от} + S_{от}^2), \quad (21.36)$$

где  $B, h, m, m_1, v_1$  – геометрические размеры насыпи (см. рис. 21.11);  $S_{сж}, S_{от}$  – осадки насыпи за счет сжатия и отдавливания болотной залежи (см. формулы 21.15 и 21.16);  $n$  – коэффициент формы нижней части насыпи, принимаемый по табл. 21.15.

Таблица 21.15. Коэффициент формы нижней части насыпи

Тип земляного полотна	1	2	3
$n$	0,70	0,75	0,85

### 21.11. Земляное полотно с заменой слабого грунта в основаниях

Конструкцию с удалением слабого грунта предусматривают в случаях, когда предварительные расчеты показывают невозможность или высокую технологическую сложность выполнения хотя бы одного из основных требований к земляному полотну, возводимому на слабом грунте. Экономически удаление слабого грунта может оправдываться при сравнительно малой мощности слоя и небольшом протяжении участка, возможности полезного использования удаленного грунта, высокой стоимости мероприятий по обеспечению устойчивости, прочности и стабильности.

При проектировании конструкции земляного полотна с заменой в основании слабого грунта следует проводить технико-экономическое обоснование принятого способа производства строительных работ.

При замене слабых грунтов конструкция верхней части земляного полотна в значительной мере зависит от технологии удаления слабого грунта, поэтому в проекте следует



рассматривать и сравнивать варианты конструктивно-технологических решений. В практике дорожного строительства применяют механические, взрывные и гидромеханические способы удаления слабого грунта, а также способ погружения с выдавливанием слабого слоя весом насыпи с предварительным рыхлением или без него. Выбор варианта удаления грунта производится путем технико-экономического сравнения.

Проектное сечение траншеи при удалении слабого грунта определяется необходимостью обеспечения устройства и стабильности краевых частей насыпи при минимальном объеме работ. Ширину траншеи по дну для дорог с усовершенствованными и капитальными покрытиями принимают равной ширине земляного полотна с учетом заложения откосов, для дорог с переходными и низшими типами – равной ширине земляного полотна поверху (рис. 21.12). Крутизну откосов в траншее следует назначать по расчету устойчивости при требуемом коэффициенте запаса, равном единице. Для предварительного подсчета объемов работ заложение откосов ( $m_2$ ) в траншее следует принимать для торфа малой и средней степени разложения от 0,25 до 0,5; для других слабых грунтов нетекучей консистенции – от 0,5 до 1,25. При взрывном или гидромеханическом удалении слабого грунта крутизна откосов траншеи определяется технологией производства работ, но не должна быть больше приведенной.

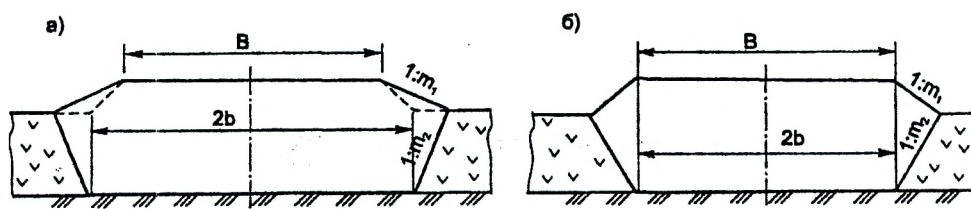


Рис. 21.12. Схемы земляного полотна с удалением слабых грунтов в основании: а – для усовершенствованных покрытий; б – для переходных и низших покрытий

При определении потребного объема привозного грунта следует учитывать изменение сечения траншеи от активного давления насыпи.

Коэффициент увеличения объема заполнения для грунтов различных типов составляет:

- |                            |         |
|----------------------------|---------|
| – торф влажностью до 600 % | – 1,15; |
| – то же, св. 600 %         | – 1,25; |
| – органо-минеральный грунт | – 1,2;  |
| – минеральный слабый грунт | – 1,15. |

При посадке насыпи на кровлю более прочного подстилающего пласта методом выдавливания крутизну откосов погруженной части можно принимать равной углу естественного откоса грунта насыпи.

При поперечном уклоне кровли пластов, подстилающих слабую толщу, более 1:10 во избежание возникновения деформаций сдвига выполняют следующие конструктивные мероприятия (рис. 21.13):

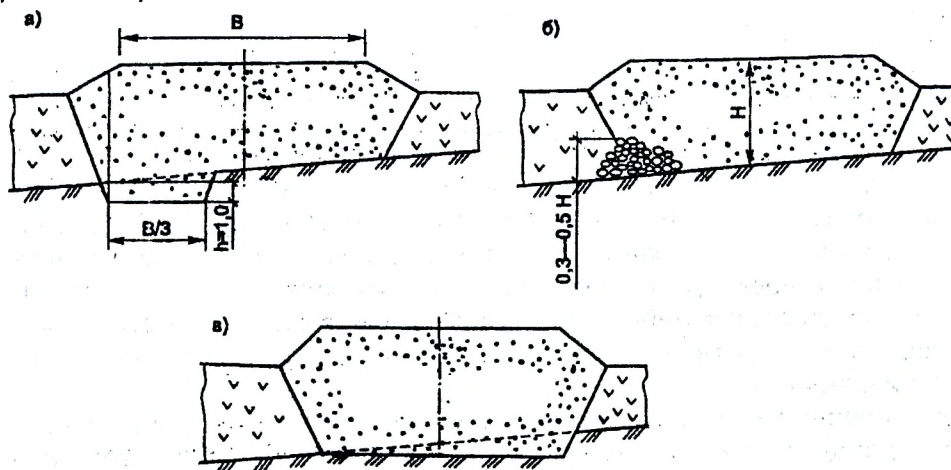


Рис. 21.13. Варианты решений для предотвращения сползания насыпи по наклонному дну: а – упорная траншея; б – каменная призма; в – выравнивание дна

- если подстилающий слой представлен песком или супесью, то устраивают упорную траншею или призму из глыбового грунта с низовой стороны (рис. 21.13а, б);
- если подстилающий слой сложен глинистыми грунтами, то осуществляют сплошное выравнивание дна траншеи (рис. 21.13в).

Для насыпи из песчаного грунта сплошное выравнивание допускается заменять ступенчатым.

Грунт, извлеченный из траншеи, укладывают в банкеты непосредственно за водоносными канавами (рис. 21.14).

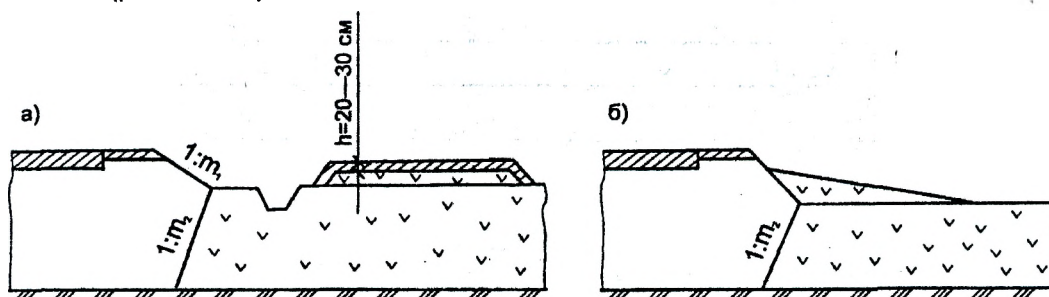


Рис. 21.14. Варианты размещения удаленного грунта: а – в банкетах (защитный слой минерального грунта устраивают при складировании в банкеты торфа); б – в присыпных призмах

Торф высокой волокнистости допускается использовать для упрочивания откосов земляного полотна на высоту насыпи до отметки низа дорожной одежды. Вывозка торфа и органо-минеральных грунтов допускается в случае использования в других сооружениях для целей сельского хозяйства.

На осушенных болотах банкеты из торфа во избежание возгорания закрывают слоем минерального грунта толщиной от 20 до 30 см.

При использовании метода выдавливания слабого слоя из-под насыпи толщина насыпного слоя, обеспечивающая выдавливание слабого грунта, ориентировочно может быть определена по формуле

$$h_{\text{тр}} > \frac{c_{\text{усл}} \cdot b_{\text{ср}}}{\rho_{\text{н}} \cdot H}, \quad (21.37)$$

однако во всех случаях она не должна быть менее

$$h_{\text{мин}} = \frac{6c_{\text{усл}}}{\rho_{\text{н}}}, \quad (21.38)$$

где  $c_{\text{усл}}$  – величина сопротивляемости грунта сдвигу, определяемая крыльчаткой;  $b_{\text{ср}}$  – полуширина насыпи по средней линии;  $\rho_{\text{н}}$  – плотность грунта насыпи;  $H$  – мощность слабого слоя.

В случае технической сложности или нецелесообразности одновременного возведения насыпи требуемой толщины применяют механическое или взрывное рыхление, либо гидроразрыв слоя. В этом случае в расчет по формулам (21.37) и (21.38) вводят параметр  $c_{\text{усл}}$  для разрыхленного грунта.

Поэтапное погружение насыпи, отсыпаемой сначала на меньшую ширину, но большей высоты (**метод перегрузки**), допускается при условии, если после посадки средней части образовавшиеся по сторонам продольные валы выпирания будут перед расширением насыпи удалены или разрыхлены (рис. 21.15).

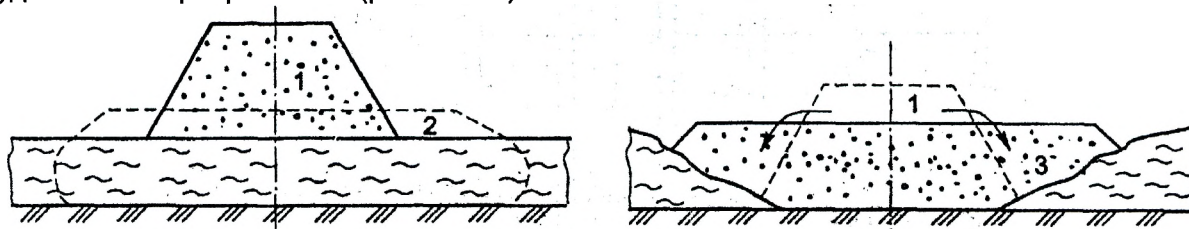


Рис. 21.15. Схема посадки насыпи на дно болота методом перегрузки: 1 – временное сечение отсыпаемой насыпи; 2 – проектное сечение земляного полотна; 3 – реальное сечение земляного полотна после завершения работы



При наличии в составе слабой толщи более прочных слоев у поверхности (например, при мощном дерновом покрове, а также при частичном осушении торфяных болот) для облегчения выдавливания применяют торфоприемники. Глубина торфоприемников должна быть равна толщине верхнего прочного слоя, а ширина – не менее половины мощности слоя, подлежащего выдавливанию (рис. 21.16).

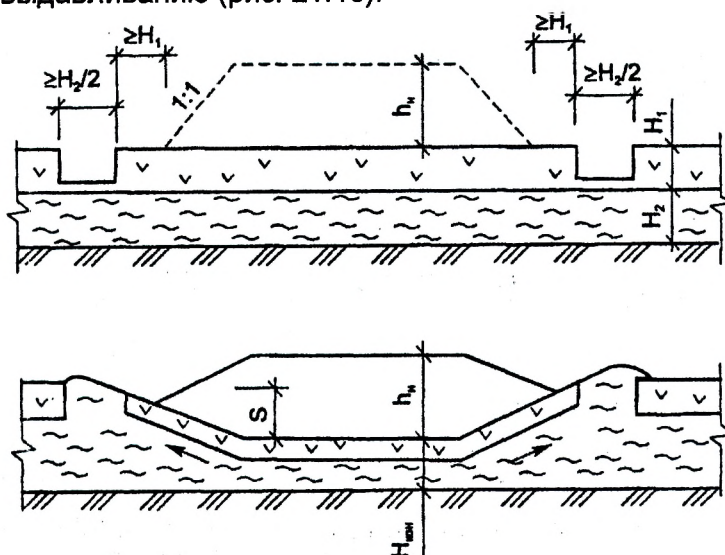


Рис. 21.16. Схема посадки насыпи на болотные залежи II типа с использованием торфоприемников

Использование свайных оснований исключает восприятие слабым грунтом нагрузки от дорожной конструкции и транспорта. Эстакады устраивают из сборных железобетонных элементов по правилам проектирования мостовых сооружений. Влияние слабого слоя на устойчивость опор и их несущую способность учитывать не следует. Рациональную величину пролетов свайных эстакад определяют в зависимости от мощности слабого слоя.

Ориентировочно можно считать, что при толщине слабого слоя до 5 м наиболее экономичны простые свайные опоры и пролетные строения длиной 6 м, при глубине до 8 м – свайные опоры и пролетные строения длиной 18 м, при большей глубине – опоры свай-оболочек и унифицированных пролетных строений длиной 24 м и более.

При проектировании опор в торфяных болотах следует учитывать агрессивность болотной воды. Агрессивность слабой или средней степени, как правило, общекислотного и углекислого характера вызывает коррозию.

Общая кислотность болотной воды может изменяться от  $pH=7$  (для низинных болот) до  $pH=3$  (для болот атмосферного питания). Защитные меры принимают в соответствии с действующими указаниями по антикоррозионной защите строительных конструкций.

Для оснований I и II типов при затруднении удаления грунта или других осложняющих факторах (например, значительном уклоне) можно применять конструкции земляного полотна в виде насыпи на свайном ростверке (рис. 21.17).

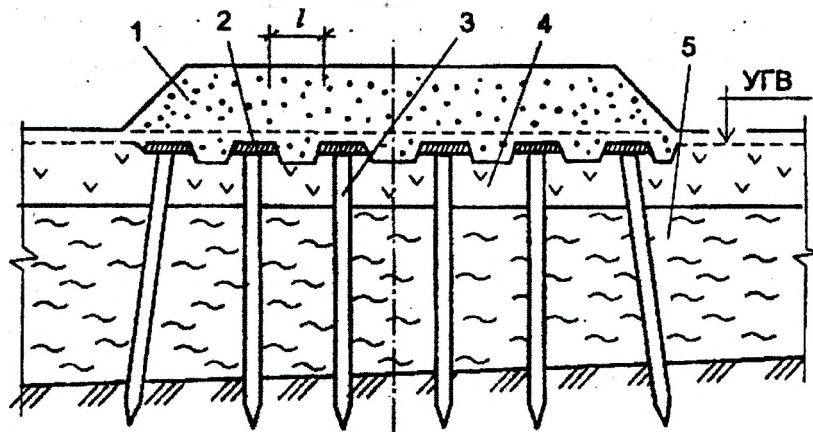


Рис. 21.17. Насыпь на сваях ростверкового типа: 1 – насыпь; 2 – бетонные наголовники; 3 – деревянные сваи; 4 – торф; 5 – листовой грунт

По оголовкам железобетонных свай на уровне поверхности грунта укладывают квадратные наголовники в виде плит, перекрывающих не менее половины расстояния между сваями. Свободное расстояние между плитами-наголовниками в плане должно быть не более 1,0 м, а толщина вышележащего насыпного слоя – не менее 2,0 м. Надежность конструкции повышается при укладке в нижней части насыпи армирующей прослойки из синтетических волокнистых материалов.

Сваи ростверковой конструкции рассчитывают на нагрузку от насыпи, дорожной одежды и эквивалентную транспортную нагрузку.

### 21.12. Земляное полотно из грунтов повышенной влажности и переувлажненных грунтов

Насыпи из грунтов повышенной влажности высотой до 12 м проектируют по типовым решениям (типы 1-В – 6-В) при условии, что коэффициент переувлажнения будет иметь значения, приведенные в табл. 21.16.

Таблица 21.16. Допуски по влажности и запас на осадку для переувлажненных грунтов

Грунт	Коэффициент переувлажнения		Запас на осадку, % от рабочей отметки
	не более	допускаемое отклонение	
Смесь легкая и пылеватая	1,25	0,10	1,5-3,0
Супесь тяжелая, суглинок легкий и легкий пылеватый	1,15	0,15	1,0-3,0
Суглинок тяжелый и тяжелый пылеватый, глины	1,05	0,20	1,0-4,0

*Примечание.* Меньшие значения величин запаса на осадку соответствуют меньшим значениям коэффициента переувлажнения, большие значения соответствуют большим.

Индивидуально проектируют насыпи из переувлажненных грунтов (коэффициенты переувлажнения превышают величины, указанные в табл. 21.16) и выемки в грунтах повышенной влажности и переувлажненных грунтах.

Если степень влажности грунтов для возведения насыпей превышает указанные в табл. 21.16, то насыпи высотой до 6 м проектируют с заложением откосов, принимаемым по табл. 21.17, а насыпи высотой от 6 до 12 м проектируют с заложением откосов в зависимости от величины коэффициента переувлажнения и вида грунта и выполняют расчет устойчивости откоса.

Во всех случаях в верхней части земляного полотна устраивается переходной слой из песчаных или супесчаных непучинистых грунтов.

Таблица 21.17. Крутизна откосов насыпей

Грунты насыпи	Наибольшая крутизна откосов при высоте откоса насыпи, м		
	до 6	до 12	
		в нижней части (0-6)	в верхней части (6-12)
Крупнообломочные, пески крупные и средней крупности	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Пески мелкие и пылеватые	1:1,5	1:2	1:1,5
Глинистые грунты	1:1,75	1:2	1:1,75

### 21.13. Контрольные наблюдения в процессе строительства

При сооружении земляного полотна на слабых грунтах, кроме обусловленного общими нормативными документами контроля качества строительства, необходимы специальные наблюдения за деформациями основания. Большинство конструктивных решений предусматривают определенный технологический режим возведения земляного полотна, который невозможно правильно осуществить без систематических наблюдений, поэтому мероприятия по наблюдению за деформациями земляного полотна в период строительства до момента сдачи объекта в эксплуатацию должны быть включены в строительную смету.

Основными задачами наблюдений являются:

- контроль за величиной осадки и затухание ее во времени;
- фиксирование возможных горизонтальных смещений;
- выявление образования бугров выпирания.

Основные наблюдения выполняются силами производственной лаборатории.

Дополнительно проектом организации строительства по специальным методикам могут быть установлены наблюдения за:



- изменением порового давления;
- послойными осадками толщи;
- изменением гидрологического режима;
- упругими прогибами покрытия;
- длительными осадками в период эксплуатации дороги.

В случаях, если данные наблюдений существенно отличаются от расчетного прогноза протекания осадки, в рабочем проекте следует уточнить расчетные характеристики (параметры консолидации и сжимаемости) путем обратного перерасчета по фактическим данным.

#### 21.14. Условия применения типовых конструкций земляного полотна из грунтов повышенной влажности

Условия применения типовых конструкций (типы 1-В – 6-В, рис. 21.18) земляного полотна из грунтов повышенной влажности:

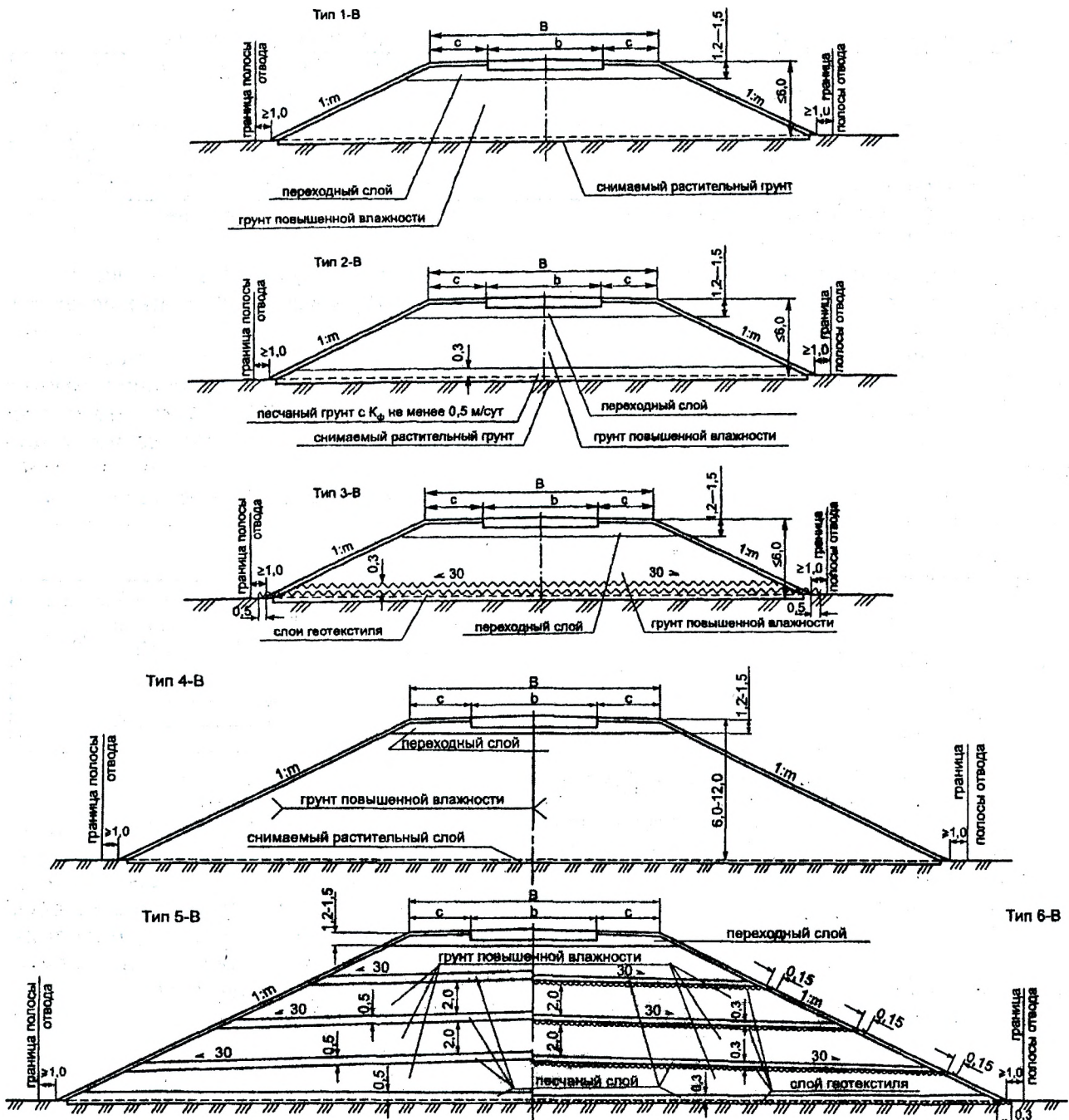


Рис. 21.18. Типовые конструкции насыпей из грунтов повышенной влажности

- 1) типы 1-В, 2-В, 3-В применяют для дорог I-V категорий;
- 2) при использовании глинистых грунтов с коэффициентами переувлажнения, приведенными в табл. 21.16, в условиях устойчивых оснований ( $K_v \geq 1$ ) рекомендуется тип 1-В, на неустойчивых основаниях ( $1 < K_v < 0,9$ ) – типы 2-В и 3-В. Тип 3-В используется при дефиците песчаных грунтов;
- 3) переходный слой устраивается из песчаных или непылеватых супесчаных грунтов, толщина его принимается равной 1,5 м. Если толщина переходного слоя больше или равна высоте насыпи, использование грунтов повышенной влажности исключается;
- 4) крутизна откосов насыпей высотой до 3 м принимается на дорогах I-III категорий равной 1:4, а при высоте насыпей до 2 м на дорогах IV-V категорий – 1:3;
- 5) крутизна откосов насыпей высотой от 3 до 6 м принимается равной 1:1,5;
- 6) типы 4-В, 5-В, 6-В применяют для дорог I-V категорий при использовании глинистых грунтов с коэффициентами переувлажнения, приведенными в табл. 21.16;
- 7) тип 4-В применяют при использовании супесей легких и пылеватых с коэффициентами переувлажнения 1,25-1,35, суглинков легких и легких пылеватых – 1,15-1,20, суглинков тяжелых и тяжелых пылеватых, глин – 1,05-1,15;
- 8) типы 5-В, 6-В применяют при использовании суглинков легких и легких пылеватых с коэффициентами переувлажнения 1,2-1,3, суглинков тяжелых и тяжелых пылеватых, глин – 1,15-1,25. Прослойки в типах 5-В, 6-В имеют технологическое назначение для обеспечения проезда построечного транспорта и устраиваются из песчаных и супесчаных непылеватых грунтов;
- 9) для типов 4-В, 5-В, 6-В необходимо принимать запас на осадку по табл. 21.16;
- 10) крутизна откосов в типах 4-В, 5-В, 6-В принимается по табл. 21.18.

Таблица 21.18. Значения крутизны откосов насыпей 4-В, 5-В и 6-В типов

Грунт	Высота насыпи, м	Крутизна откосов насыпи в зависимости от коэффициента переувлажнения						
		1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35
Супесь легкая	6-12	–	–	–	–	1:2	1:2,5	1:2,5
Супесь пылеватая	6-12	–	–	–	–	1:2,5	1:2,5	1:2,5
Супесь тяжелая, суглинок легкий	6-12	–	–	1:1,75	1:2	1:2	1:2,5	–
Суглинок легкий пылеватый	6-12	–	–	1:2	1:2	1:2,5	1:2,5	–
Суглинок тяжелый пылеватый	6-12	1:2	1:2	1:2,5	1:2,5	1:2,5	–	–
Глина пылеватая	6-12	1:1,75	1:1,75	1:2	1:2,5	1:2,5	–	–
Глина жирная	6-12	1:2	1:2	1:2	1:2,5	1:2,5	–	–

### 21.15. Условия применения типовых конструкций земляного полотна на заболоченных участках

Типовые конструкции земляного полотна на заболоченных участках имеют несколько разновидностей.

#### 1. Насыпи на болотах с полным выторфовыванием, с погружением на минеральное дно болота (рис. 21.19).

Условия применения:

- 1) тип 1-Б применяется на болотах I-II типов глубиной до 4 м для дорог I-III категорий;
- 2) тип 2-Б применяется на болотах I-II типов глубиной до 2 м для дорог IV-V категорий;
- 3) тип 3-Б применяется на болотах III типа глубиной до 4 м для дорог I-V категорий;
- 4) тип 1-Б допускает устройство вертикальных откосов в нижней части насыпи;
- 5) нижняя часть насыпи, возвышающаяся над поверхностью торфа на 0,5 м, должна отсыпаться из дренирующих грунтов;
- 6) при необходимости продольного водоотвода вдоль насыпи предусматриваются водоотводные каналы (тип 1-Б) на расстоянии не менее 2 м от подошвы насыпи;
- 7) крутизна откосов верхней части насыпи принимается в зависимости от грунта по табл. 21.17. Крутизна откосов нижней части насыпи (тип 3-Б) принимается по табл. 21.19;
- 8) при наличии торфа с высокой волокнистостью допускается его использование для упрочивания откосов насыпи (типы 1-Б, 2-Б) с заложением 1:6 на высоту до отметки низа дорожной одежды.



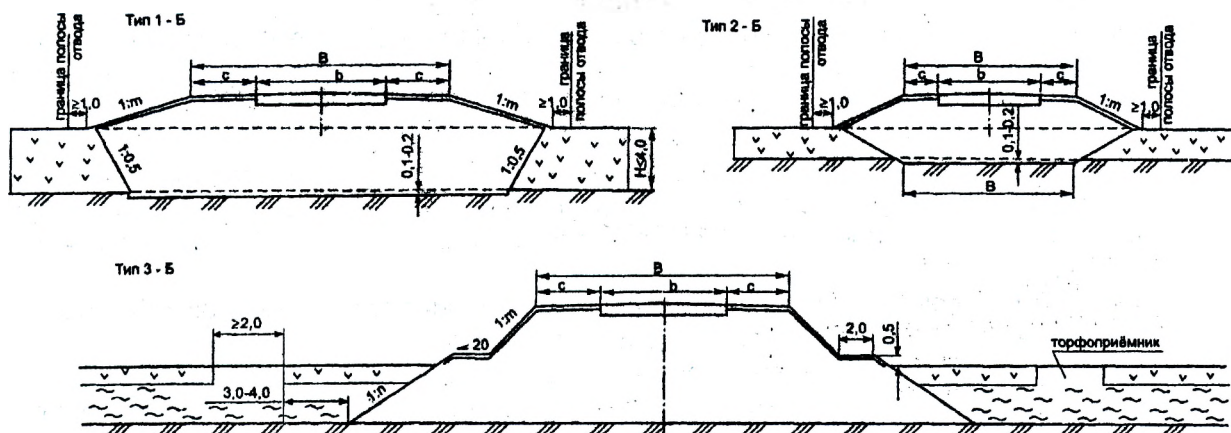


Рис. 21.19. Типовые конструкции земляного полотна на болотах с полным выторфовыванием и с погружением на минеральное дно болота

Таблица 21.19. Значения крутизны откосов насыпей 1-Б, 2-Б и 3-Б типов

Наименование грунтов	1:n
Песчаный мелкий и пылеватый	1:4
Песчаный крупный и средний	1:2
Гравийный, галечниковый, щебенистый	1:1,5

## 2. Насыпи на болотах I-II типов без выторфовывания и с продольными прорезями на болотах I типа (рис. 21.20).

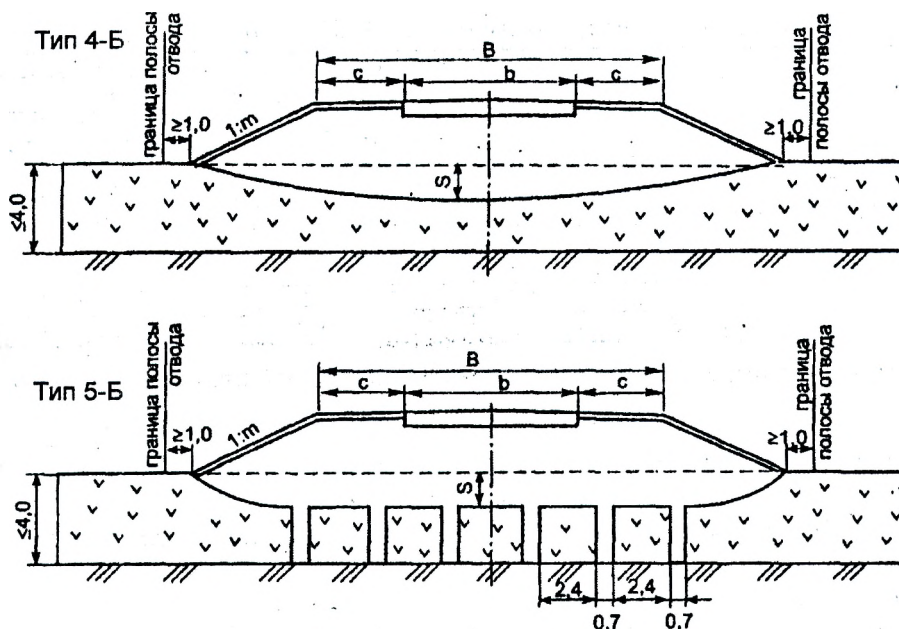


Рис 21.20. Типовые конструкции земляного полотна на болотах I-II типов без выторфовывания и с продольными прорезями на болотах I типа

### Условия применения:

- 1) тип 4-Б применяется на болотах I и II типов для дорог II-V категорий при высоте насыпи до 3 м;
- 2) тип 5-Б применяется на болотах I типа для дорог III-V категорий при высоте насыпи до 3 м;
- 3) величина осадки (S) и скорость консолидации определяется расчетом;
- 4) крутизна откосов насыпи принимается в зависимости от высоты насыпи и грунтов, из которых она проектируется, в соответствии с табл. 21.17;
- 5) нижняя часть насыпи проектируется из дренирующих грунтов, толщина дренирующего слоя должна быть на 0,5 м больше расчетной осадки

- 6) ширина прорезей (тип 5-Б) и расстояние между ними приняты из расчета стабилизации осадки основания за 4-6 месяцев;
- 7) продольные прорезы должны заполняться крупным или средним песчаным грунтом с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут;
- 8) при глубине болот более 4 м величина осадки, ширина прорезей и расстояние между ними определяются расчетом.

### 3. Насыпь на болоте с вертикальными дренами (рис. 21.21).

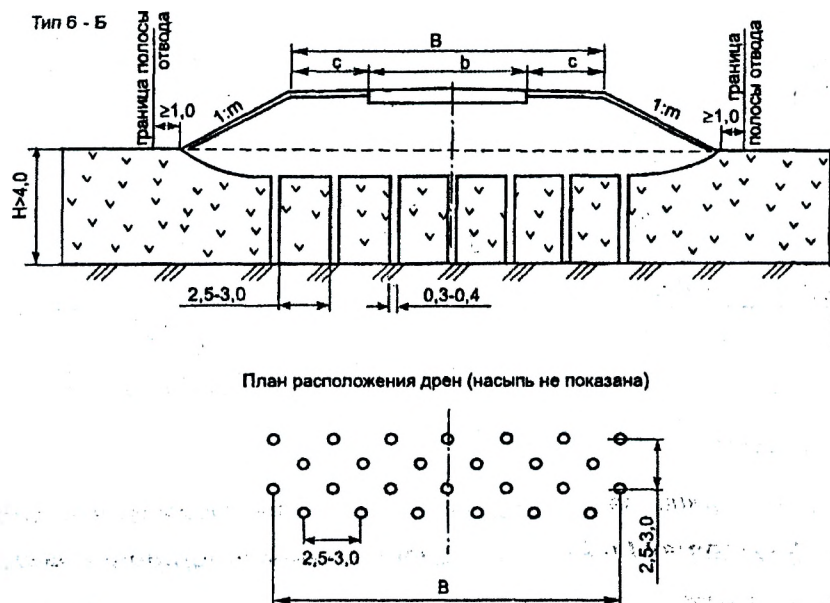


Рис. 21.21. Типовая конструкция земляного полотна на болоте с вертикальными дренами

#### Условия применения:

- 1) тип 6-Б применяется на болотах I и II типов глубиной более 4 м для дорог III-V категорий с высотой насыпи до 3 м;
- 2) вертикальные дренаи устраиваются с расчетом срока консолидации основания 4-6 месяцев;
- 3) дренаи устраиваются из песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 6 м/сут. Эффективность дрен повышается при добавлении к грунту 5-15% (по массе) извести. Нижнюю часть насыпи необходимо устраивать на толщину не менее 0,5 м из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут;
- 4) крутизна откосов насыпи принимается в зависимости от ее высоты и вида грунтов, на которых насыпь проектируется, в соответствии с табл. 21.17;
- 5) при необходимости устройства продольного водоотвода, канавы вдоль насыпи устраиваются на расстоянии не менее 2 м от ее подошвы;
- 6) при высоте насыпи более 3 м конструкция земляного полотна разрабатывается на основе индивидуального расчета.

### 4. Насыпи на болотах с поперечным уклоном дна более 1:10 (рис. 21.22).

#### Условия применения:

- 1) тип 7-Б применяется для дорог I-V категорий при поперечном уклоне дна болот I и II типов более 1:10 с песчаным или супесчаным подстилающим слоем;
- 2) тип 8-Б применяется для дорог I-V категорий при поперечном уклоне дна болот I и II типов более 1:10 с подстилающим слоем из глинистых грунтов. На дорогах I-III категорий разработку минерального дна разрешается проектировать уступами высотой 1,5 м;
- 3) насыпь в ее нижней части проектируется из дренирующих грунтов высотой на 0,5 м выше поверхности болота;
- 4) крутизна откосов верхней части насыпи принимается в зависимости от высоты насыпи и грунта, из которого она проектируется, в соответствии с табл. 21.17;
- 5) при необходимости устройства продольного водоотвода канавы вдоль насыпи устраивают на расстоянии не менее 2 м от ее подошвы;



- 6) при наличии торфа с высокой волокнистостью допускается его использование для улоаживания откосов насыпи с заложением 1:6 на высоту отметки низа дорожной одежды.

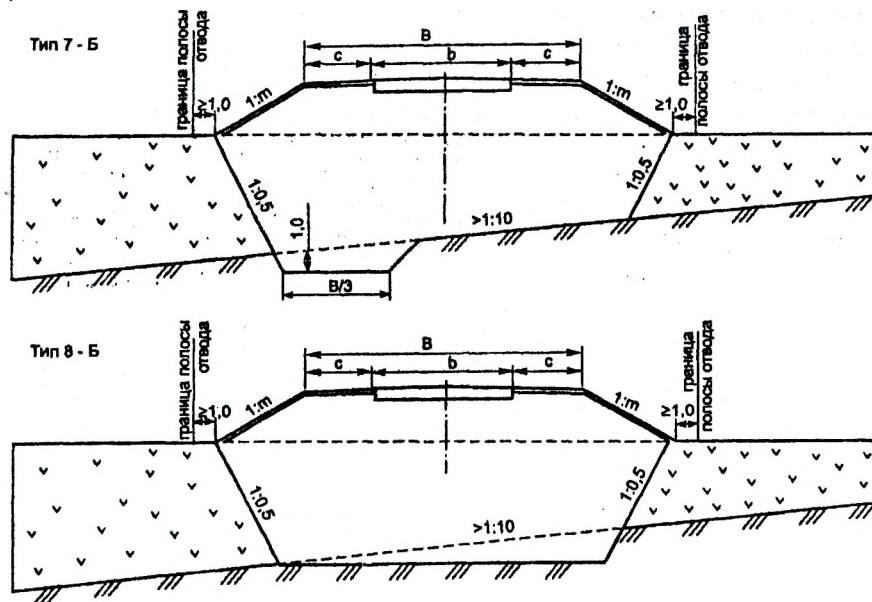


Рис. 21.22. Типовые конструкции земляного полотна на болотах с поперечным уклоном дна более 1:10

### 5. Насыпь на болотах I и II типов с частичным выторфовыванием (рис. 21.23).

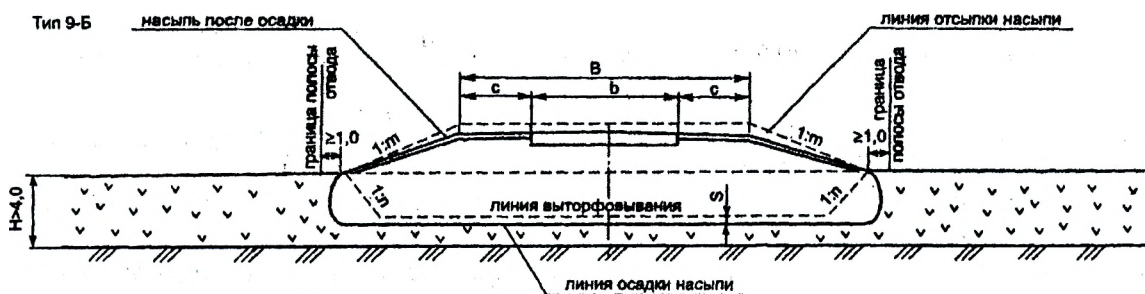


Рис. 21.23. Типовая конструкция земляного полотна на болотах I и II типов с частичным выторфовыванием

Условия применения:

- 1) тип 9-Б применяется на болотах I и II типов глубиной более 4 м для дорог III-V категорий с высотой насыпи до 3 м;
- 2) толщина оставшегося слоя торфа, с учетом его обжатия, должна быть не более 1/3 мощности минеральной части насыпи на дорогах III категории и не более 1/2 на дорогах IV-V категорий;
- 3) при проектировании выторфовывания следует стремиться к повышению устойчивости земляного полотна за счет создания более крутых откосов в торфе (1:n);
- 4) заложение откосов (1:n) при выторфовывании определяется путем проходки пробного шурфа с вертикальными стенками. Если вертикальный откос в данном пласте торфа удерживается не менее трех суток, в проекте предусматриваются вертикальные стенки. В противном случае проектируются более пологие откосы;
- 5) крутизна откосов в верхней части насыпи принимается в зависимости от грунта, из которого она проектируется, в соответствии с табл. 21.17;
- 6) нижнюю часть насыпи на болотах проектируют из дренирующих грунтов. Толщина дренирующего слоя должна быть на 0,5 м больше суммы величин расчетной осадки и глубины выторфовывания;
- 7) при необходимости устройства продольного водоотвода, канавы вдоль насыпи устраиваются на расстоянии не менее 2 м от ее подошвы;

- 8) осадка оставшегося слоя торфа определяется расчетом. Покрытие устраивается после завершения расчетной осадки;
  - 9) торф высокой волокнистости можно использовать для уположения откосов насыпи с заложением 1:6, на высоту до отметки низа дорожной одежды.
- 6. Насыпи на слабых основаниях с геотекстилем** (рис. 21.24).

Тип 1-С

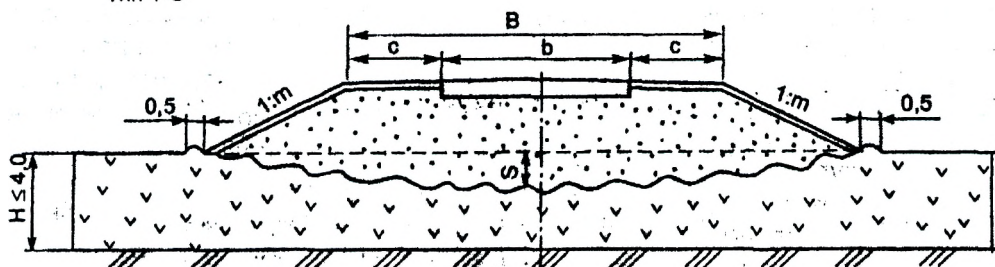


Рис. 21.24. Типовая конструкция земляного полотна на слабых основаниях с геотекстилем

Условия применения:

- 1) тип 1-С применяют для автомобильных дорог II-V категорий при наличии слабых грунтов I и II типов. Для дорог I категории с асфальтобетонным покрытием конструкция применяется только на слабых грунтах I типа;
- 2) слой из геотекстиля позволяет понизить расчетную степень консолидации ( $U_p$ ) по сравнению с нормативной ( $U_n$ ):  $U_p = K U_n = 0,95 U_n$ ;
- 3) полотна раскатывают в продольном направлении по всей ширине насыпи с перекрытием полос на 0,4-0,5 м. В поперечном направлении полотна раскатывают в случае, когда необходима общая равнопрочность в поперечном направлении и трудно обеспечить равнопрочный стык полотен при продольной раскатке;
- 4) полотна соединяют между собой склеиванием или сшиванием;
- 5) минимальная высота насыпи определяется из условий снегозаносимости, возвышения верха дорожной одежды над уровнем поверхностных вод и исключения возможных упругих колебаний от проходящего транспорта;
- 6) величина осадки определяется расчетом;
- 7) насыпь в нижней части на величину осадки плюс 0,5 м возводится из дренирующих грунтов;
- 8) крутизна откосов насыпи принимается для дорог I-III категорий при высоте насыпи до 3 м, равной 1:4; для дорог IV-V категорий – 1:3, в остальных случаях – 1:2;
- 9) расход геотекстиля для полотен шириной 1,5 м и перекрытием их на 0,15 м приведен в табл. 21.20.

Таблица 21.20. Расход геотекстиля на 1,0 м земляного полотна, м<sup>2</sup>

Ширина земляного полотна В, м	Высота насыпи Н, м	Величина осадки S, м									
		S=0,5					S=1,0				
		Крутизна откосов, 1:m									
		1:1,5	1:1,75	1:2	1:3	1:4	1:1,5	1:1,75	1:2	1:3	1:4
6,0	1,0	–	–	–	14,4	–	–	–	–	14,6	–
10,0	1,0	–	–	–	18,8	–	–	–	–	18,9	–
12,0	1,0	–	–	–	–	23,2	–	–	–	–	23,3
15,0	1,0	–	–	–	–	26,4	–	–	–	–	26,5
28,0	1,0	–	–	–	–	39,6	–	–	–	–	39,7
6,0	2,0	–	–	–	21,0	–	–	–	–	21,1	–
10,0	2,0	–	–	–	25,4	–	–	–	–	25,5	–
12,0	2,0	–	–	–	–	32,0	–	–	–	–	31,3
15,0	2,0	–	–	–	–	35,3	–	–	–	–	35,6
28,0	2,0	–	–	–	–	48,0	–	–	–	–	48,5
6,0	3,0	17,7	19,3	21,0	–	–	17,7	19,4	21,1	–	–
10,0	3,0	22,3	23,7	25,5	–	–	22,3	23,8	25,6	–	–
12,0	3,0	–	–	–	–	40,8	–	–	–	–	40,8
15,0	3,0	–	–	–	–	44,1	–	–	–	–	44,1
28,0	3,0	–	–	–	–	57,0	–	–	–	–	57,0



## 22. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

### 22.1. Особенности проложения трассы в районах распространения вечномерзлых грунтов

*Вечномерзлыми (многолетнемерзлыми)* называют грунты, содержащие замерзшую воду и имеющие температуру ниже  $0^{\circ}\text{C}$  в течение длительного периода времени – до десятков тысячелетий. Вечномерзлые грунты распространены на 47% территории СНГ. У южной границы зоны распространения мерзлых грунтов толщина слоя мерзлоты не превышает нескольких метров, причем эта граница имеет прерывистый характер. Мощность слоя мерзлых грунтов возрастает к северу и у берегов Северного Ледовитого океана превышает 500 м.

В мерзлой толще грунтов всегда *содержится лед* – от кристаллов в порах между грунтовыми частицами и тонких прослоек между структурными агрегатами до толстых ледяных жил в трещинах мерзлого грунта и мощных погребенных слоев льда. При оттаивании содержащий лед мерзлые грунты оказываются избыточно увлажненными, а возведенные на них сооружения претерпевают при этом значительную осадку.

*Верхний слой грунта, который в теплое время года оттаивает, а зимой вновь замерзает, называют деятельным слоем.* Если он соединяется с поверхностью вечной мерзлоты, последнюю называют *сливающейся*. Мощность деятельного слоя зависит от:

- рельефа местности и экспозиции склонов;
- состава и влажности грунтов;
- растительного покрова;
- климатических факторов.

В среднем *мощность деятельного слоя* составляет в районах Крайнего Севера в песчаных грунтах 1,0-1,8 м, глинистых и торфяно-болотных – 0,4-1,2 м. В южных районах распространения мерзлых грунтов мощность деятельного слоя составляет соответственно 2,5-4,5 и 1,0-2,5 м.

В зависимости от условий (климата, рельефа, грунтов и растительности) различают несколько видов залегания вечной мерзлоты по глубине и в плане (рис. 22.1).

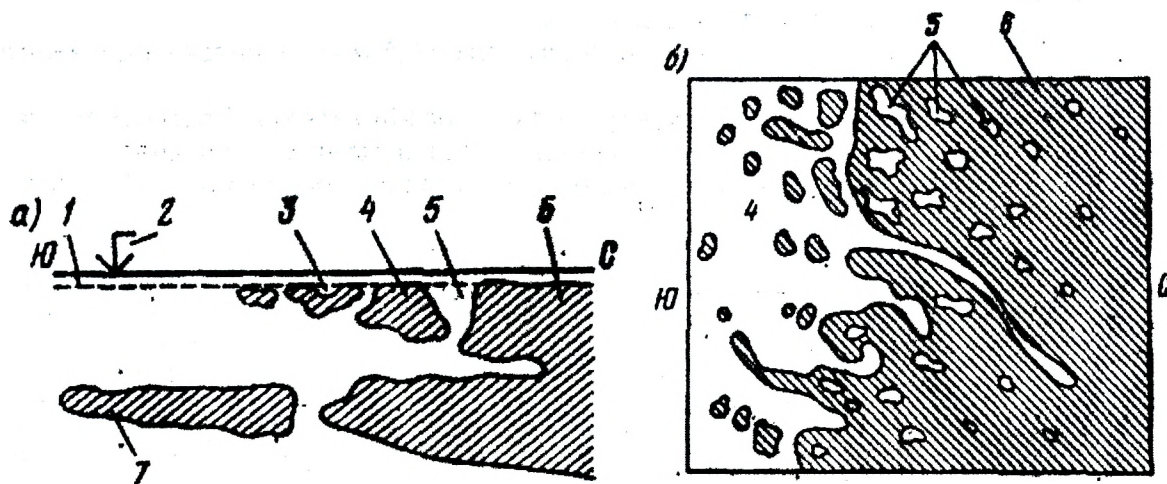


Рис. 22.1. Виды залегания вечномерзлых грунтов: а – вертикальный разрез мерзлых толщ около южной границы вечной мерзлоты; б – распределение мерзлых грунтов в плане; 1 – слой сезонного промерзания и оттаивания (деятельный слой); 2 – условная современная южная граница вечной мерзлоты; 3 – ложный талик; 4 – островная мерзлота; 5 – талик; 6 – сплошная мерзлота; 7 – линза мерзлого грунта

*Мерзлые грунты водонепроницаемы.* Поэтому в нижней части деятельного слоя происходит накопление влаги от таяния льда, образующегося в результате процессов зимней миграции воды, и от просачивания через толщу деятельного слоя дождевых и талых вод. В зоне, примыкающей к поверхности вечномерзлого грунта, всегда грунт имеет высокую влажность (рис. 7.2).

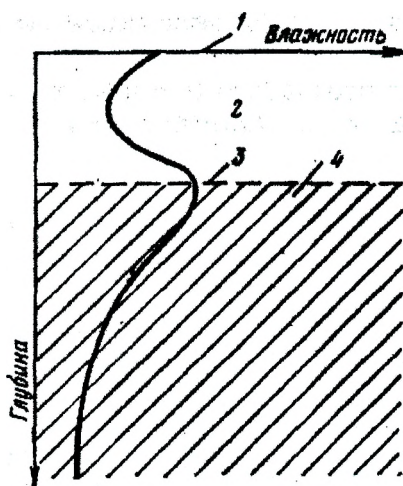


Рис. 22.2. Примерное распределение влажности по глубине в зоне распространения вечномёрзлых грунтов: 1 – поверхность грунта; 2 – деятельный слой; 3 – верхняя поверхность вечномёрзлого грунта; 4 – вечномёрзлый грунт

Строительство дороги вносит следующие изменения в природный режим залегания вечномёрзлых грунтов:

- вырубка на придорожной полосе деревьев и кустарников и удаление или повреждение мохового покрова приводят к увеличению мощности деятельного слоя;
- оттаивающие пылеватые льдонасыщенные вечномёрзлые грунты из практически твердого состояния приходят в разжиженное, растекаясь под действием собственного веса. Поэтому часто откосы выемок, устроенных в зимнее время, весной, оттаивая, сползают на дорогу;
- разрушениям земляного полотна способствует то обстоятельство, что поверхность протаявшего под дорогой вечномёрзлого грунта имеет вогнутые очертания. Это вызывает скапливание грунтовой воды, ускоряющее дальнейшее оттаивание. На участках с близким к поверхности расположением мощных слоев льда при таянии могут возникнуть провальные озера (термокарстовые явления). В отдельных случаях возможно поднятие вечной мерзлоты в тело возведенной насыпи.

**Трассу автомобильной дороги в зоне распространения вечномёрзлых грунтов следует по возможности прокладывать по участкам с наиболее благоприятными условиями грунтов и рельефа, отдавая предпочтение сухим местам, на которых изменение режима вечной мерзлоты и оттаивание грунтов менее отражаются на устойчивости земляного полотна и не приводят к возникновению наледей.**

Применительно к условиям зоны распространения вечномёрзлых грунтов целесообразно различать следующие **типы местности**:

1) **сухие места с обеспеченным поверхностным стоком** – каменистые возвышенности, крутые склоны сопков, участки с близким залеганием коренных скальных пород или сложенные на глубину 10 м и более каменистыми, гравелистыми и песчаными сухими грунтами, а также супесчаными и непросадочными глинистыми грунтами без ледяных прослоек (влажность менее 0,7 от предела текучести). Строительные свойства таких грунтов не меняются при замерзании и оттаивании. При обеспеченном стоке мощность деятельного слоя на таких участках бывает не менее 2,5 м;

2) **сырые места с избыточным увлажнением** в отдельные периоды года и признаками поверхностного заболачивания – пологие склоны гор южной экспозиции, плоские водоразделы, сложенные песчаными и глинистыми просадочными грунтами с относительной влажностью 0,70-0,9 от предела текучести. При необеспеченном поверхностном стоке летнее оттаивание не превышает 1,0-2,5 м;

3) **переувлажненные (мокрые) места** – мари (кочковатые торфяно-моховые болота), заболоченные тальвеги и замкнутые пониженные места рельефа с развитым мохово-торфяным покровом, с необеспеченным водоотводом и избыточным увлажнением. Летнее оттаивание не превышает 1 м. Грунты глинистые, сильнопросадочные с влажностью более



0,9 от границы текучести, содержащие в пределах двойной толщины деятельного слоя линзы льда толщиной более 10 см.

Дороги следует стремиться прокладывать в насыпях с рабочими отметками, гарантирующими снегонезаносимость. **Выемки допустимы лишь в скальных породах и сухих грунтах.**

В зоне вечной мерзлоты наблюдается явление выпучивания заглубленных в грунт столбов – реперов, свай деревянных мостов, стоек ограждений (рис. 22.3).

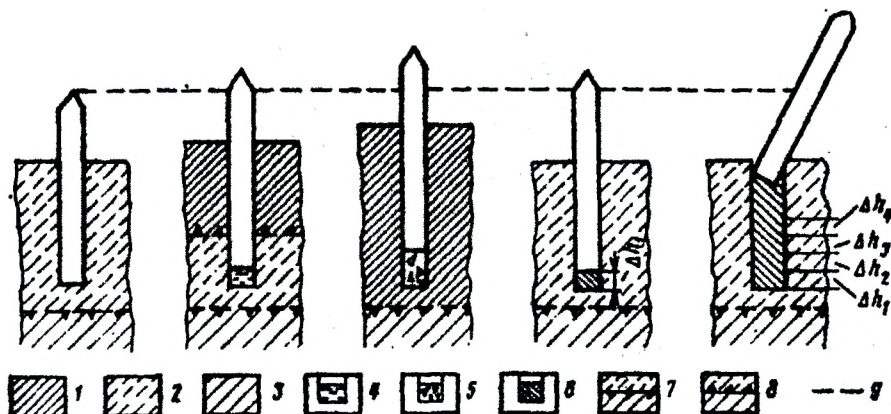


Рис. 22.3. Схемы выпучивания столба из сезонно-промерзающего грунта в зоне вечной мерзлоты: 1 – мерзлый грунт; 2 – талый грунт деятельного слоя; 3 – вечномерзлый грунт; 4 – вода или разжиженный грунт; 5 – лед или сильнольдистый грунт; 6 – талый грунт в полости под столбом; 7 – верхняя граница вечномерзлого грунта; 8 – граница промерзшей части деятельного слоя; 9 – первоначальный уровень верха столба

Его механизм сводится к следующему:

- 1) в процессе зимнего замерзания происходит смерзание грунта со столбом. Вертикальные силы пучения, превышающие вес столба и сопротивление его трения о незамерзший грунт, выдергивают столб из талой части деятельного слоя;
- 2) образующаяся полость заполняется водой и естественным грунтом. При оттаивании грунта столб опускается, но часть полости оказывается заполненной разжиженным грунтом, и он уже не может занять первоначальное положение. Ежегодно процесс повторяется, и через несколько лет столб оказывается настолько выпученным, что наклоняется и падает.

Не подвержены выпучиванию только такие столбы, которые настолько заглублены в мерзлый слой, что сила сцепления с ним превышает силу выпучивания. Эта особенность учитывается при устройстве в зоне вечной мерзлоты реперов, у которых закрепленный в мерзлый грунт металлический стержень или трубу в пределах деятельного слоя окружают крупнозернистой засыпкой, защищающей его от смерзания с грунтом деятельного слоя.

**При конструировании земляного полотна** в зоне вечной мерзлоты в зависимости от климатических условий района строительства, рельефа местности, состава и льдонасыщенности грунта должен быть обеспечен один из следующих температурных режимов мерзлого грунта в основании земляного полотна:

- 1) сохранение вечномерзлых грунтов в основаниях в течение всего периода эксплуатации дороги;
- 2) частичное оттаивание мерзлого грунта на глубину, определяемую расчетом;
- 3) оттаивание мерзлого грунта до начала строительства дороги до глубины, на которой он уже не влияет на работу земляного полотна, и осушение придорожной полосы.

Первый способ применим при третьем типе местности, сильнольдистых глинистых грунтах и низкотемпературной вечной мерзлоте, когда оттаивание может привести к просадке и разрушению насыпей. Дорогу проектируют в насыпях, сооружаемых из неподверженных пучению песчаных и супесчаных грунтов, крупнообломочных горных пород и привозных глинистых грунтов.

Второй способ рекомендуется для сырых мест с низкотемпературной вечной мерзлотой при малольдонасыщенных глинистых и песчаных грунтах с влажностью менее предела

текучести (просадочность от 3 до 10%). Под земляным полотном допускается частичное оттаивание грунта, глубину которого контролируют расчетом. При этом граница мерзлых грунтов должна иметь под насыпью выпуклое очертание. Насыпи можно возводить из местных грунтов, добываемых в придорожных резервах.

При проектировании земляного полотна по первому и второму способам следует избегать выемок. При неизбежности их устройства должен быть обеспечен надежный отвод воды, откосам придано очень пологое заложение, а на откосах и в земляном полотне уложены по расчетам надежные теплоизоляционные слои.

*Третий способ* предусматривает максимальное оттаивание и осушение грунтов придорожной полосы. За год до возведения земляного полотна с полосы отвода удаляют растительность и мохово-торфяной слой и обеспечивают поверхностный водоотвод в целях понижения уровня вечной мерзлоты. Для возведения насыпей используют преимущественно местные несвязные песчаные, супесчаные и обломочные грунты. При сохранении под насыпью мохового покрова нижний слой толщиной 0,3-0,5 м целесообразно устраивать из грунтов с камнями крупностью не более 10 см. Глинистые грунты с влажностью, не более чем в 1,2 раза превышающей оптимальную, разрешается использовать только в средней части насыпи при хорошем качестве уплотнения. Верхнюю часть насыпей не менее чем на 0,5 м отсыпают из дренирующих грунтов, щебня или гравия.

**При обосновании необходимой высоты насыпи** наряду с обычными требованиями снегонезаносимости и возвышения над источниками увлажнения необходимо учитывать также обеспечение заданного температурного режима вечной мерзлоты. При этом исходят из упрощенной схемы температурных расчетов.

Высота насыпей должна быть равна толщине слоя промерзания с введением поправок на условия оттаивания, т.е.

$$H_{нас} = H_p \cdot m_t \cdot K_z \cdot K_w, \quad (22.1)$$

где  $H_p$  – нормативная глубина оттаивания в грунте, из которого отсыпают насыпь, м;  $m_t$  – коэффициент, учитывающий поглощение тепла покрытием (1,05 для цементобетонных, 1,1-1,6 – для покрытий с применением органических вяжущих);  $K_z$  – коэффициент дополнительного притока тепла в основание, учитывающий влияние откосов насыпи и вырубki при строительстве дороги просеки (1,16-1,22);  $K_w$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности грунта на глубину протаивания основания и  $K_w = 1/(a + b \cdot W_o)$ ;  $W_o$  – влажность грунта, %;  $a$  – эмпирическая величина, приближенно равная для всех грунтов 0,90;  $b$  – коэффициент, учитывающий вид грунта: для песчано-гравийных грунтов  $b = 0,018$ , для супесчаных и суглинистых грунтов  $b = 0,007$ .

При проектировании дороги с частичным оттаиванием придорожной полосы при назначении рабочих отметок учитывают уплотнение оттаявшего грунта, происходящее в процессе эксплуатации дороги под действием веса насыпи и проезда автомобилей, а также зимнее вспучивание и последующую осадку, которые нарушают ровность дорожных одежд и могут явиться причиной их разрушения (рис. 22.4).

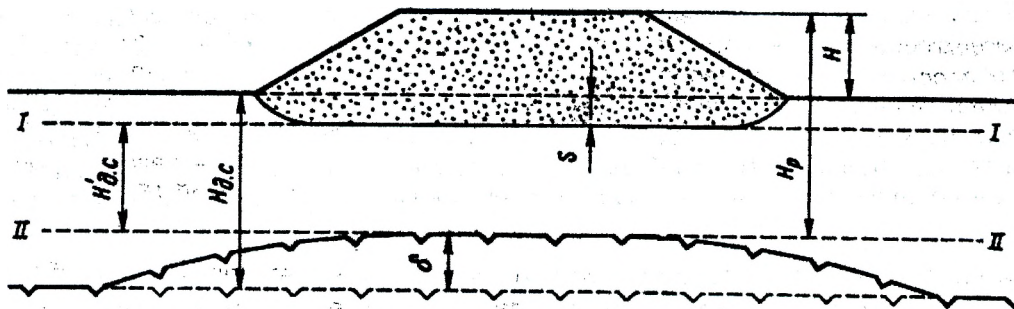


Рис. 22.4. Схема к расчету высоты насыпи при допущении частичного поднятия уровня вечной мерзлоты

В процессе осадки насыпи, затягивающейся на ряд лет, происходит выжимание из подстилающего грунта избытка воды в результате фильтрационной консолидации. При осадке насыпи на глубину  $S$  (до уровня I) и поднятии верхнего уровня вечномёрзлого грунта на высоту  $\delta$  (до уровня II) мощность деятельного слоя  $H_{д.с.}$  уменьшается до  $H'_{д.с.}$



При этом необходимая высота насыпи определится по формуле

$$H = H_p \cdot m_i \cdot K_z - \frac{H_p \cdot m_i \cdot K_z \cdot S}{H_{д.с.} \cdot e}, \quad (22.2)$$

где  $e$  – коэффициент относительной осадки мерзлого грунта при оттаивании, зависящий от состава и влажности грунта и степени его уплотнения (0,01-0,25);  $S$  – величина сжатия мерзлого грунта после оттаивания под нагрузкой.

Назначая рабочие отметки, следует учитывать, что моховой и торфяной покровы уплотняются под насыпью на 40-50% от толщины, замеренной при изысканиях. Поэтому при разбивке насыпей во время строительства к расчетной высоте, определенной по формуле (22.2), необходимо добавлять глубину сжатия растительного покрова.

При сохранении вечномерзлых грунтов в основании для предохранения мохового покрова от разрушения в нижнем слое насыпи целесообразно устраивать прослойки из дренирующих грунтов мелких фракций толщиной 0,3-0,5 м (рис. 22.5а). В среднюю часть насыпи может быть помещен местный глинистый грунт (рис. 22.5б). Верхний слой для предотвращения пучинообразования не менее чем на 0,5 м следует отсыпать из песка, щебня или гравия. На косогорных участках низовые откосы защищают от протаивания устройством теплоизоляционных присыпок (рис. 22.5в).

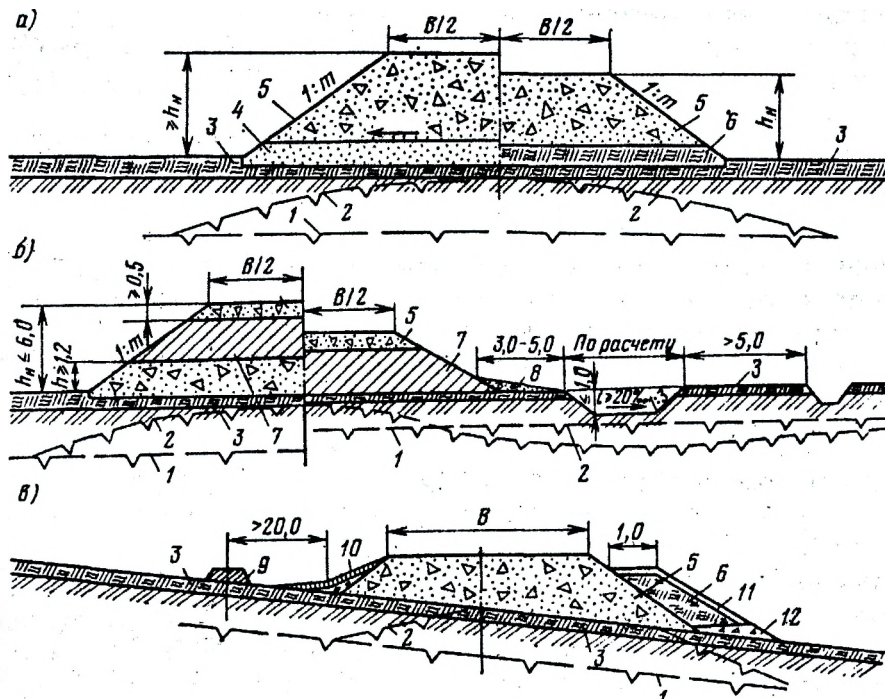


Рис. 22.5. Поперечные профили насыпей на льдонасыщенных основаниях в зоне распространения вечномерзлых грунтов: а – из дренирующих грунтов на льдонасыщенном основании с устройством защитного дренирующего слоя из песка или мелкого гравия либо теплоизоляционного слоя из мха; б – с использованием местного глинистого грунта; в – на пологом косогоре с уклоном менее 1:5; 1 – верхний уровень вечномерзлых грунтов до отсыпки насыпи; 2 – то же, после отсыпки насыпи; 3 – моховой покров; 4 – защитный слой из мелкого дренирующего грунта; 5 – песчано-гравийный грунт; 6 – теплоизоляционный моховой слой; 7 – глинистый слой; 8 – берма; 9 – нагорный валик; 10 – укрепление мощением; 11 – защитный слой растительного грунта толщиной 15 см; 12 – дренирующая присыпка

Не разрешается устраивать нагорные каналы, которые могут стать причиной глубокого протаивания и возникновения термокарстовых и наледных процессов. Для перехвата стекающей по склону воды отсыпают нагорные валы, вдоль которых вода отводится к пониженным местам.

При допущении частичного оттаивания грунта для возведения насыпей можно использовать местные глинистые грунты придорожной полосы, закладывая притрассовые резервы или карьеры. Глинистый грунт можно отсыпать непосредственно на моховой и растительный покров, за исключением участков застоя воды или подтопления паводковыми водами.

Устройство выемок в зоне вечной мерзлоты допускается на участках с благоприятными грунтово-гидрологическими условиями при отсутствии в грунте ледяных линз и прослоек. В этом случае используют типовые поперечные профили. При неизбежности устройства выемок в сложных грунтово-гидрологических условиях им придают пологие откосы, защищаемые теплоизоляционными слоями (рис. 22.6).

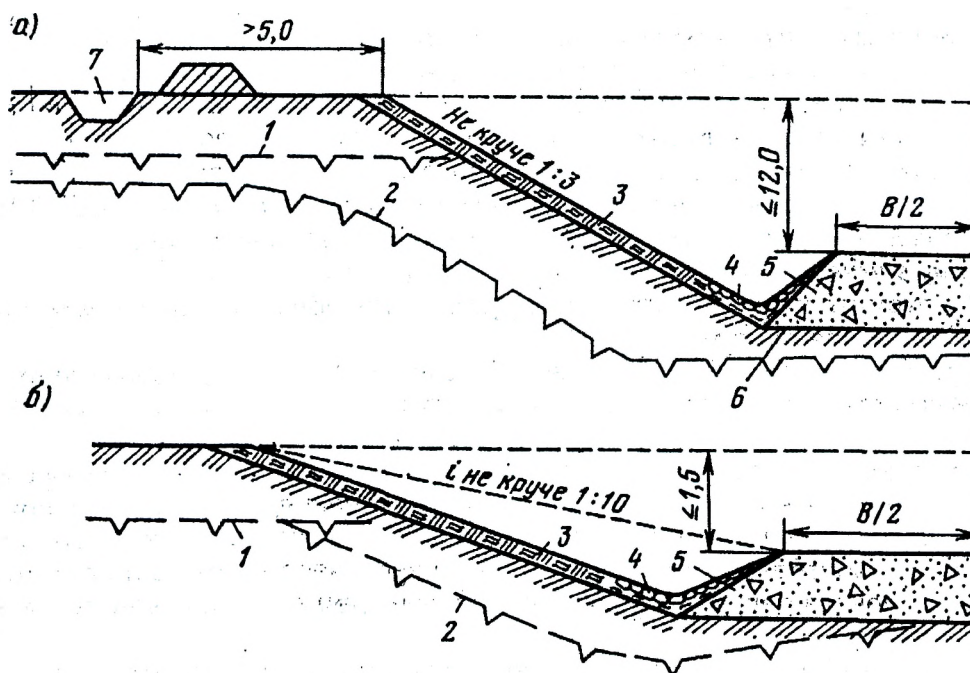


Рис. 22.6. Поперечные профили выемок в слабольдонасыщенных грунтах: а – глубокая выемка; б – мелкая выемка; 1 – верхний уровень вечномерзлых грунтов до устройства выемки; 2 – то же, после устройства выемки; 3 – теплоизоляционный слой; 4 – укрепление мощением; 5 – песчано-гравийный грунт; 6 – глинистый грунт; 7 – нагорная водоотводная канава

Пылеватые пучинистые грунты в основаниях заменяют *дренирующими устойчивыми* грунтами, обеспечивая тщательный отвод воды из выемок и дренирующего слоя.

Высота насыпей, определенная по расчету на оттаивание льдонасыщенного основания, может быть уменьшена путем закладки в теле насыпи теплоизоляционных слоев из пенопласта, полиуретана, полистирола. При сравнительно малой толщине (5-10 см) слои, уложенные в нижней части земляного полотна, уменьшают глубину оттаивания в 1,5-2 раза. При этом высота насыпей может быть уменьшена до 0,6-1,0 м, если это не противоречит требованиям борьбы со снежными заносами.

Толщина изоляционных слоев должна быть обоснована теплотехническими расчетами, на основании которых устанавливают глубину промерзания и оттаивания. Наиболее распространенным методом расчета толщины теплоизоляционного слоя является метод проф. В. С. Лукьянова, суть которого заключается в том, что теплоизоляционные слои на поверхности мерзлого грунта при расчете промерзания или оттаивания приводятся к эквивалентному слою грунта

$$S = \lambda_o \cdot \left( \frac{1}{\alpha} + \sum_{i=0}^{i=n} \frac{l_i}{\lambda_i} \right), \quad (22.3)$$

где  $\lambda_o$ ,  $\lambda_i$  – коэффициенты теплопроводности эквивалентного слоя грунта и теплоизоляционных слоев – количество тепла, проходящего в единицу времени через единицу площади ограничивающей поверхности при падении температуры на 1°С на единицу толщины слоя, Вт/(м·К) и составляют для: песка 1,7-2,5; супеси 1,8-2,0; суглинка и глины 1,6-2,0; асфальтобетона 1,0-1,4; цементобетона 1,75; щебня и гравия 1,4-1,9; песка, укрепленного цементом, 1,6-1,8; пенопласта 0,05;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности земли, характеризующий количество тепла, передаваемого за единицу времени через единицу поверхности контакта грунта с воздухом при разности их температур 1°, Вт/(м<sup>2</sup>·К) и составляет при отсутствии ветра 42; при ветреной погоде 84;  $l_i$  – толщина отдельных слоев изоляции, м.



**Наледями** называются отложения льда, образующиеся во время сильных морозов в результате периодического выхода на поверхность грунтовой или речной воды, а также таяния снега в предшествующую оттепель. Наледи, образующиеся в придорожной полосе, заливают дорогу, закрывают отверстия водопропускных сооружений, создавая тем самым значительные трудности для эксплуатации дороги.

По условиям питания различают несколько видов наледей:

- подземными межмерзлотными и подмерзлотными водами (ключевые наледи);
- грунтовыми водами деятельного слоя (грунтовые наледи);
- речными и тальными водами (поверхностные наледи);
- смешанные наледи от одновременного действия нескольких причин.

При изыскании дорог в зоне вечной мерзлоты рекомендуется обходить с нагорной стороны места образования наледей и выхода родниковых подземных вод. Водотоки следует пересекать на прямых глубоких участках, избегая мест, наиболее подверженных быстрому зимнему промерзанию.

Предусматриваемые в проектах дорог **противоналедные мероприятия** зависят от вида наледей и характера мерзлоты:

– для пропуска больших наледей речных поверхностных вод, образующихся выше дороги, увеличивают отверстия мостов и высоту насыпей, обеспечивая свободный пропуск воды;

– малые расходы следует пропускать через сооружения по углубленным и утепленным руслам. Были проведены успешные опыты оттаивания наледного льда, заполняющего водопропускные трубы при помощи заложенных в трубе электронагревательных кабелей;

– при строительстве дороги на косогорных участках следует собирать воду из водоносных горизонтов перехватывающими утепленными дренажами и отводить ее под дорогой дренажными трубами;

– при малом дебите источников и выходе их на большом расстоянии от дороги необходимо удерживать выходящие на поверхность грунтовые воды земляными валами, за которыми образуется наледь;

– следует искусственно вызывать в процессе эксплуатации дороги образование наледи на косогорах до защищаемого объекта с помощью **мерзлотного пояса** – широкой, но мелкой канавы, отрываемой вдоль дороги с нагорной стороны (рис. 22.7).

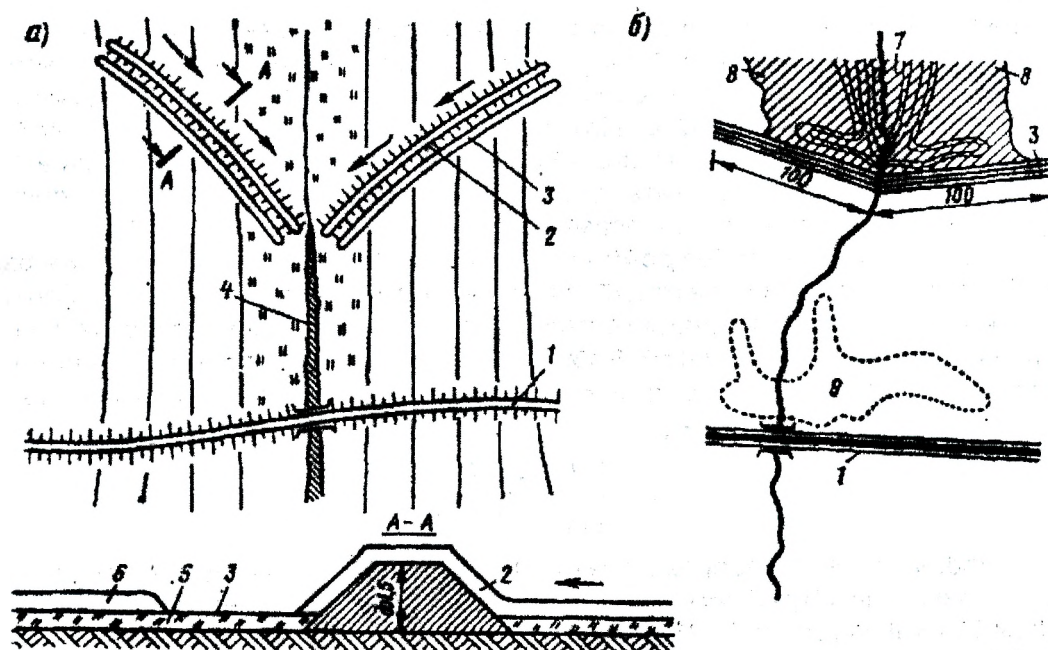


Рис. 22.7. Мероприятия по борьбе с наледями: а – устройство валов для сбора растекающейся воды и отвода ее к руслу ручья; б – устройство мерзлотных поясов; 1 – дорога; 2 – направляющие валы из нефилтрующих грунтов; 3 – расчищаемая от снега полоса; 4 – расчищенное русло; 5 – естественный растительный покров; 6 – снег; 7 – наледный бугор; 8 – наледный лед; 9 – место наледи до устройства мерзлотного пояса

Перед канавой на 5-10 см снимают мох и торф. По опыту строительства *мерзлотным поясам следует придавать следующие размеры*: ширина канавы 3,0-4,5 м, глубина 0,6-0,9 м, ширина расчищаемой полосы 10-15 м, расстояние от пояса до границы ограждаемого сооружения 50-100 м. Вынутый из канавы грунт укладывают в низкий вал с низовой стороны пояса. Если одного грунтового пояса недостаточно, устраивают дополнительные полосы выше по логу в 50-100 м друг от друга. Вода из канавы выпускается к искусственному сооружению. Канавы мерзлотного пояса располагают под углом друг к другу 140-170° и с уклоном не более 0,002.

Зимой мерзлотные пояса очищают от снега. Грунт под ними, быстро промерзая, образует мерзлотную перемычку, вызывающую наледь.

По аналогии с мерзлотными поясами на небольших водотоках с малыми расходами и низкой температурой воды для образования наледи выше моста устраивают вымощенные камнем уширения русла глубиной 0,5 м, шириной 2-8 и длиной 5-10 м. Глубина протекающей воды не должна превышать 5 см. На участках с уклонами на дне устраивают перепады высотой не более 0,5 м.

## 22.2. Проектирование дорог в районах распространения оврагов

Образование оврагов является результатом водной эрозии – процесса размыва почв и рыхлых подстилающих их пород стекающими со склонов потоками воды от дождей и таяния снега.

Возвышающиеся элементы рельефа земной поверхности образуют гидрографическую сеть – систему связанных между собой путей стока дождевых и талых вод. Эрозионные процессы начинают проявляться при крутизне склона 0,5-2,0°, заметно усиливаются на склонах с уклоном 2-6° и получают существенное развитие при крутизне 6-10°.

В процессе своего образования овраги *проходят несколько закономерно сменяющихся стадий* (рис. 22.8):

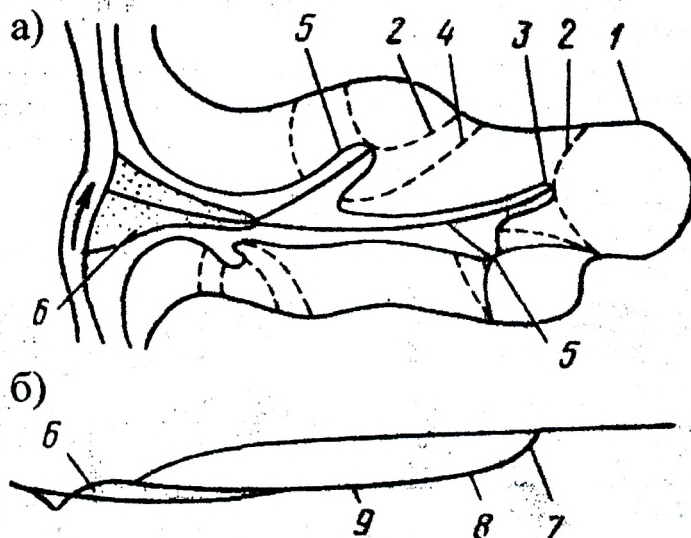


Рис. 22.8. Схематические план и продольный профиль оврага: а – план; б – продольный профиль оврага; 1 – границы бассейна оврага; 2 – границы бассейна отвершка оврага в момент съемки плана; 3 – главная вершина оврага; 4 – границы бассейна отвершка в начале роста; 5 – боковые отвершки; 6 – конус выноса; 7 – обрыв у растущей вершины оврага; 8 – размываемая часть русла; 9 – транзитное русло

1) на первой стадии размыва на крутом участке склона образуется промоина или рытвина треугольного поперечного сечения. Дно ее практически параллельно поверхности земли;

2) на второй стадии происходит углубление рытвины с уменьшением продольного уклона дна. У вершины создается обрыв высотой 5-10 м. Рытвина расширяется и становится в поперечном сечении трапецеидальной. К концу второй стадии в нижней части оврага вырабатывается плавный продольный профиль – транзитное русло, в пределах которого размыв уравнивается приносом грунта. У устья оврага, где вода, растекаясь, теряет скорость, откладывается конус выноса;



3) на третьей стадии происходит дальнейший рост оврага по направлению к водоразделу и в результате подмывания и осыпания берегов расширяется его поперечное сечение. Ежегодный прирост длины оврага может достигать 10-15 м. По боковым тальвегам, по которым к оврагу протекает вода с второстепенных бассейнов, начинают образовываться ответвляющиеся овраги – *отвершки*. Овраг развивается до тех пор, пока не достигнет грунтовых слоев, не поддающихся размыву, или пока питающий его вершину водосборный бассейн не уменьшится вблизи от водораздела до такой степени, что размыв прекратится;

4) в четвертой стадии глубинная эрозия и подмыв берегов постепенно затухают, овраг перестает расти. Склоны его принимают устойчивое очертание и зарастают травой. Овраг превращается в балку.

Наибольшую крутизну боковые склоны имеют у вершины. По мере приближения к устью склоны оврага в результате осыпания грунта становятся более пологими и покрываются почвенным слоем.

Развитию эрозии в сильной степени способствует уничтожение деревьев и травяного покрова, предохраняющих почву от размыва и регулирующих водный режим. Также к быстрому росту сети оврагов приводит неправильное землепользование (распашка склонов балок, направление при пахоте борозд вниз по склону) и неправильно запланированные и неукрепленные придорожные каналы.

Глубина и интенсивность развития оврага зависят от положения его *базиса эрозии* – горизонтальной поверхности, на уровне которой стекающие воды теряют свою размывающую силу. Для оврагов и балок, впадающих в реки, базисом эрозии служит уровень реки в месте впадения оврага или балки. В отдельных случаях глубина оврагов достигает нескольких десятков метров, а длина 15-20 км. Овраги, развивающиеся в широтном направлении, имеют несимметричное поперечное сечение. Склоны южной экспозиции, хорошо прогреваемые солнцем, бывают обрывистыми и сильно размываются. Наоборот, склоны северной и восточной экспозиции – большей частью пологие, прикрытые почвенными горизонтами с менее интенсивно протекающим размывом.

Выбор направления трассы дорог в районах распространения оврагов в значительной степени определяется положением населенных пунктов, между которыми прокладывается дорога, и планом сети оврагов. Рациональное направление трассы выбирают в зависимости от конфигурации сети оврагов и категории дороги (рис. 22.9):

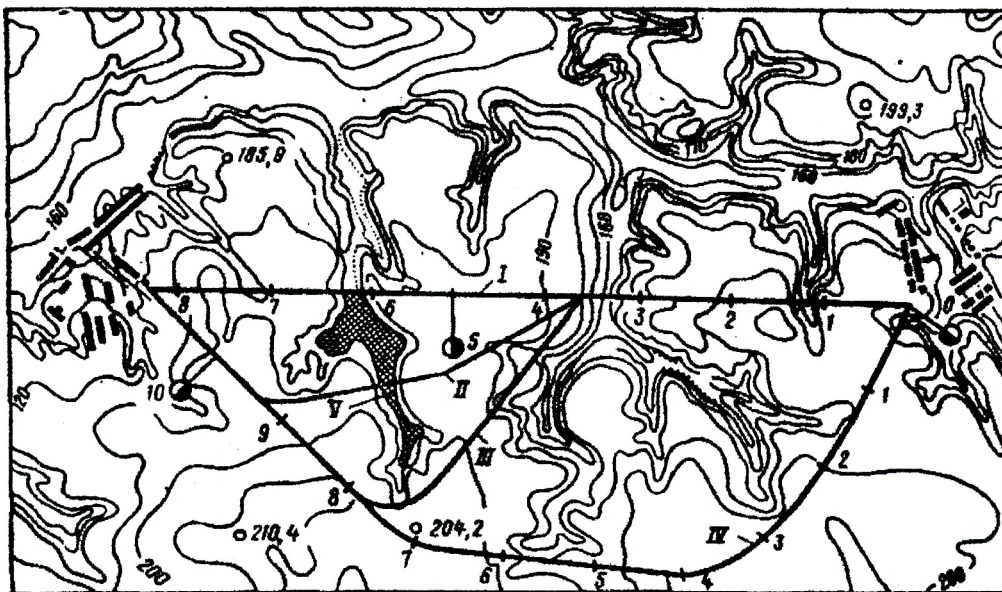


Рис. 22.9. Проложение трассы в районе распространения оврагов: I-IV – варианты трассы; V – придорожное водохранилище

1) при развитой сети оврагов проложение дороги в обход оврагов снижает стоимость строительства (I вариант), но приводит к большой извилистости трассы, перепробегу автомобилей. Поэтому дороги высших категорий следует прокладывать, приближаясь к кратчайшему направлению, не допуская излишних пересечений оврагов. Увеличение объемов земляных работ и числа искусственных сооружений оправдывается в этом случае значи-

тельным удешевлением стоимости проезжей части и сокращением дорожно-транспортных расходов;

2) при проектировании дорог низших категорий решающим фактором является стоимость строительства. В этом случае более выгодным оказывается вариант трассы, запроектированный с минимальным числом пересечений оврагов (II вариант). При обходе оврага трассу располагают на расстоянии 50-100 м от его вершины или отвершка, обязательно предусматривая в проекте мероприятия по закреплению оврага. Располагать трассу непосредственно вблизи вершины, в зоне размыва нерационально, так как потребуются дополнительные работы по защите земляного полотна и сооружения от размыва.

**Мероприятия по закреплению оврагов преследуют три цели:**

- снижение и замедление притока воды к оврагу;
- укрепление вершины оврага;
- закрепление его русла.

Для уменьшения, замедления и упорядочения стока воды с площади водосборного бассейна наиболее целесообразны следующие мероприятия:

- 1) распаивание почвы поперек склонов;
- 2) полосное размещение сельскохозяйственных культур;
- 3) создание травяного покрова на крутых склонах;

4) устройство системы земляных валов, замедляющих сток, задерживающих его или распределяющих между несколькими руслами, отводя его к расположенным поблизости отвершкам (рис. 22.10а, б). Для удержания протекающей воды на придорожной полосе иногда устраивают два-три водозадерживающих вала (рис. 22.10 в) высотой от 1 до 2 м и шириной по гребню от 0,5 (валы узкого профиля) до 2,5 м. Валы после уплотнения и осадки должны на 0,2-0,5 м возвышаться над уровнем воды, которая может за ними накопиться. Валы могут быть *защитными (глухими)*, когда вода из пруда может уходить, только достигнув высоты гребня вала, и *открытыми*, когда в конце загибов устраивают пониженное место для слива воды. Расстояние между валами назначают в зависимости от крутизны местности из условия  $L=h/i$ , где  $L$  – расстояние между осями валов, м;  $h$  – высота вала, м;  $i$  – уклон местности.

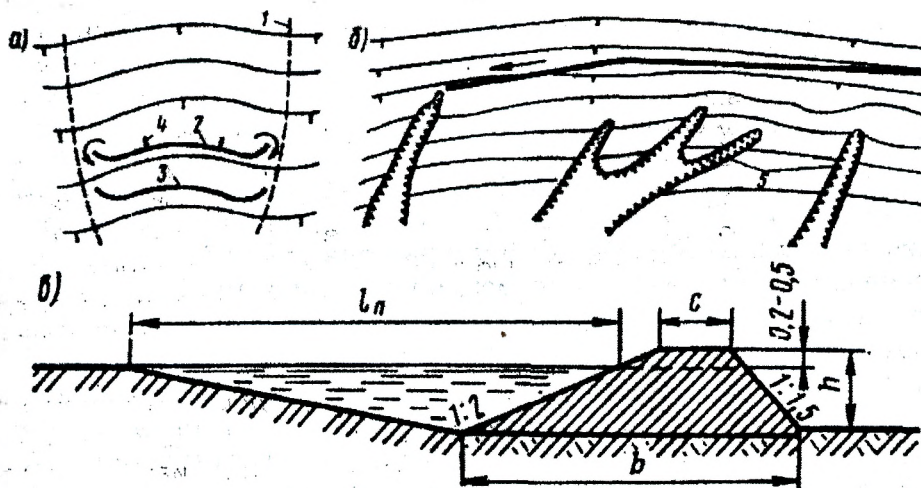


Рис. 22.10. Схемы расположения водозадерживающих и водоотводящих валов: а – размещение водозадерживающих валов у вершины оврага; б – валы, отводящие воду к головному сооружению одного из оврагов; в – поперечное сечение водозадерживающего вала; 1 – границы бассейна; 2 – открытая перемычка; 3 – глухая перемычка; 4 – поперечные валики; 5 – вершина оврага

Ближайший к вершине оврага водоразделяющий вал располагают в 10-15 м от вершины оврага, не ближе чем на две-три глубины оврага в вершине. Через каждые 100 м задерживающих валов делают поперечные валики, прерывающие течение воды вдоль вала.

Высоту валов и глубину канав назначают по расчету на полное удержание количества воды, собирающейся после таяния снега или выпадения ливня при 10%-ной обеспеченности. Чтобы перехватить всю воду и направить ее в головное приемное сооружение, вблизи от вершины оврага устраивают направляющие водосборные валы высотой около 0,75 м.

Наиболее сложно осуществляется укрепление головной части оврага, где для безопасного сброса талых и ливневых вод на дно оврагов необходимы специальные сооруже-



ния. Ими можно обеспечить сброс воды с бассейнов площадью до 15-20 га. Если рядом расположено несколько отвершков, сооружение строят на одном из них, подводя к нему воду от других отвершков укрепленными канавами. Головные сооружения устраивают в виде трубчатых железобетонных или асбоцементных водоспусков из труб диаметром 0,5-1,0 м, перепадов, водобойных колодцев и консольных водосбросов, предназначенных для пропуска на дно оврага притекающей воды и гашения ее энергии (рис. 22.11).

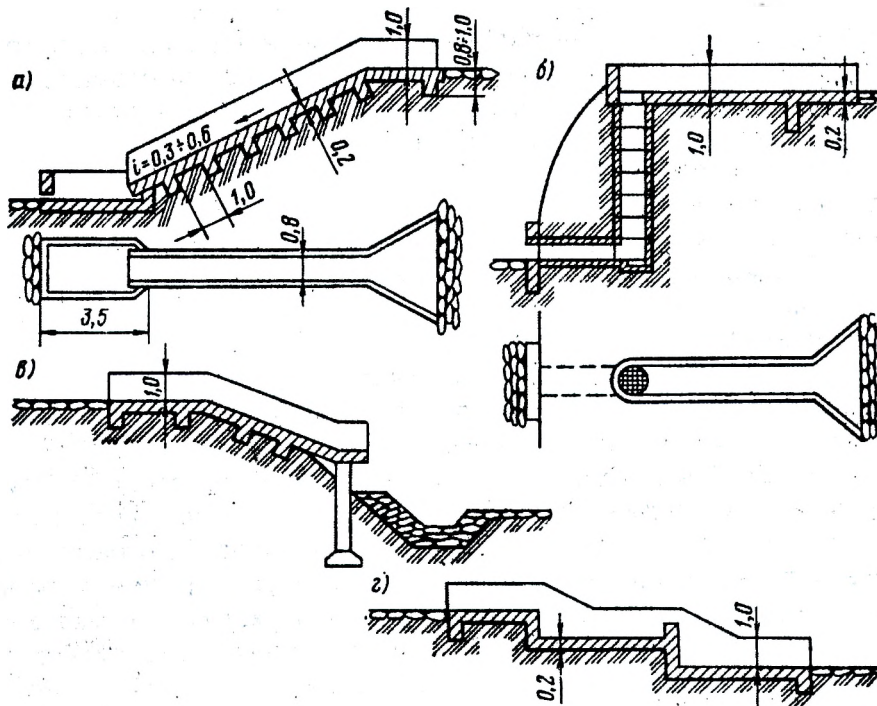


Рис. 22.11. Схемы сооружений для закрепления вершины оврага: а – быстроток; б – бетонный перепад с шахтным водосбросом; в – консольный водосброс; г – перепад

Их расчет необходимо вести на пропуск расходов той же повторяемости, что и для малых искусственных сооружений на дороге. Лотки применимы при расходах до  $15 \text{ м}^3/\text{с}$  и разности высот до 40 м, трубчатые водосбросы до  $2 \text{ м}^3/\text{с}$  при той же высоте, шахтные водосбросы – при высоте падения до 15 м. Консольные водосбросы при скальном дне допустимы при разности высот до 40 м и расходах до  $15 \text{ м}^3/\text{с}$ . При не скальных грунтах применимость их ограничивается разностью высот 5 м и расходами  $\leq 1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Стойка должна быть заглублена не менее чем на 2 м ниже дна возможной воронки размыва.

Для надежности работы головных сооружений в их конструкции должны быть предусмотрены эффективные меры против фильтрации воды вдоль сооружения и подмыва их снизу при размывании падающей водой дна оврага. В верхней части сооружений устраивают направляющие валы и противофильтрационные шпоры, заглубляемые в грунт, укрепляют подходное русло на большом расстоянии. В процессе эксплуатации необходимы повседневный надзор за этими сооружениями и своевременный их ремонт. Несоблюдение этих требований приводит к неизбежному подмыву сооружений.

Русловые и донные сооружения для борьбы с дальнейшим углублением оврага и задержания продуктов размыва состоят из системы запруд высотой не более 0,7 м и перепадов, уменьшающих скорость течения воды по дну оврага. Их устраивают капитального типа из бетонных элементов или каменной кладки и облегченные – в виде хворостяных или плетневых запруд. Концы запруд врезают в боковые стенки оврага на 1 м во избежание подмыва водой его склонов.

Важное значение для закрепления оврагов и прекращения их размыва имеет посадка у верховьев оврага, вблизи его склонов и берегов деревьев и кустарников полосой шириной не менее 15-20 м (рис. 22.12). В зависимости от климатических условий могут быть применены дуб, ясень, береза, тополь, клен и сосна (на песках), из кустарников – акация, жимолость, смородина, терн, шиповник и др. В пределах полосы насаждений развивается травянистый покров, укрепляющий своей корневой системой верхние слои почвы, задерживаю-

щий влагу и тем самым уменьшающий сток воды в овраг. После проведения активных мероприятий по борьбе с ростом и размывом оврага рекомендуется насаждать лес по склонам и в русле самого оврага для окончательного его закрепления.

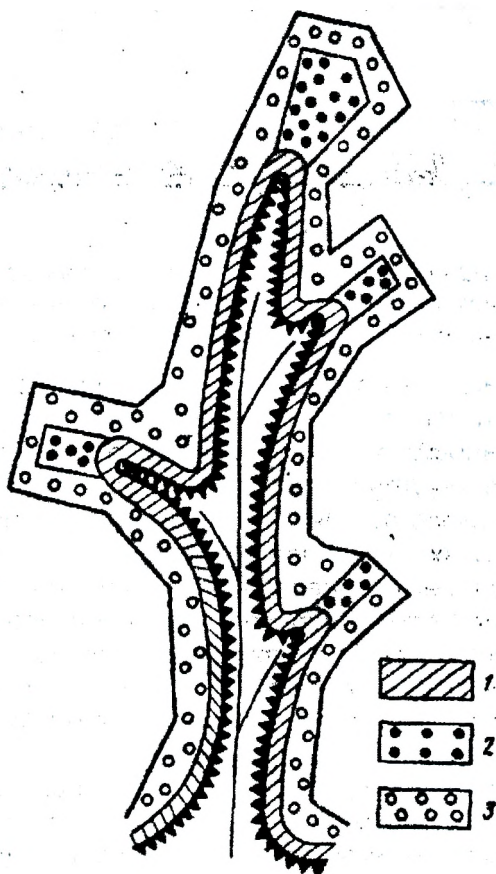


Рис. 22.11. Схема размещения противозрозионных мероприятий: 1 – полоса луга (3-10 м); 2 – кустарниковые посадки на водоподводящих ложбинах; 3 – древесно-кустарниковые посадки (20-50 м)

Закрепление придорожных оврагов требует ряда лет. Начатое строителями, оно завершается уже в процессе эксплуатации дороги.

Проект активных мероприятий по укреплению оврага разрабатывают на основе данных, собранных в процессе изысканий, в увязке с планом местных сельскохозяйственных организаций. Необходимо иметь детальный план оврага и прилегающей водосборной площади в масштабе 1:2000-1:5000 в горизонталях.

При пересечении автомобильной дорогой небольших оврагов, когда высота насыпи не превышает 10-12 м, целесообразно устраивать **придорожные пруды и водоемы**. Устройство около дороги водохранилища должно быть обосновано гидрологическими расчетами, в него не должны попадать овражные выносы и сточные воды.

При устройстве придорожного водохранилища овраг пересекают дорогой в наиболее узком месте, по возможности перпендикулярно к общему его направлению. При изысканиях по оси перехода закладывают через 20-25 м буровые скважины на глубину 10 м и шурфы для исследования поверхностных слоев грунта.

Подпорный уровень водохранилища назначают исходя из целесообразного затопления местности зеркалом водохранилища. Бровка плотины должна возвышаться над ним на 0,75-1,0 м. Ширину плотины поверху принимают равной ширине земляного полотна дороги.

Для отсыпки плотин могут быть использованы местные грунты – глины, суглинки и супеси. Верхний откос со стороны пруда укрепляют одиночным или двойным мощением на щебне или каменной наброской в плетневых клетках на слое гравия. Низовой откос укрепляют одерновкой, засевом трав, реже мощением.

Поперечный профиль земляной насыпной плотины (рис. 22.12) отличается от дорожной насыпи лишь более пологими откосами, крутизна которых назначается в зависимости от высоты насыпи и рода грунта (в среднем 1:1,5-1:3).



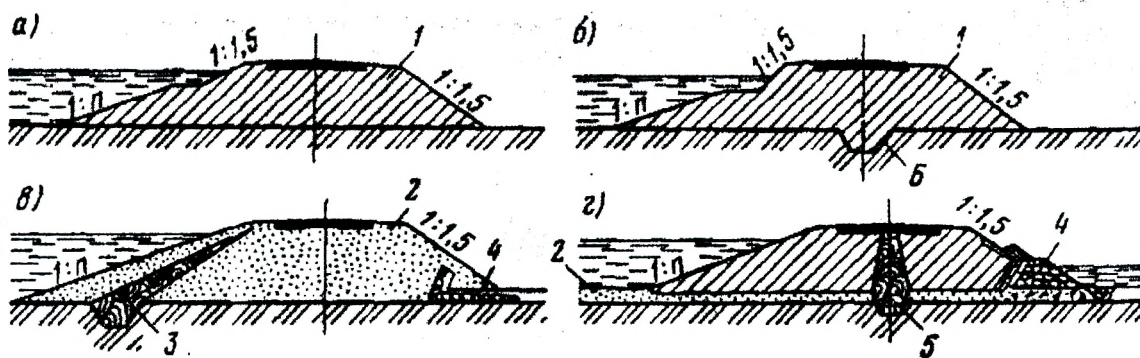


Рис. 22.12. Поперечные профили земляных плотин: а – из однородных грунтов; б – с противофильтрационным зубом; в – с экраном; г – с водонепроницаемым грунтом; 1 – супесь, суглинок; 2 – песок; 3 – экран; 4 – дренаж; 5 – водонепроницаемое ядро; 6 – противофильтрационный зуб

При опасности фильтрации через основание плотины должен быть устроен *противофильтрационный зуб*, а если плотина отсыпана из песка, то экран из глины, суглинка или торфа со степенью разложения 50% и более. Если поверхностные слои грунтов в основании плотины водопроницаемы, для предотвращения опасности фильтрации в ее теле закладывают водонепроницаемое ядро из глинистых грунтов с коэффициентом фильтрации не более  $10^{-4}$  см/с, которое должно входить в подстилающий грунт. Размер ядра определяют из условия, чтобы градиент потока в его пределах составлял  $4 < J < 10$ .

Если кривая депрессии в теле плотины выходит в низовой откос или в зону сезонного промерзания, для предотвращения вымывания грунта закладывают перехватывающий и отводящий воду дренаж в виде *горизонтальной каменной призмы*, расположенной у подошвы низового откоса и отделенной от тела плотины слоями фильтрующего материала постепенно уменьшающейся крупности (см. рис. 22.12г).

Для сброса паводковых вод на уровне подпертого горизонта у края плотины на плотном материковом грунте располагают мост, рассчитанный на пропуск паводкового расхода.

Предусматривая в проекте насыпь-плотину, необходимо учитывать, что ее строительство требует очень тщательного производства работ. Известно много случаев, когда, простояв один-два года, плотины разрушались и восстановить водохранилище не удавалось. К строительству насыпей следует привлекать гидротехников. Необходимо удалить наносный грунт до материкового на дне оврага, расчистить уступами склоны оврага в местах сопряжения с плотиной, тщательно уплотнить грунт в теле плотины.

### 22.3. Проектирование дорог в карстовых районах

*Карстовые процессы* происходят в толще растворимых горных пород – гипса, известняка, доломита, каменной соли и др., выщелачиваемых подземными водами. В результате совместной деятельности грунтовых и проникающих поверхностных вод такие горные породы растворяются и уносятся подземными водами. В толще земли образуются пустоты, подземные ходы, полости и большие пещеры, а на поверхности – всевозможные углубления, вызванные обрушением и проседанием кровель полостей, а также воронки, рытвины и борозды, появляющиеся в результате непосредственного размыва и растворения. Диаметр карстовых воронок обычно составляет 1-50 м, а глубина редко превышает 15-20 м. Своеобразная поверхность такой местности – *карстовый ландшафт* указывает на наличие карстовых процессов, что должно быть учтено при проложении трассы дороги.

Строительство автомобильных дорог в карстовых районах сопряжено с опасностью разрушения дороги при развитии карстовых процессов и обрушении кровли карстовых полостей, пересекаемых дорогой. Поэтому при изысканиях автомобильных дорог должна быть установлена интенсивность карстовых явлений, которая зависит от состава горной породы и степени ее трещиноватости, от ее растворимости, химического состава грунтовых вод и от рельефа местности.

По степени опасности для строительства карст делят на два типа:

I – *карст в легкорастворимых породах* – сульфатных (гипсовых), сульфаткарбонатных и каменной соли, где ежегодно могут образовываться воронки и возникать просадки;

II – карст в труднорастворимых породах – карбонатных (известняках, доломитах, меле и обломочных породах с карбонатным цементом).

Во втором случае развитие карста протекает значительно медленнее, и новые элементы карстового ландшафта часто не появляются десятилетиями. Это позволяет прокладывать дороги и возводить инженерные сооружения (учитывая их расчетный срок службы) на прочных участках закарстованной территории.

Ориентировочной характеристикой интенсивности развития карстовых процессов, по данным проф. Г. А. Максимовича, может служить количество воронок, образующихся в год, в результате провала кровли карстовых пещер на площади в 1 км<sup>2</sup> (табл. 22.1).

Таблица 22.1. Ориентировочная характеристика интенсивности развития карстовых процессов

Категория района	Характеристика устойчивости рельефа	Количество воронок, образующихся на 1 км <sup>2</sup>
I	Весьма неустойчивый	5-10 в год
II	Неустойчивый	1-5 в год
III	Среднеустойчивый	1 в 10-20 лет
IV	Устойчивый	1 в 20-50 лет
V	Весьма устойчивый	за 50 лет не зарегистрировано новых воронок

Безопасную глубину залегания карстовых полостей от основания инженерных сооружений определяют по эмпирической формуле  $H_б = K_б \cdot h$ , где  $K_б$  – коэффициент безопасности (100-150);  $h$  – высота карстовых полостей, м.

Мероприятия по борьбе с карстовыми процессами требуют значительных затрат и недостаточно эффективны, поскольку при строительстве автомобильной дороги их пришлось бы осуществлять на большом протяжении. Поэтому неустойчивые участки, где активно развиваются карстовые процессы, следует по возможности обходить. Карстовые воронки хорошо видны на аэрофотоснимках, что облегчает выбор наилучшего направления трассы (рис. 22.13).

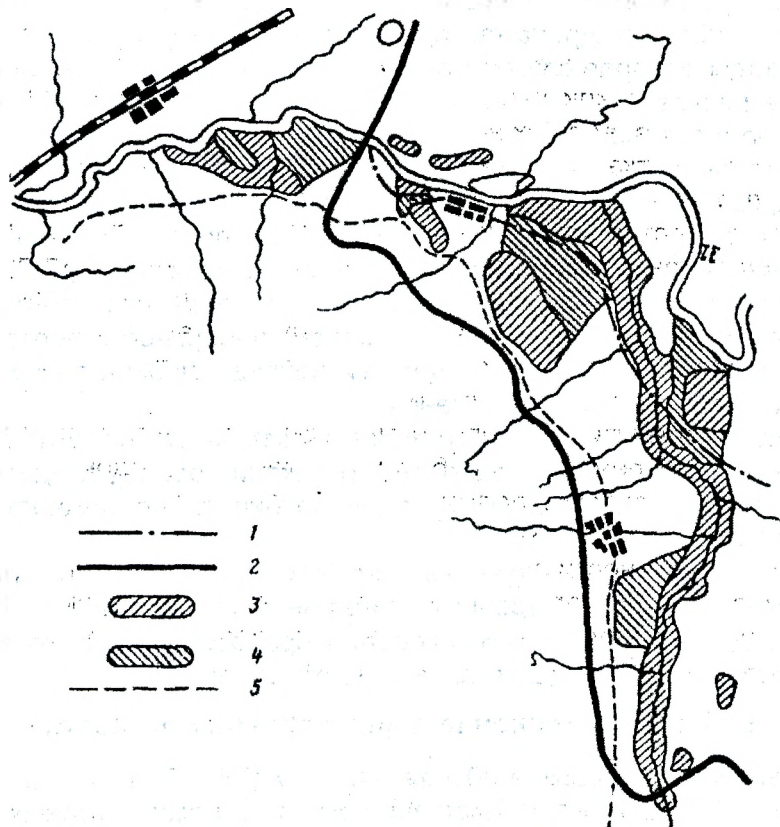


Рис. 22.13. Уточнение трассы дороги в карстовом районе по данным геологических обследований: 1 – первоначальный вариант трассы; 2 – окончательный вариант; 3 – участки явного проявления карста; 4 – участки скрытого проявления карста; 5 – линия контакта известняков с метаморфическими и изверженными породами



На интенсивность карстовых процессов влияет рельеф местности, поскольку на крутых склонах происходит меньшее просачивание грунтовых и талых вод. Наблюдается следующая зависимость относительной плотности воронок на 1 км<sup>2</sup> от уклона местности:

уклон местности, %	> 100	60-100	40-60	20-40	< 20;
относительное количество воронок	1,0	1,4	2,6	3,6	4,0.

Поэтому **в карстовых районах проложение трассы по склонам предпочтительнее водораздельного или долинного**. В районах, где карстовые процессы затухли, о чем можно судить по отсутствию образования в течение 20-30 лет новых просадочных воронок, дороги низших категорий строят без учета карстовых явлений. *Дороги высоких категорий (I-III)* можно прокладывать в невысоких насыпях, обходя участки сосредоточения воронок, при условии выполнения в пределах придорожной полосы работ, направленных на уменьшение количества воды, поступающей в подземные трещины и каналы в толще водорастворимой породы. С этой целью предусматриваются следующие мероприятия:

- 1) планировка придорожной полосы и отвод воды, застаивающейся в пониженных местах рельефа;
- 2) отказ от применения напорных труб и мостов, рассчитанных на аккумуляцию воды перед сооружением;
- 3) укрепление русел водотоков и отводных канав;
- 4) засыпка карстовых воронок водонепроницаемым грунтом с тщательным послойным уплотнением;
- 5) запрещение устройства с верховой стороны насыпей глубоких резервов и закладка грунтовых карьеров;
- 6) заполнение через буровые скважины (тампонирование) расположенных вблизи от дороги карстовых полостей и трещин песчано-глинистыми, битумными и цементными растворами для уменьшения водопроницаемости растворимых горных пород вблизи искусственных сооружений;
- 7) обрушение взрывами неустойчивой кровли породы над полостями;
- 8) устройство глубокого дренажа, прерывающего движение к земляному полотну грунтовой воды, которая служит причиной возникновения карстовых процессов;
- 9) заполнение песком или каменной наброской полостей и глубоких трещин вблизи земляного полотна, если их нельзя обойти;
- 10) пересечение участка карстовых полостей эстакадой с опорами, заложенными ниже толщи, подверженной карстовым процессам.

Много общего с карстовыми районами по условиям проектирования дорог имеют участки над подземными горными выработками. Обрушение кровли над пустотами приводит к смещению горных пород по всей их толще вплоть до поверхности, где образуется плавная впадина, называемая **мульдой сдвига**. Просадки поверхности протекают замедленно, захватывая участки дороги протяжением в десятки метров. Глубина просадок достигает иногда 60-80 см, отражаясь на скоростях движения.

Потери ровности покрытий и плавные просадки земляного полотна на больших участках могут устраняться при ремонтных работах. Протекание осадок следует учитывать лишь в конструкциях мостов, которые должны предусматривать возможность неравномерной осадки и ее компенсации.

При близком к поверхности заложении выработок необходима их заделка в пределах придорожной полосы через пробуренные скважины диаметром 75-100 мм песчано-глинистым раствором. При глубине до 6 м кровли выработок вскрывают экскаваторами, затем котлован заполняют грунтом с тщательным уплотнением.

#### 22.4. Проектирование дорог в горной местности

Горные районы занимают свыше 30% территории СНГ. Большая часть площади таких государств как Армения, Таджикистан, Киргизия покрыта горами. В горных районах в связи с трудностью строительства развитой сети железных дорог основной объем перевозок осуществляется по автомобильным дорогам. Однако проектирование и строительство дорог в горных районах требует решения ряда сложных вопросов.

*Горный рельеф* характеризуется значительной разностью отметок на коротком протяжении, крутыми склонами гор, глубокими извилистыми долинами рек. Геологическое строе-

ние горной местности может резко изменяться на небольших участках. Горные склоны бывают неустойчивыми, строительство дороги может нарушить их равновесие, вызвать обвалы и обрушения, активизировать оползни и осыпи. При невозможности обхода участков с неблагоприятными условиями необходимо предусматривать специальные мероприятия для обеспечения устойчивости земляного полотна и безопасности движения.

Значительный объем земляных работ при строительстве дорог в горных районах выполняют в скальных грунтах, широко используя *взрывные методы*. Земляное полотно на крутых склонах на большом протяжении приходится строить с *подпорными стенами*.

Сильно расчлененный рельеф горных склонов вызывает необходимость строительства большого числа сооружений на пересечениях многочисленных водотоков и сухих лощин. В связи с большими продольными уклонами даже при малых водосборных бассейнах ливневые потоки несут с собой камни. Поэтому требуются специальные меры для защиты сооружений от размыва и разрушения. Трудность выполнения строительных работ на горных склонах и высокая их стоимость требуют рассмотрения ряда вариантов проложения трассы в целях нахождения наиболее оптимального решения. Специфические условия горной местности изменяют соотношение между затратами на отдельные виды работ при строительстве дорог (табл. 22.2).

Таблица 22.2. Затраты на отдельные виды работ при строительстве дорог

Элементы дороги	Затраты на отдельные виды работ, %, в местности	
	равнинной	горной
Земляное полотно	15-18	45-50
Дорожная одежда	45-50	10-15
Искусственные сооружения	10	34

Природные условия в горах меняются на коротком протяжении, причем резко проявляется влияние *вертикальной зональности* (изменения климатических условий по мере возвышения над уровнем моря) и экспозиции склонов по отношению к сторонам света.

Температура воздуха в горах понижается в среднем примерно на 0,5° на каждые 100 м высоты. Холодный воздух стекает со склонов в замкнутые долины. В высокогорных районах происходят значительные суточные колебания температур.

С высотой уменьшается давление воздуха. Разность отметок, соответствующая падению давления воздуха на 1 мм рт. ст. («барометрическая ступень»), составляет в зависимости от температуры воздуха и атмосферного давления 10-17 м. Разреженность воздуха в высокогорных районах вызывает уменьшение мощности двигателей автомобилей из-за неполного сгорания топлива.

Годовое количество осадков, выпадающих в горах, увеличивается по мере возвышения над уровнем моря в среднем на 40-60 мм на каждые 100 м высоты, достигая максимума в зоне интенсивного образования облаков. Летом в горах бывают интенсивные ливни, при которых выпадает до 15-20% годовых осадков.

Все перечисленные обстоятельства требуют внимательного учета при проектировании горных дорог.

**В отличие от других типов местности в горах выбор трассы определяется главным образом расположением горных хребтов и их отрогов, которые являются водоразделами бассейнов рек.**

Переход дороги из одного бассейна в другой возможен только через понижения горных хребтов – *седловины*. Для дорог в горных местностях характерно проложение трассы вначале по долине горной реки, где сосредоточены населенные пункты, вверх, к истокам, затем подъем по горным склонам к седловине и переход на перевальном участке в долину другой реки. Проектирование дорог на каждом из этих участков имеет свои характерные особенности.

При всех различиях горных хребтов, вызываемых особенностями их геологического строения, с точки зрения принципов трассирования дорог, можно выделить **четыре типа горного рельефа**:

- предгорья;
- горные долины;
- горные склоны;
- водораздельные седловины или плато.



Для каждого из них характерны свои приемы трассирования. При этом трассирование дорог в предгорьях практически не отличается от проложения дорог в холмистой местности.

#### 22.4.1. Трассирование автомобильных дорог по долинам горных рек

Особенности трассирования дорог по долинам горных рек связаны с тем, что уклоны горных рек обычно меньше продольных уклонов, допускаемых на горных дорогах. Лишь в верховьях водотоков, при переходе дороги из долины на перевальный участок, продольные уклоны могут превысить максимально допустимые.

Большие скорости течения воды горных рек вызывают значительные размывы дна и склонов долин. Горные реки обычно имеют блуждающие русла, поэтому при проложении дорог по их берегам часто требуются укрепительные работы.

**Направление трассы дороги при долинном ходе в плане определяется:**

- извилистостью склонов речной долины;
- впадающими в нее водотоками;
- неустойчивыми участками склонов;
- наличием скальных выступов («прижимов»), которые приходится огибать, прорезать глубокими выемками, короткими тоннелями или переносить дорогу на другой берег реки (рис. 22.14).

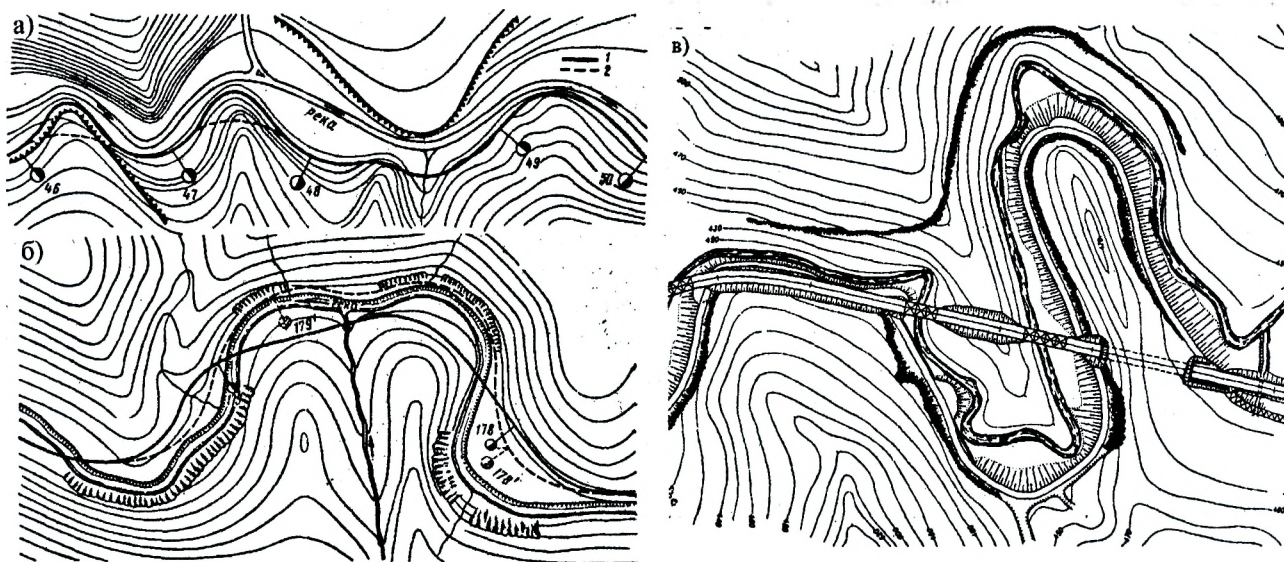


Рис. 22.14. Стесненная в плане трасса дороги, проходящей по речной долине: а – проложение по одному берегу; б – перенос трассы на сложных участках на другой берег; в – проложение трассы с пересечением извилин реки мостами и с устройством тоннеля

В связи с ограниченной возможностью смещения трассы долинные ходы относят к категории «стесненных», или «вынужденных в плане». Выбор решения трассы, наилучшего в каждом конкретном случае, зависит от категории дороги и основывается на технико-экономическом сравнении вариантов, учитывающем стоимость их строительства и транспортные расходы. **Для современного проектирования горных дорог с интенсивным движением характерно прямое трассирование по дну долины с неоднократным пересечением реки на близком расстоянии и устройством коротких тоннелей.**

Дороги, проходящие по речным долинам, имеют большое число кривых малых радиусов в плане, мостов через боковые притоки, пересекаемые вблизи их устья в зоне отложения конусов выноса, косогорных участков, которые в отдельных местах могут быть недостаточно устойчивыми. При строительстве дороги по речной долине приходится устраивать подпорные и укрепительные стены и, наконец, строить специальные сооружения для предохранения от возможных снежных заносов и обвалов.

**Необходимо учитывать геологические особенности горных рек:**

- большие скорости течения (в межень 1,5-4,0 м/с, в паводок до 10 м/с);
- большие колебания расходов (от 10-50 в межень до 250-900 м<sup>3</sup>/с при паводке);
- резкие изменения глубины (от 0,5-1,5 м в межень и быстрый и высокий подъем уровня на 3-6 м в паводки).

Дорогу, проходящую вдоль долины, всегда желательно располагать выше максимального горизонта воды в реке на таком расстоянии, чтобы исключить возможность подмыва земляного полотна. В узких, стесненных долинах с очень крутыми скальными склонами земляное полотно иногда приходится размещать очень близко к водотоку, устраивая так называемые **«прислонные насыпи»** из крупных камней, отсыпаемых в реку вплотную к скальному откосу до проектной отметки, превышающей наивысший горизонт высоких вод. С речной стороны откос земляного полотна в таких случаях подвергается опасности подмыва и его приходится очень надежно укреплять. В ряде случаев возможны спрямления русла рек (рис. 22.15).

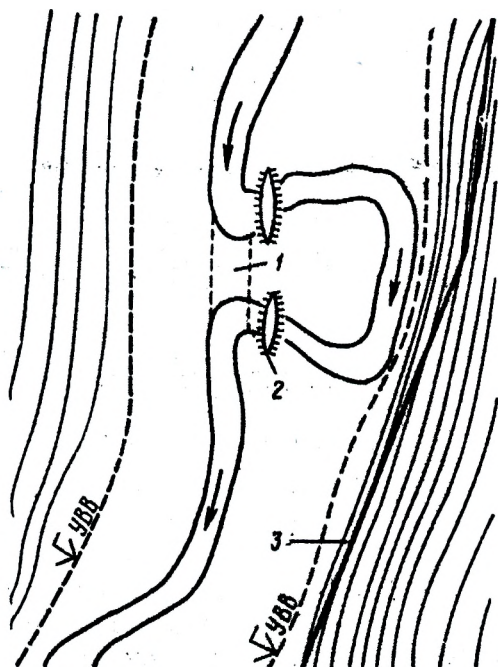


Рис. 22.15. Спрямливание русла для снижения опасности подмыва полотна дороги: 1 – спрямленное русло; 2 – дамбы; 3 – трасса дороги

На сегодняшний день существует много **способов укрепления земляного полотна**, основные из которых следующие:

- устройство берегоукрепительных подпорных стен, возводимых на прочных подстилающих породах;
- каменная или бетонная облицовка откосов, упирающаяся в заглубленный фундамент (зуб), препятствующий подмыву;
- применение скользящих вниз по откосу бетонных блоков или плит, оседающих по мере подмывания;
- укладка на откосах фигурных бетонных элементов (тетраподов, тетраэдов и др.), сцепляющихся друг с другом и опускающихся при подмыве;
- применение бетонных туюфяков из связанных друг с другом блоков, опускающихся при подмыве.

Для снижения скорости продольного течения воды вдоль дороги устраивают разного рода шпоры из бетона. Следует учитывать, что, отжимая течение от одного берега, шпоры могут активизировать подмыв противоположного.

При выборе положения трассы должны быть изучены геологическое строение склонов долины, режимы пересекаемых водотоков и возможность снежных обвалов. При значительной крутизне склонов в неблагоприятных геологических условиях для обхода участков оползней или осыпей либо лощин с опасными селевыми выносами трассу переносят с одной стороны долины на другую. Для плавности трассы реку пересекают под углом с устройством косых мостов на цилиндрических столбчатых опорах.

Чтобы уменьшить объем земляных работ, в особенности скальных, трассу прокладывают по наиболее пологой части склонов, следуя за основными изгибами долины.

На пересечении водотоков, впадающих в реку, вдоль которой прокладывается дорога, возможны следующие **варианты трассирования** (рис. 22.16):



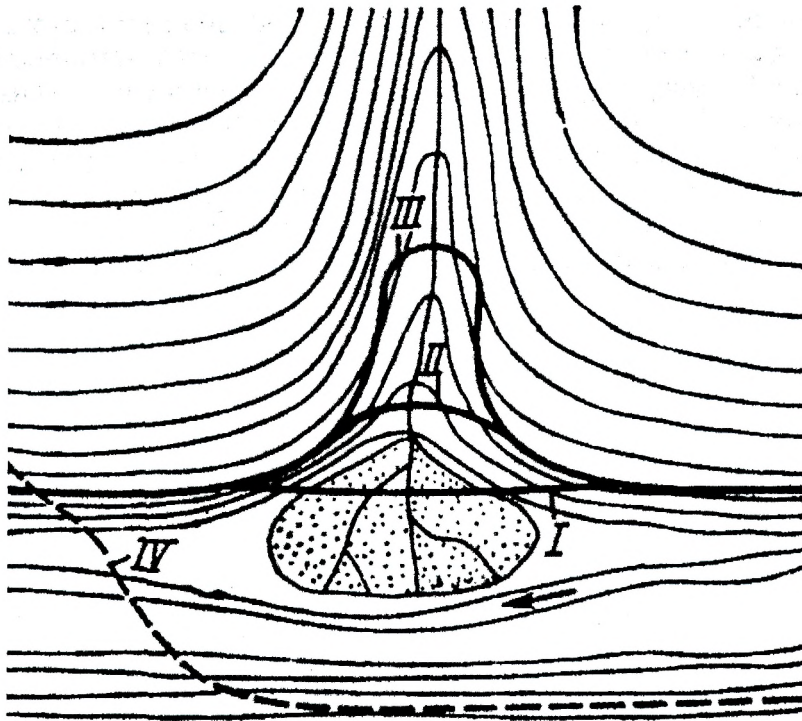


Рис. 22.16. Варианты пересечения водотока при проложении трассы по речной долине

1) пересечение водотока вблизи от места его впадения в реку по конусу выноса (линия I). Этот вариант неудобен тем, что в пределах конуса выноса обычно водоток разбивается на несколько блуждающих русел, периодически меняющих свое положение;

2) пересечение выше конуса выноса в пределах транзитной зоны впадающего водотока, где уклон его велик и отложения наносов не происходит (линия II). Несмотря на удлинение трассы и необходимость строительства большого моста, который целесообразно располагать на кривой, при этом решении удастся получить трассу с достаточно большими радиусами кривых, удобную для движения автомобилей;

3) глубокий заход в боковую долину в целях уменьшения размера искусственного сооружения и сокращения объемов земляных работ на подходах к нему (линия III). В этом случае снижение объема земляных работ достигается ценой значительного ухудшения условий движения автомобилей из-за увеличения пути пробега и кривых малых радиусов при въезде на мост, расположенный в узкой долине;

4) перенос трассы на другой берег долины (линия IV), связанный с необходимостью строительства двух мостов, целесообразен при интенсивных селевых выносах на пересекемой реке и неустойчивых склонах ее долины.

При трассировании по склонам речной долины во всех характерных местах изменения крутизны косогора и в плюсовых переломных точках трассы снимают поперечные профили, на которых впоследствии вычерчивают поперечники земляного полотна для уточнения положения проектной линии и определения объемов земляных работ.

#### 22.4.2. Развитие трассы дороги по склонам и перевальным дорогам

Переходные участки от долинных трасс к перевальным участкам (рис. 22.17) характеризуются большими продольными уклонами местности, превышающими допустимый на дороге.

Для возможности проложения трассы приходится искусственно увеличивать ее длину (**развивать трассу**) заходами в боковые долины. В отличие от проектирования долинной трассы на участках развития дорогу прокладывают с продольными уклонами, близкими к максимальным, используя каждую возможность набора высоты (рис. 22.18). Применяются и более сложные способы развития трассы, как, например, проложение трассы дороги по спирали с тоннелями и эстакадами, что позволило в примере, показанном на рис. 22.19, при расстоянии между начальной и конечной точками по воздушной линии 500 м преодолеть разность отметок в 80 м.

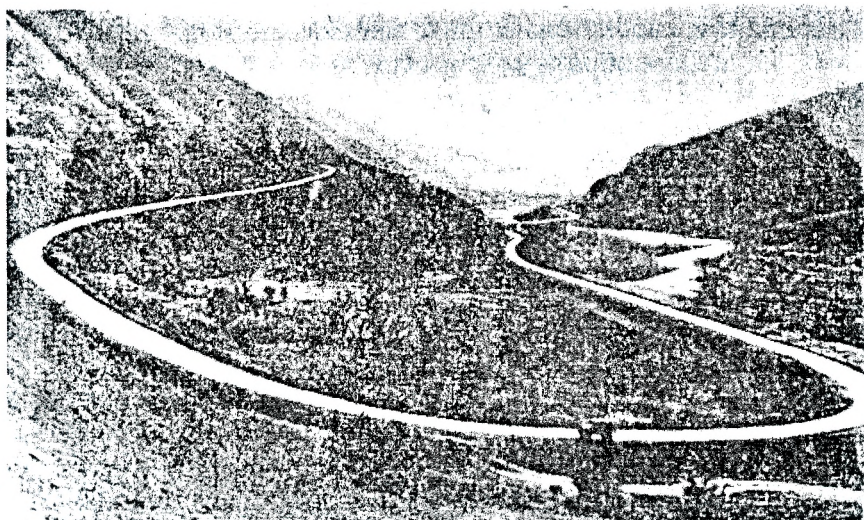


Рис. 22.17. Переход дороги от хода по долине к подъему на перевал

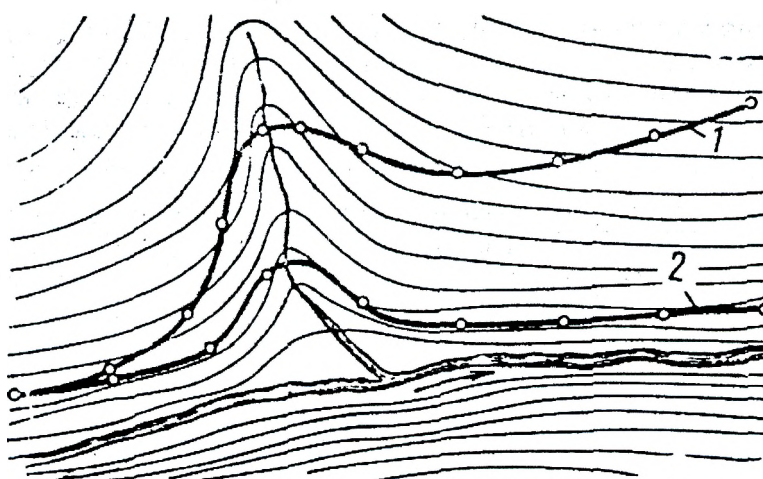


Рис. 22.18. Развитие трассы с заходом в долину впадающего водотока в верхней части долинного хода: 1 – трассирование с заходом в боковую долину; 2 – трассирование вдоль речной долины

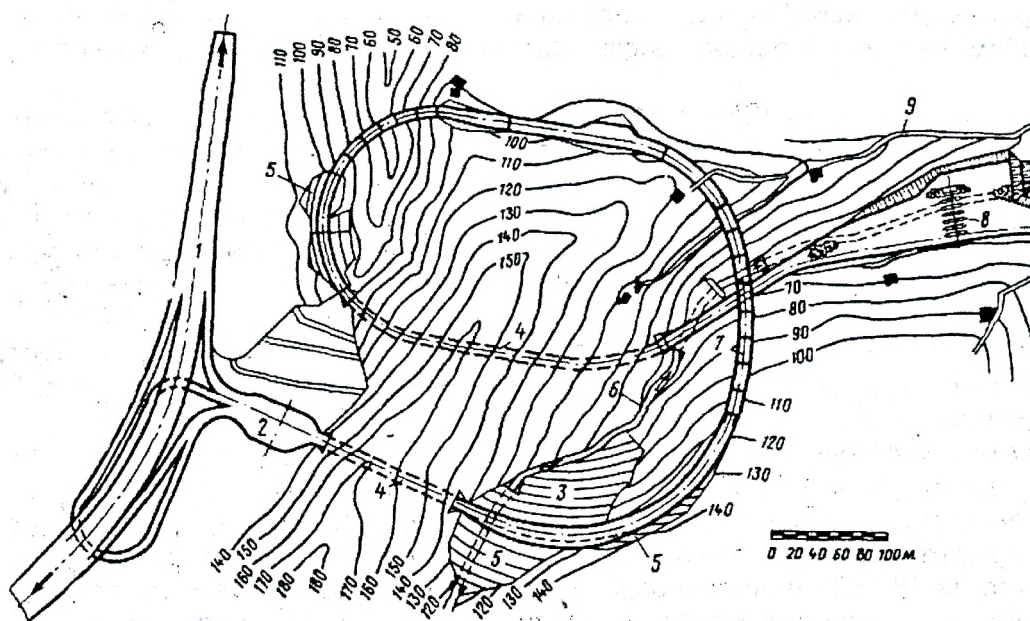


Рис. 22.19. Развитие трассы по спирали: 1 – автомобильная магистраль; 2 – смотровая площадка; 3 – откосы насыпей; 4 – участки в тоннелях; 5 – откосы выемок; 6 – водоток, частично убранный в подземный коллектор; 7 – участки на эстакадах; 8 – кассы для оплаты стоимости проезда по дороге; 9 – пешеходная дорожка



Подходы к перевалам характеризуются значительными продольными уклонами, большим числом кривых, наличием обратных кривых – *серпантин*, большими объемами скальных работ. На них часто приходится устраивать специальные инженерные сооружения – снегозащитные галереи и тоннели. Сами же перевалы и горные плато имеют сравнительно спокойный рельеф и меньшие, чем на подходах к ним, уклоны.

На перевальных участках особенно сильно проявляются климатические особенности высокогорных районов. Перед началом проектирования должны быть установлены уровни и сроки опускания ледников и снеговой линии, места устойчивых туманов и другие характеристики, позволяющие наметить целесообразную высоту расположения тоннельных вариантов, а также оценить транспортные качества будущей дороги с учетом особенностей работы автомобильных двигателей в высокогорных условиях.

*Мощность автомобильных двигателей* зависит от плотности воздуха. Состав горючей смеси характеризуется отношением количества действительно используемого кислорода к теоретически необходимому (коэффициент избытка воздуха). Автомобильные двигатели обычно работают на смесях с коэффициентом избытка воздуха 0,8-1,2. На больших высотах плотность воздуха уменьшается, и вследствие этого наполнение двигателей кислородом снижается. Это приводит к уменьшению мощности двигателей как из-за уменьшения количества кислорода и топлива, попадающего в цилиндры, так и из-за ухудшения процесса сгорания в результате падения давления в конце сжатия. Отражается также на работе двигателей ухудшение их охлаждения в связи с понижением температуры кипения воды.

Показания эффективности использования автомобилей с карбюраторными двигателями ухудшаются с поднятием на каждую тысячу метров над уровнем моря (табл. 22.3).

Таблица 22.3. Эффективность использования автомобилей на разных высотах над уровнем моря

Высота над уровнем моря, м	Эффективная мощность двигателя, %	Расход топлива, %	Относительная производительность работы автомобиля, %
0	100	100,0	100
1000	81,7	109,0	83
2000	78,5	124,5	65
3000	69,2	134,0	50
4000	60,8	138,1	30
5000	59,3	140,0	15

Как видно из табл. 22.3, при перевозках на высотах, превышающих 2000 м, уже необходимо считаться со снижением мощности двигателя. Поэтому при проектировании высокогорных дорог предельный уклон для перевальных участков целесообразно назначать на 10-20‰ меньшим, чем для участков трассы, расположенных на небольших высотах над уровнем моря.

Необходимость учета высокогорности при проектировании дорог возникает довольно часто. Наиболее высокие горные перевалы на дорогах Кавказа расположены на высоте 2500-2800 м. Перевал Ак-Байтал на Памирском тракте (Ош-Хорог) находится на высоте 4800 м над уровнем моря. Динамический фактор составляет на нем лишь 44% от номинального. Высокогорность отражается и на работе водителей, увеличивая время реакции водителей. По данным В. Д. Чебыева, при 85%-ной обеспеченности, оно составляет: на высотах от 1 до 2 км – 1,2 с; от 2 до 3 км – 1,8 с; от 3 до 4 км – 2,0 с и выше 4 км – 2,2 с.

Для пересечения горных хребтов выбирают перевалы с наименьшей высотой, расположенные близко к заданному направлению трассы и имеющие удобные подходы, позволяющие развить трассу.

**Основная особенность перевальных ходов** – необходимость искусственного удлинения («развития») трассы, вызванная тем, что уклон местности по прямому направлению обычно превышает заданный предельный уклон (рис. 22.20). Линию развивают, ориентируясь не на предельный, а на несколько меньший уклон, который называется *руководящим*, принимая его на 10-15‰ меньше предельного и учитывая неизбежность последующего сокращения длины трассы при окончательном трассировании из-за спрямления мелких перегибов в плане, вписывания кривых в углы поворота и уменьшения продольных уклонов на кривых малого радиуса. Чем сложнее рельеф горного склона и выше требования к плавности трассы, тем больше следует снижать значение заданного уклона.

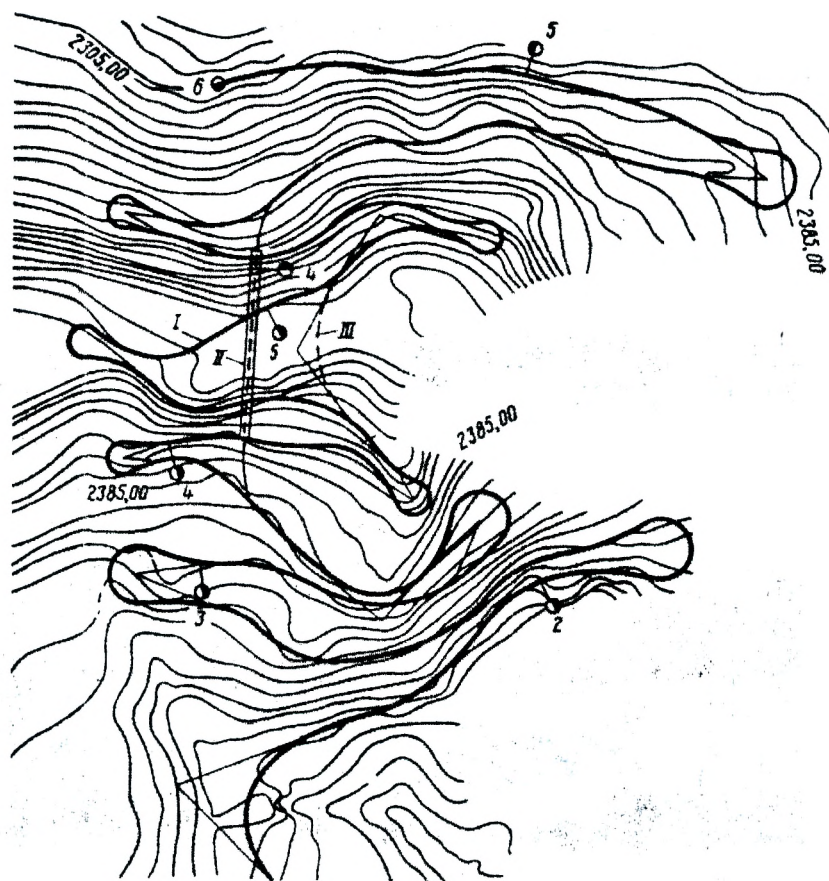


Рис. 22.20. Варианты перевальной трассы: I – с развитием линии серпантинами; II – с устройством тоннеля; III – с устройством глубокой выемки

Трассирование дороги на перевальных участках ведут от перевала к долине. На верхней части склона при сильно изрезанном рельефе иногда приходится в верхней части склона между перевалом и вершиной долины трассу развивать зигзагами, прокладывая ее максимально допустимыми уклонами (рис. 22.21). В связи со сложностью работ в горной местности целесообразно вначале выбрать трассу по материалам аэрофотосъемки или по крупномасштабным планам в горизонталях.

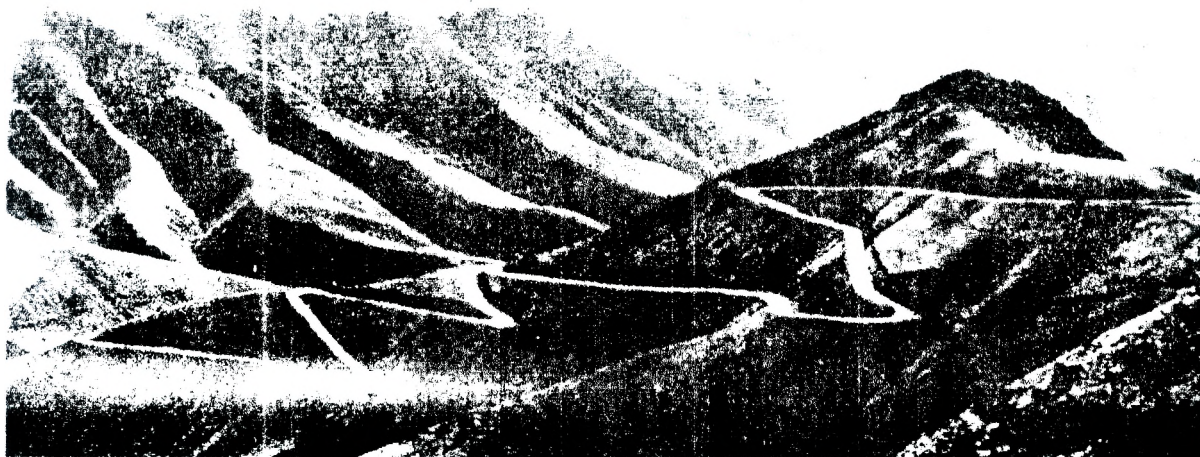


Рис. 22.21. Преодоление крутого подъема серпантинами

На месте можно лишь ориентировочно наметить возможное направление дороги. Проложив по склону магистральный теодолитный ход, снимают план в горизонталях для полосы шириной 100-150 м, по которому камерально проектируют трассу, обычно составляя несколько ее вариантов. В пределах этой же полосы выполняют детальную инженерно-геологическую съемку. Выбранный вариант затем переносят на местность и окончательно корректируют в процессе разбивки.



### 22.4.3. Проектирование серпантин

При проложении трассы зигзагами (см. рис. 22.21) вписывание кривых внутри образовавшихся острых углов становится невозможным, так как длина кривой много меньше, чем сумма ее тангенсов, и поэтому продольный уклон дороги на участке кривой значительно превысил бы допустимый. В таких случаях применяют кривые, описанные с внешней стороны угла поворота, называемые серпантинами (рис. 22.22).



Рис. 22.22. Общий вид серпантины

Серпантина состоит из основной кривой  $K$ , стягиваемой центральным углом  $\gamma$ , и обратных (вспомогательных) кривых. Между концами обратных кривых и основной кривой серпантины должно быть достаточное расстояние для размещения переходных кривых или прямых вставок, отгонов виража и уширения проезжей части (рис. 22.23). Расстояние между вершинами обратных кривых  $A-B$  («шейка») серпантины при малой величине острого угла серпантины  $\alpha$  определяется условиями размещения земляного полотна.

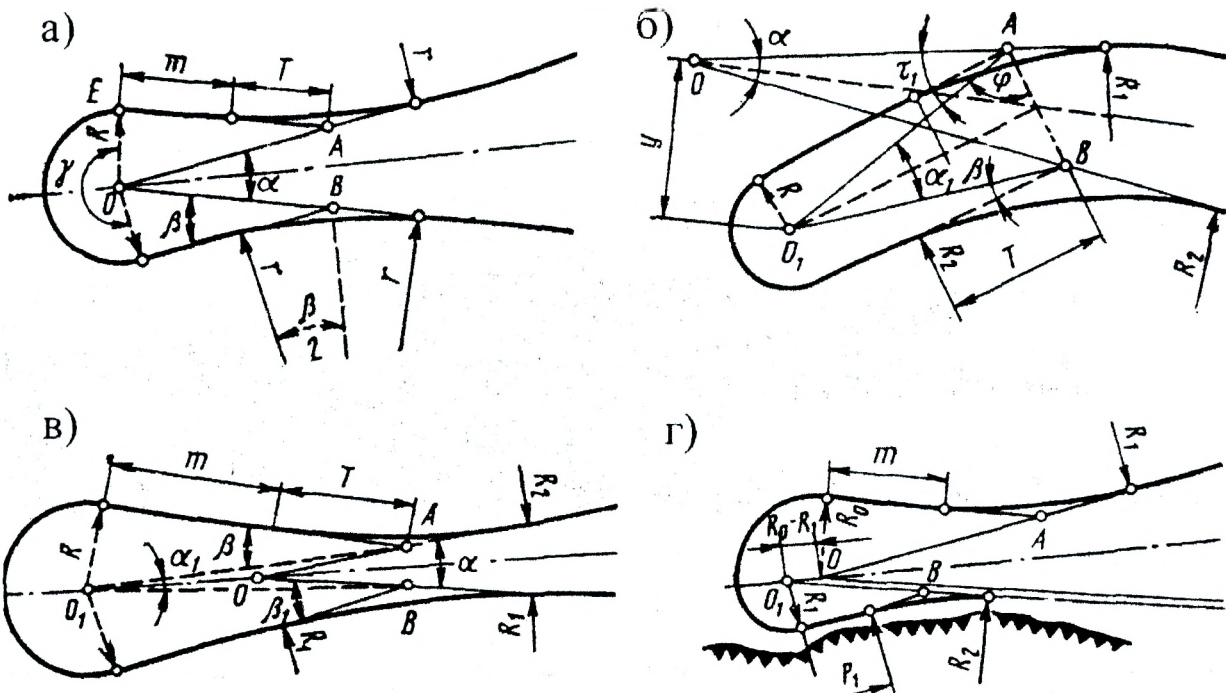


Рис. 22.23. Серпантины: а – первого рода; б – второго рода; в – первого рода со смещенным центром основной кривой; г – несимметричная первого рода

Проектирование серпантины заключается в установлении значений отдельных ее элементов и в проверке возможности размещения на местности земляного полотна с подпорными стенами или с канавами и откосами.

Для расчета элементов серпантины при определении длины трассы (см. рис. 22.23а) задаются значениями радиусов основной и обратных кривых  $R$  и  $r$ , прямой вставки  $m$  и находят угол поворота обратных кривых  $\beta$ . Длина тангенса обратной кривой

$$T = r \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (22.4)$$

Расстояние от вершины угла обратной кривой до начала основной кривой серпантины равно  $AE = T + m$ .

Из треугольника  $AOE$  определяем

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{R}{T + m} = \frac{R}{r \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + m}. \quad (22.5)$$

Из уравнения (22.5) получим

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{-m \pm \sqrt{m^2 - R \cdot (2r + R)}}{2r + R}. \quad (22.6)$$

Расстояние от вершины угла обратной кривой до вершины угла серпантины определится по следующей формуле

$$AO = \frac{T + m}{\cos \beta} = \frac{R}{\sin \beta}. \quad (22.7)$$

Центральный угол  $\gamma$ , стягивающий основную кривую серпантины, рассчитывается как

$$\gamma = 360^\circ - 2 \cdot (90^\circ - \beta) - \alpha = 180^\circ + 2\beta - \alpha. \quad (22.8)$$

Длина основной кривой серпантины определяется по формуле

$$K = \frac{\pi \cdot R \cdot \gamma}{180^\circ}. \quad (22.9)$$

Полная длина серпантины равна

$$S = 2 \cdot (K_o + m) + K, \quad (22.10)$$

где  $K_o$  – длина обратной кривой, м.

Этих данных достаточно для разбивки серпантины на местности. Рассмотренную серпантину, у которой обратные кривые расположены выпуклостью в разные стороны, радиусы их равны и длины вставок между кривыми одинаковы, называют **симметричной серпантиной первого рода** (см. рис. 22.23а).

При проектировании серпантин основное внимание уделяют обеспечению устойчивости земляного полотна и нормальных условий движения автомобилей, а также по возможности обеспечению наименьшего объема земляных работ. Для серпантин выбирают пологие участки устойчивых склонов, стремясь использовать для разбивки основной кривой возможно больший радиус. Очертания серпантины необходимо приспособлять к рельефу местности. В этих целях часто устраивают серпантины с обратными кривыми, обращенными выпуклостью в одну сторону (**серпантины второго рода**), со смещенным центром основной кривой, а также с основными и обратными кривыми, описанными дугами разных радиусов (см. рис. 22.23б, в, г).

Детальное проектирование серпантин ведут на плане местности в горизонталях, располагая их в соответствии с особенностями рельефа (рис. 22.24). Наивыгоднейшее расположение и форму серпантины устанавливают путем сравнения вариантов.

На крутых косогорах желательно располагать серпантины таким образом, чтобы снег с одной серпантины не попадал при очистке на другую, расположенную ниже. Для сравнения вариантов вычерчивают продольные и поперечные профили, наносят проектную линию и определяют объем работ с учетом геологического строения местности.

Геометрические элементы серпантины назначают в зависимости от принятой скорости и интенсивности движения (табл. 22.4).



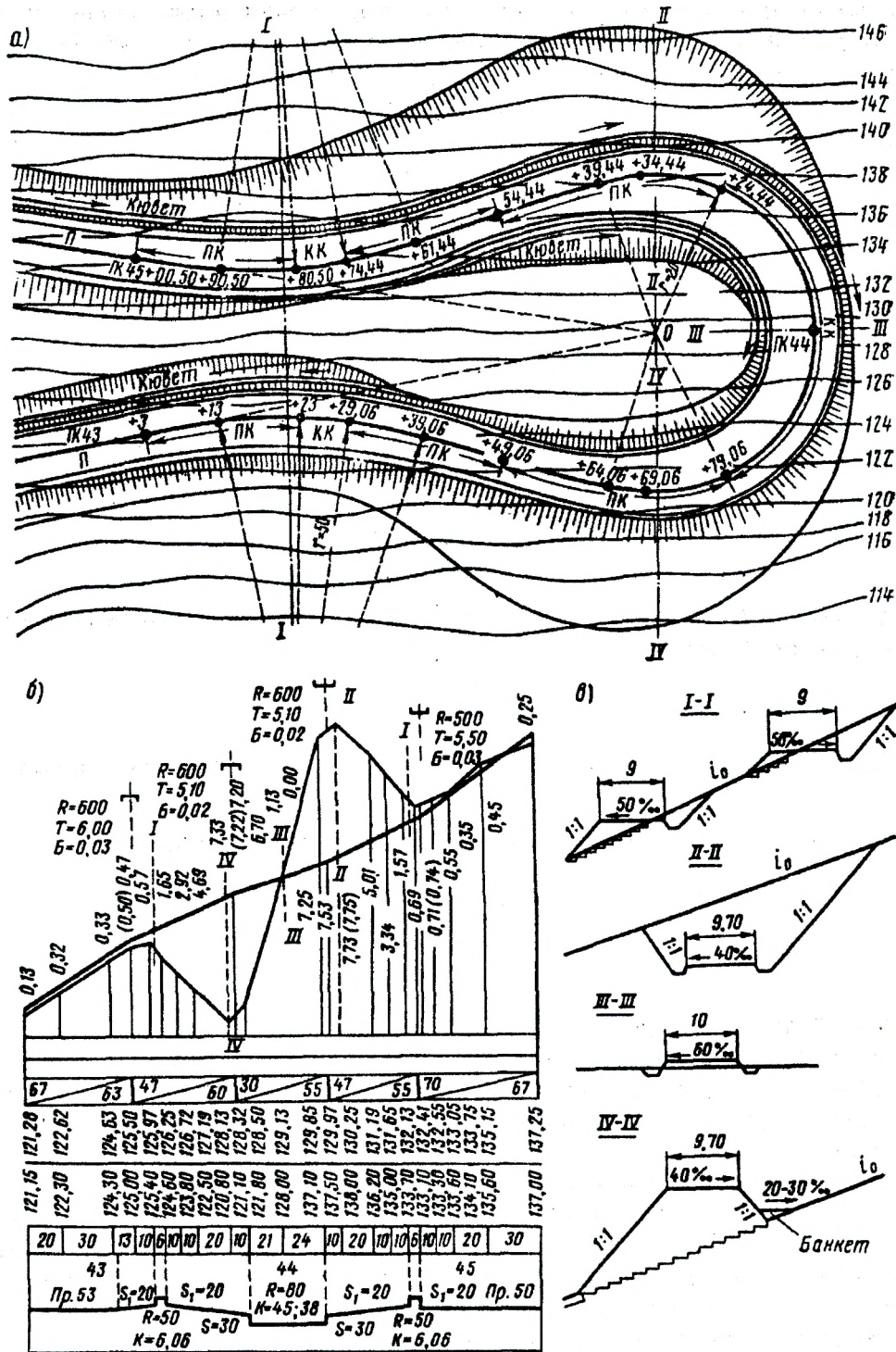


Рис. 22.24. Проект серпантины: а – план серпантины с решением системы водоотвода; б – продольный профиль; в – поперечные профили в характерных точках; П – прямая; ПК – переходная кривая; КК – круговая кривая

Таблица 22.4. Значения параметров серпантины

Элементы серпантины	Значения элементов серпантин при расчетной скорости движения, км/ч		
	30	20	15
Минимальный радиус основной кривой, м	30	20	15
Уклон виража, ‰	60	60	60
Длина переходной кривой, м	30	25	20
Уширение проезжей части, м	2,2	3,0	3,5
Наибольший продольный уклон, допускаемый в пределах серпантины, ‰	30	35	40





Если откосы обладают прочностью, обеспечивающей устойчивость при большой крутизне заложения, но подвержены выветриванию, у их подошвы устраивают перед боковой канавой полку или уширенную канаву – *траншею* для накапливания продуктов выветривания, которые должны периодически удаляться в процессе эксплуатации дороги.

Для назначения правильной крутизны откосов выемок особое значение имеют данные геологических обследований во время изысканий и наблюдения за крутизной и состоянием естественных обнажений и откосов на существующих дорогах. Необходимо также учитывать предполагаемый способ производства работ.

При разработке выемок взрывами зарядов большой мощности в глубоких минных колодцах и штольнях ранее монолитная прочная скала на большом расстоянии от центра взрыва оказывается пронизанной густой сетью трещин. Это способствует ее интенсивному выветриванию и осыпанию. В таких случаях даже в монолитных прочных породах крутизну откосов нужно назначать применительно к трещиноватым породам.

**Канавы** в скальных грунтах делают неглубокими, треугольного сечения с заложением внутреннего откоса 1:3. Глубину и ширину канав по дну назначают по гидравлическому расчету, но не менее 0,3 м.

Расположение дороги на косогоре в *полунасыпи-полувыемке* с уравновешенными объемами выемки и насыпной части теоретически соответствует минимальным объемам работ. Однако при отсыпке насыпной части земляного полотна теряется много грунта, бесполезно скатывающегося вниз по крутым горным склонам. Разделка склона ступенями часто не обеспечивает достаточно надежной связи насыпи с естественным склоном. В результате осадки насыпной части земляного полотна, тщательное уплотнение которой трудно осуществить, в покрытии иногда появляются продольные трещины. Поэтому в последнее время, особенно на дорогах I-III категорий, отказываются от поперечных профилей по типу *полунасыпи-полувыемки* и размещают земляное полотно исключительно в открытой с одной стороны выемке – вырезаемой в косогоре своеобразной полке. *Поперечный профиль типа «полка»* (рис. 22.25б), несмотря на увеличение объема земляных работ, обеспечивает полную устойчивость земляного полотна на горных склонах.

На крутых склонах при устройстве насыпи на косогоре объем земляных работ значительно увеличивается, так как ее откос располагается под небольшим углом к склону. Поэтому при откосах 1:1,5 и круче прибегают к устройству подпорных стен, а при крутизне 1:3-1:2 – банкетов из сухой кладки. Банкет выкладывают из камней невыветривающихся пород размером до 0,4 м. Подпорные стены делают из камня, бетона и железобетона. Их размеры назначают по расчету.

#### 22.4.5. Продольный профиль горных дорог

В отличие от равнинных участков, где *продольный профиль* дает полную возможность представить себе расположение дороги на местности и конструкцию ее земляного полотна в каждой точке, в горной местности при проложении дороги по косогору рабочая отметка по оси дороги не характеризует поперечный профиль и объемы земляных работ. Это вызывается тем, что при одной и той же отметке по оси дороги при различной крутизне косогора края земляного полотна могут соответствовать большие или меньшие выемки, насыпи и подпорные стенки. Из-за частых изменений рельефа склонов рабочие отметки земляного полотна существенно меняются на малом протяжении дороги.

Поэтому при проектировании дорог в горной местности *положение земляного полотна* следует *контролировать по поперечным профилям*, добиваясь, чтобы при заданном уклоне проектной линии достигалось устойчивое положение земляного полотна без устройства подпорных стен с преимущественным расположением его на полке.

При постоянной отметке оси дороги в зависимости от ее положения по отношению к косогору стоимость земляного полотна меняется в значительной степени. Можно найти положение оси дороги, при котором стоимость сооружения земляного полотна имеет наименьшее значение. Однако соображения обеспечения устойчивости насыпной части *полунасыпи-полувыемки*, особенно в сейсмических районах, вынуждают при проектировании горных дорог отдавать предпочтение расположению земляного полотна на полке. Следует также избегать такого расположения проектной линии, которое требует устройства на большом протяжении подпорных стенок, строительство которых трудоемко. Поскольку попереч-

ные уклоны местности меняются на коротком протяжении, рациональное положение проектной линии на продольном профиле может быть найдено только после ряда попыток. На косогорных участках при изысканиях снимают поперечные профили во всех характерных местах изменения рельефа с тем, чтобы на камеральном этапе проектирования по ним можно было построить план местности в горизонталях и уточнить по нему положение дороги.

Нанося проектную линию на продольный профиль горной дороги, все время проверяют получающееся положение земляного полотна на поперечных профилях местности, построенных в масштабе 1:100-1:200. Наилучшее положение проектной линии находят, изменяя шаг проектирования, продольный уклон и смещая трассу на плане в горизонталях.

При нанесении проектной линии предельными продольными уклонами необходимо уменьшать их значения на участках кривых малых радиусов в плане, поскольку сопротивление движению автомобилей на кривых возрастает в связи с дополнительными затратами мощности двигателя из-за бокового увода шин – условия управления автомобилями усложняются. Кроме того, для автомобилей, следующих по внутренней полосе проезжей части, продольный уклон увеличивается в результате сокращения длины пути.

Принимают следующие размеры смягчения максимальных продольных уклонов:

радиус кривых в плане, м	30	35	40	45;
необходимое снижение максимального уклона, ‰	30	25	20	15.

Смягчение продольного уклона начинают за 5-10 м до начала кривой.

На пересечениях глубоких горных долин и ущелий следует сравнивать варианты устройства перекрывающих долину эстакад или арочных виадуков и высоких насыпей с трубами под ними. В последнем случае при назначении отверстий учитывают особенности режимов горных водотоков – перенос корней деревьев, возможность селевых выносов и т. д.

В исключительно сложных условиях рельефа разрешается на прямых участках увеличивать предельные продольные уклоны на 15-20‰, чтобы снизить объем и стоимость строительства, обосновав эффективность этого технико-экономическими расчетами. Однако такие участки резко ухудшают транспортно-эксплуатационные качества дороги и значительно снижают эффективность автомобильных перевозок.

На затяжных подъемах при продольных уклонах более 60‰ следует предусматривать участки с уклонами менее 20‰, где устраивать **площадки**, рассчитанные не менее чем на 3-5 грузовых автомобилей, располагая эти участки или площадки через 1,5-2,5 км при высотах над уровнем моря 1000 м и через 1,1-1,5 км при высотах 4000 м.

На затяжных спусках горных дорог иногда происходят аварии, связанные с отказами тормозов автомобилей. В тех случаях, когда позволяет рельеф местности, необходимо предусматривать противоаварийные (тормозные) съезды (рис. 22.26).

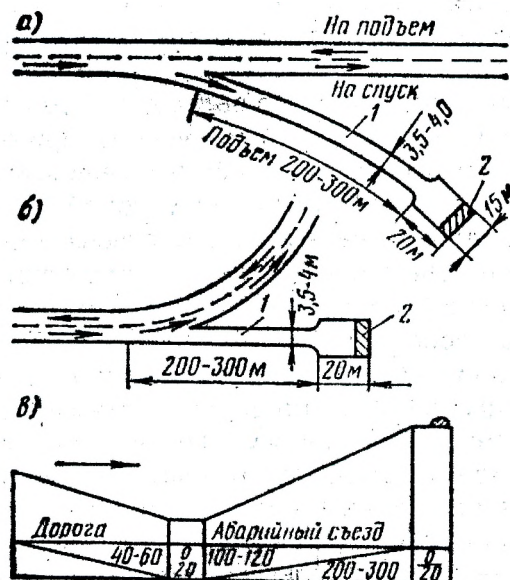


Рис. 22.26. Аварийный съезд с дороги: а – план на прямом участке; б – план на кривой; в – продольный профиль; 1 – аварийный съезд; 2 – песчаный вал



Автомобиль с отказавшими тормозами при движении по съезду на подъем, имеющему покрытие с большим сопротивлением движению, постепенно снижает скорость. Противоаварийные съезды обязательны в случаях, когда в конце затяжных спусков расположены кривые малых радиусов, а также на прямых участках спуска через каждые 0,8-1,0 км.

В процессе проектирования продольного профиля также решают вопросы водоотвода – рассчитывают отверстия мостов, намечают места расположения безрасчетных искусственных сооружений, проектируют нагорные и водоотводные каналы, намечая их трассу на плане в горизонталях.

Сечение нагорных и водоотводных канав назначают по расчету. Нагорным канавам во избежание размыва не следует придавать больших уклонов, предусматривая укрепление их дна и откосов, за исключением случаев, когда каналы проложены в скальных грунтах.

#### 22.4.6. Принципы проектирования тоннелей

При пересечении коротких и крутых выходов скал на участках трассирования дороги долинным ходом, а также на высокогорных перевальных участках, подверженных снежным заносам и лавинам, прокладывают **трассу тоннелями**. При высокой стоимости и сложности строительства тоннельные варианты обеспечивают значительное улучшение условий последующей эксплуатации дороги. На перевальных участках сравнивают несколько вариантов с различным положением тоннеля по высоте.

**Основные принципы проектирования тоннелей** (рис.22.27):

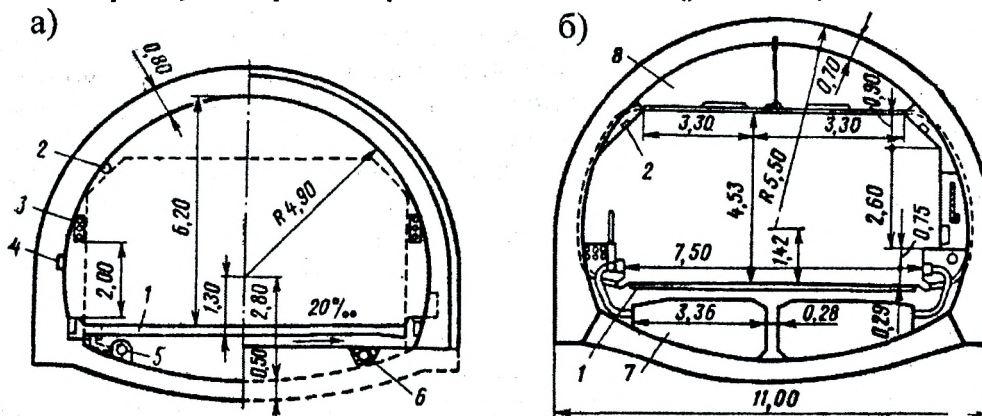


Рис. 22.27. Поперечный профиль тоннелей на автомобильных дорогах: а – без вентиляции; б – с вентиляцией; 1 – покрытие; 2 – осветительные приборы; 3 – светофор; 4 – телефонный аппарат; 5 – водосток; 6 – дренаж; 7 – свежий воздух; 8 – загрязненный воздух

1) проектируются для двух полос движения. На дорогах I категории допускается устройство тоннелей для четырехполосного движения и двухъярусных тоннелей с двухполосным движением в каждом ярусе;

2) вход в тоннель обычно располагают в выемке при ее глубине, соответствующей по строительной и эксплуатационной стоимости 1 м тоннеля. При разработке выемок методом взрыва на выброс это соответствует глубине 20-35 м в зависимости от принятого сечения и длины тоннеля, геологических и гидрогеологических условий;

3) ширину проезжей части в тоннеле между бортовыми камнями назначают на дорогах I-II категорий при длине тоннеля менее 300 м – 9 м, при большей длине – 8,5 м, на дорогах III категории соответственно 8,5 и 8 м и на дорогах IV категории 8 и 7 м. В коротких тоннелях длиной менее 100 м на дорогах I и II категорий допускается увеличивать ширину проезжей части до 9,5 м, III категории – 9 м. В тоннелях на дорогах I и II категорий с двух сторон устраивают служебные проходы по 0,75 м, на дорогах остальных категорий – с одной стороны тротуар, с другой – защитную полосу 0,5 м. При соответствующем технико-экономическом обосновании можно устраивать тротуары шириной 1,0-1,5 м;

4) в плане и продольном профиле тоннели проектируют по тем же нормам, что и открытые участки автомобильных дорог, отдавая предпочтение расположению тоннелей на прямых участках. Для обеспечения минимальных требований к видимости радиусы кривых в плане в тоннелях должны быть не менее 250 м. Продольный уклон в тоннелях должен быть не менее 4‰ (для обеспечения водоотвода) и не более 40‰. Тоннелям длиной до 300 м

придают односторонний уклон. При большей длине рекомендуется двускатный уклон с подъемом к середине тоннеля;

5) в стенах тоннелей устраивают камеры для хранения материалов и инструментов шириной 2 м, глубиной 2 м и высотой 2,5 м, которые размещают в шахматном порядке через 300 м с каждой стороны тоннеля;

6) в тоннелях длиной более 150 м предусматривается искусственная вентиляция (см. рис. 22.27). При меньшей длине тоннеля считают, что смена воздуха происходит в результате движения автомобилей. Скорость движения воздуха при вентилировании тоннелей без учета влияния движущихся автомобилей не должна превышать 6 м/с;

7) в тоннелях на загородных участках дорог длиной более 300 м на прямых участках и 150 м на кривых, а также во всех городских тоннелях независимо от их длины устраивают искусственное освещение. Освещенность тоннелей у входа на уровне проезжей части должна быть не менее: ночью 30 лк, днем у порталов 400-750 лк, а в середине тоннеля – 30 лк.

Сопротивление движению автомобиля в тоннелях возрастает по сравнению с открытыми участками дороги из-за дополнительного сжатия воздуха перед автомобилем («эффект поршня») и турбулентности воздушного потока между движущимся автомобилем и стенами тоннеля. При длине около 1 км сопротивление воздуха для грузовых автомобилей увеличивается примерно на 40%, для легковых – на 10%.

Поскольку при въезде в длинный или криволинейный в плане тоннель водитель, попадая с ярко освещенного открытого участка в слабо освещенный тоннель, на некоторое время теряет видимость (явление «светового порога»), входные участки ярко освещают или перекрывают крышу перед входом в тоннель специальными решетками (*люверсами*), постепенно снижающими освещенность дорожного покрытия.

#### 22.4.7. Принципы проектирования подпорных сооружений

На крутых склонах при устройстве насыпей на косогорах объем земляных работ существенно увеличивается (рис. 22.28), а насыпная часть земляного полотна неустойчива.

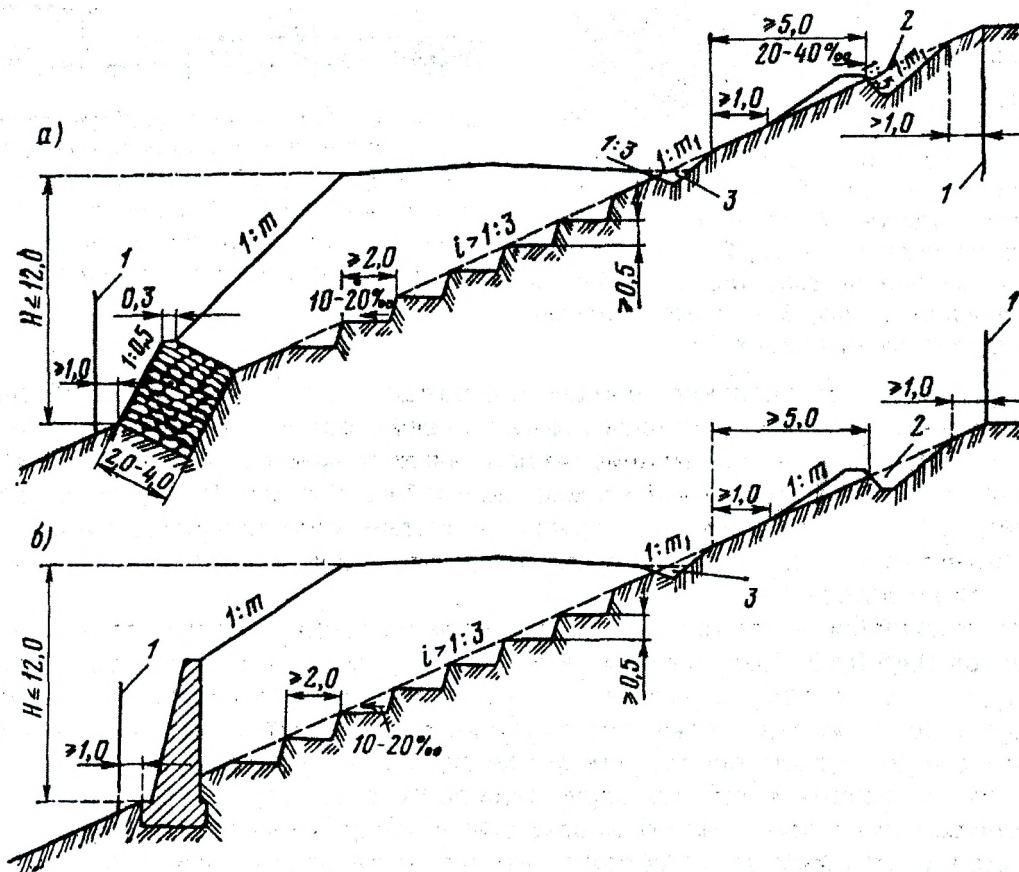


Рис. 22.28. Поперечные профили насыпей на устойчивых косогорах с уклоном круче 1:3: а – с устройством каменного низового банкета; б – с подпорной стенкой; 1 – граница полосы отвода; 2 – нагорная канава; 3 – лоток глубиной 0,3-0,5 м



При уклонах косогора до 1:5 для повышения устойчивости до отсыпки грунта **устраивают уступы**, а при крутизне до 1:2-1:3 – **упорные банкеты** (рис. 22.28а). При большей крутизне устраивают **подпорные стенки** из железобетона, бетона или каменной кладки (рис. 22.28б). Расчеты подпорных стен ведут на устойчивость против опрокидывания и против сдвига боковым давлением грунта. Точные методы расчета излагаются в литературе по строительной механике и механике грунтов.

Глубину заложения фундаментов подпорных стен принимают не менее 0,25 м в скальных породах, 0,5 м в дренирующих неводонасыщенных грунтах и не менее половины глубины промерзания в переувлажненных грунтах.

Железобетонные подпорные стенки уголкового профиля с вертикальной стенкой переменной толщины и с наклонной фундаментной плитой удобны при монтаже. Их использование устраняет необходимость в применении ручного труда, неизбежного при строительстве стен из каменной кладки.

Широкое распространение в ряде стран получили подпорные стены из **«армированного грунта»** (рис. 22.29 и 22.30).

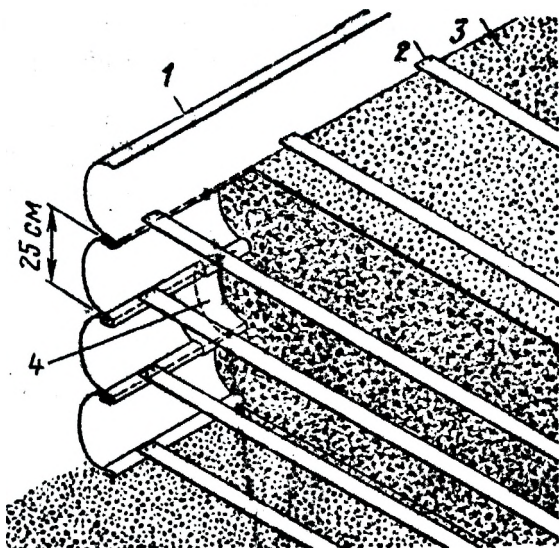


Рис. 22.29. Конструкция подпорной стены из армированного грунта: 1 – металлические штампованные полосы, образующие наружную поверхность подпорной стены; 2 – закладываемые в грунт металлические полосы, удерживающие подпорную стену; 3 – засыпка стены; 4 – перекрытие полос на стыках

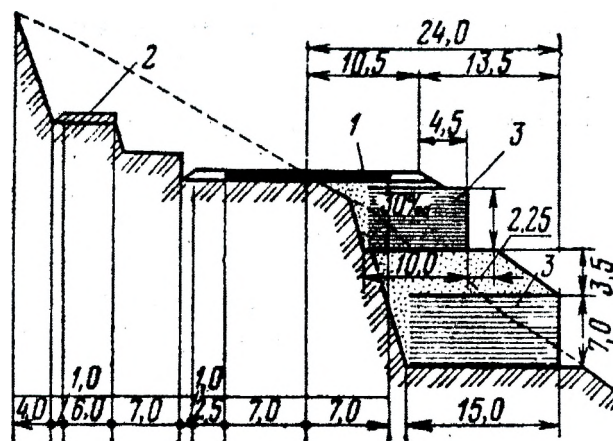


Рис. 22.30. Поперечный профиль дороги на косогоре с двумя подпорными стенами из армированного грунта: 1 – основная дорога; 2 – вспомогательный путь для прохода дорожных машин во время строительства; 3 – подпорные стенки из армированного грунта

Они состоят из вертикального внешнего ограждения, собираемого из сборных бетонных элементов или соединяемых в шпунт металлических полос, от которых в тело грунтовой засыпки при послойном ее возведении закладывают тонкие оцинкованные стальные или дюралюминиевые полосы толщиной 3-5 мм, шириной 60-120 мм. Длину полос устанавливают по расчету. Для засыпки применяют крупнозернистые, хорошо фильтрующие материалы, угол внутреннего трения которых не меняется при изменении влажности, а проникающая вода просачивается, не задерживаясь.

Значения коэффициента трения засыпки из песка и гравия с металлическими полосами составляют 0,45-0,50. При должном качестве гальванизации стальных полос срок их службы в грунте составляет не менее 50 лет. Расчет подпорных стен из армированного грунта ведут на сопротивление сдвигу по основанию или на устойчивость против обрушения верхней их части по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения или упрощенно, как и подпорные стенки, исходя из призмы обрушения по Кулону. При этом полагают, что боковое давление оползающего грунта на облицовку стены воспринимается силами трения о грунт частей полос, находящихся за пределами смещающихся масс грунта. Количество, длина и сечение полос должны быть достаточны для того, чтобы их сопротивление разрыву и выдергиванию из грунта превышало боковое давление грунта на облицовку. По опыту длина полос должна составлять не менее 0,8 от высоты стенки.

Для защиты откосов выемок и крутых естественных горных склонов, сложенных из мергеля и сланцевых пород, которые, обладая необходимой устойчивостью против оползания, легко выветриваются, разрушаются и осыпаются, устраивают защитные или **одевающие стенки**. Они не несут внешней нагрузки, не поддерживают откос, как подпорные стенки, а лишь прикрывают его, передавая на откос свой вес и защищая его от природных воздействий. Поэтому одевающие стенки имеют меньшую толщину, чем подпорные. Их поперечное очертание зависит от конфигурации защищаемого откоса (рис. 22.31).

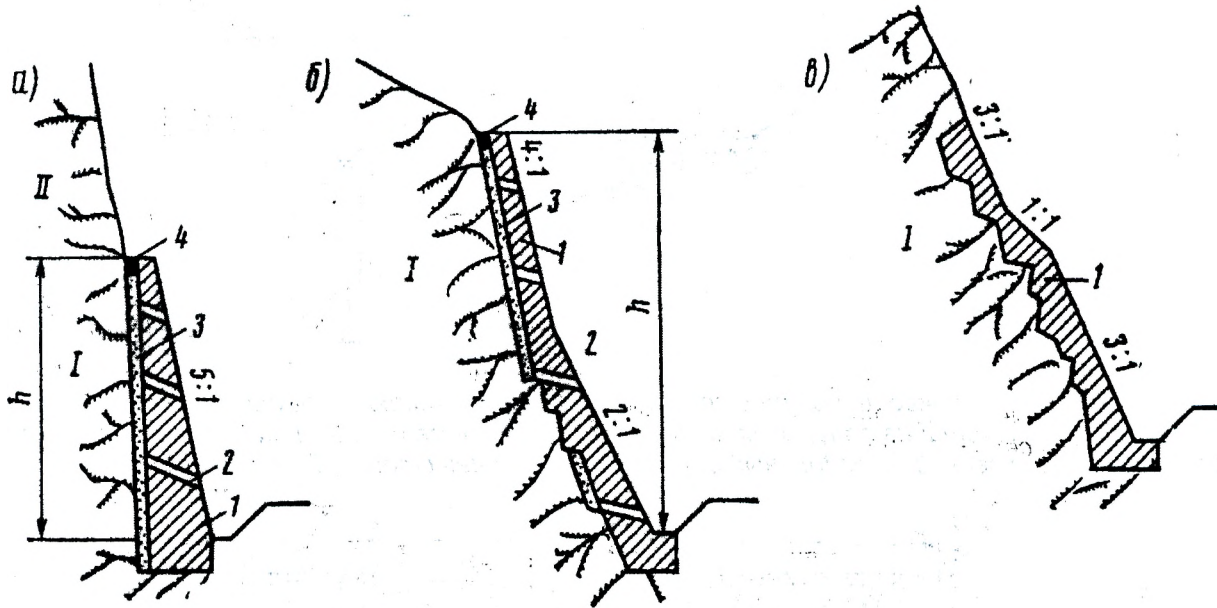


Рис. 22.31. Примеры одевающих подпорных стенок: а, б – стенки с дренажной засыпкой; в – стенка с заделкой в скальную породу; I – слабая скала; II – крепкая скала; 1 – одевающая стенка; 2 – отверстие для выпуска воды; 3 – дренажная засыпка; 4 – водонепроницаемая заделка

Наиболее целесообразно заднюю поверхность одевающих стенок делать прямой, чтобы стенка имела возможность независимой осадки. За стеной укладывают дренажную прослойку с выпусками для отвода скапливающейся воды, которая при замерзании могла бы разрушать стену. На сухих откосах стенки можно устраивать с заделкой уступов в скальную породу. В некоторых случаях, если трещиноватость распространяется на небольшую глубину, хорошие результаты дает уположение откосов.

Целесообразно использовать для устройства одевающих стенок сборные бетонные элементы. Во многих случаях можно ограничиваться обработкой поверхности трещиноватых скальных пород торкретированием, особенно с использованием азрированных цементных растворов, хорошо проникающих в трещины.

Для поддержания вывалов из прослоек слабых напластованных горных пород устраивают **поддерживающие стенки**. Толщину их принимают равной 0,1 толщины слабого пласта, но не менее 0,4 м. Пространство между стенкой и поверхностью слоя заполняют сухой кладкой или бетоном. При скальных откосах, расчлененных трещинами, возможно закрепление крупных блоков анкерами из стальных стержней, которые, проходя через пробуренные на глубину 3-4 м скважины, замоноличиваются цементным раствором. После твердения раствора стержни напрягают, растягивая домкратами с усилием до 250-400 кН, и закрепляют в напряженном состоянии, затягивая гайку через плотно подогнанную к скале шайбу диаметром 15-20 см. Трещины в скале инъецируют цементным раствором.

При устройстве выемок на крутых косогорах в монолитных скальных грунтах можно оставлять нависающие над дорогой скальные выступы. Такой поперечный профиль называется **полутоннелем**.

На крутых горных склонах, где требуется значительная высота подпорных стенок, для уменьшения объема работ устраивают **эстакады** и **полумосты** (рис. 22.32), в которых часть земляного полотна располагается на каменных или бетонных опорах, а на обрывистых скальных склонах – **балконы** – консольные конструкции, закрепленные в скалу, на которых частично размещается земляное полотно (рис. 22.33).



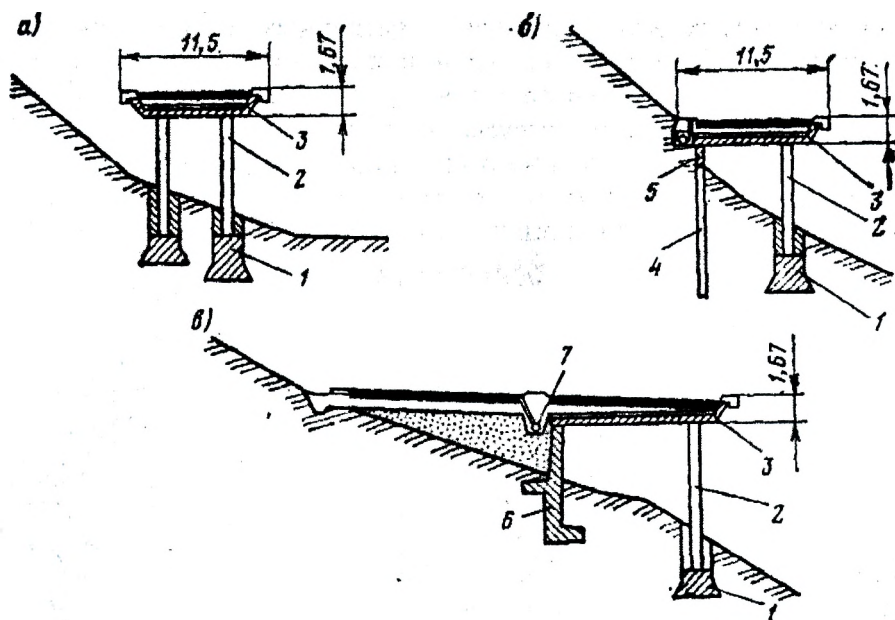


Рис. 22.32. Схемы эстакад и полумостов: а – эстакада вместо высокой насыпи на косогоре; б – полумост; в – сочетание полумоста с насыпью; 1 – фундамент; 2 – стойка; 3 – несущая конструкция; 4 – буровая свая; 5 – продольный ригель; 6 – подпорная стенка; 7 – водосток

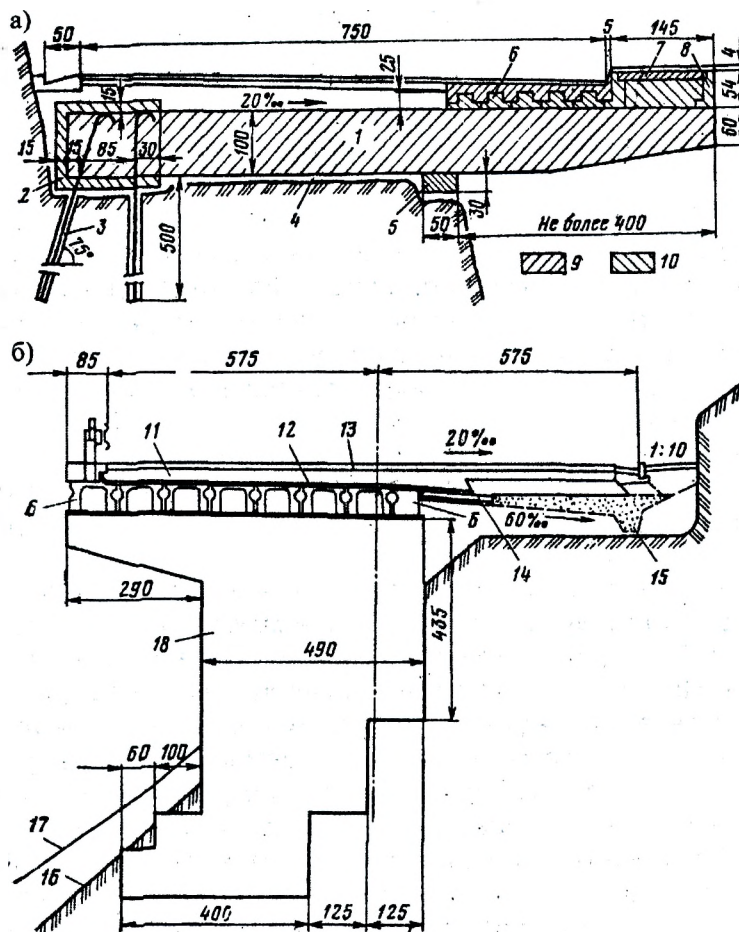


Рис. 22.33. Пример конструкции балкона на заделанных в скалу консольных балках: 1 – несущая консоль; 2 – анкерный блок; 3 – забетонированные в буровых скважинах анкерные стержни  $d=2$  см; 4 – выравнивающий слой бетона; 5 – подкладка; 6 – продольные балки; 7 – тротуарные балки, поддерживающие тротуарную плиту; 8 – тротуарная плита; 9 – продольные балки, поддерживающие тротуарную плиту; 10 – предварительно изготовленные элементы; 11 – бетон, укладываемый на месте; 12 – слой изоляции; 13 – дорожная одежда; 14 – переходная плита; 15 – дренирующая засыпка; 16 – скала; 17 – поверхностный слой грунта; 18 – монолитная железобетонная опора

#### 22.4.8. Проложение дороги по участкам осыпей и камнепадов

При трассировании дороги по долинам горных рек приходится пересекать **осыпи** – отложения мелкообломочных продуктов распада горных пород, сильно подверженных выветриванию. Осыпи скапливаются у подошвы крутых склонов в виде валов или конусов, состоящих из природного щебня с небольшой примесью грунтовых частиц. В верхней части осыпи имеют крутизну до 40–45°, соответствующую углу естественного откоса материала осыпи в водонасыщенном состоянии. В нижней части (*шлейф осыпи*) осыпь более пологая.

В зависимости от интенсивности поступления материала различают осыпи действующие, рост которых продолжается, затухающие и затухшие. Затухшие осыпи зарастают травой, кустарниками и деревьями, посадка которых может рассматриваться как средство борьбы со слабо подвижными оползнями.

Материал осыпей, даже заросших, находится в состоянии неустойчивого равновесия. Подрезка нижней части осыпи выемкой, сейсмические толчки, перегрузка насыпью могут вновь активизировать осыпь и привести ее движение. Степень подвижности оползня характеризуют коэффициентами подвижности  $K = \alpha/\varphi$ , где  $\alpha$  – угол наклона поверхности осыпи и  $\varphi$  – угол естественного откоса материалов, из которых сложена осыпь:

- подвижная («живая») –  $K = 0,7-1,0$ ;
- слабо подвижная –  $K = 0,5-0,7$ ;
- относительно неподвижная –  $K < 0,5$ .

Осыпи с коэффициентами подвижности менее 0,5 могут быть использованы для размещения в их нижней части земляного полотна в невысоких насыпях без дополнительных сооружений. Подвижные осыпи при трассировании дороги следует обходить, а если это невозможно, необходимо предусматривать мероприятия для обеспечения устойчивости земляного полотна.

Спускающиеся в реку шлейфы осыпей, сложенных из крупнообломочного материала, (хорошо фильтрующего) можно пересекать дорогой. При действующей осыпи, когда происходит накопление отложений, перед дорогой возводят улавливающую стенку для задерживания и накапливания осыпающихся обломков. Стенки устраивают из сухой кладки высотой 1,5–2,0 м, шириной 0,8–1,0 м при глубине заложения не менее 0,5 м.

При малом поступлении материала осыпи стенку периодически наращивают и строят дополнительные стенки на массиве осыпи (рис. 22.34).

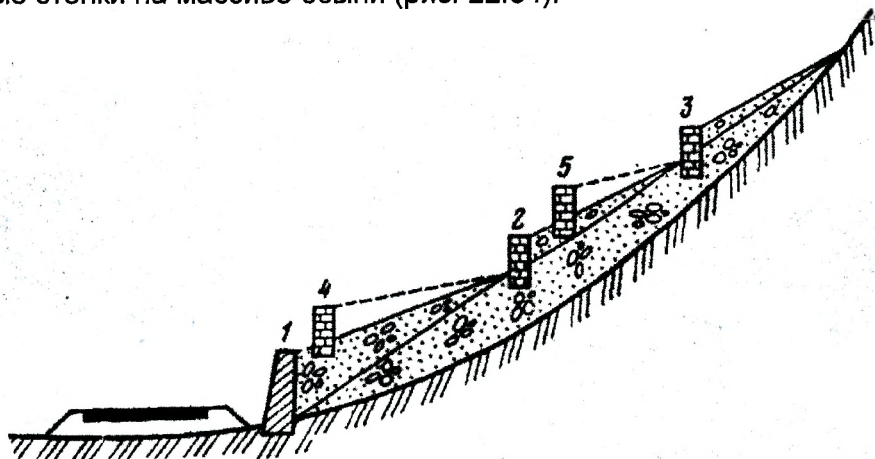


Рис. 22.34. Защита дороги, проходящей по шлейфу слабоподвижной осыпи, подпорными стенками. Цифры указывают последовательность возведения стенок

При активных мощных осыпях, шлейф которых достигает берега водотока, часто оказывается более целесообразным перенести трассу на другой склон долины, что делает необходимым строительство двух мостов. При мощных шлейфах осыпей возможна проходка их тоннелем.

Материалы осыпей можно успешно использовать для отсыпки насыпей, а если они удовлетворяют требованиям к прочности каменных материалов, то и для устройства дорожной одежды и приготовления бетона. В ряде случаев при малом объеме накопившегося в осыпи материала вместо того, чтобы строить верховые подпорные стенки, целесообразнее убрать осыпь, использовав ее материал для устройства насыпей.



Многие участки горных дорог подвержены **обвалам** – внезапному обрушению с крутых склонов гор обломков горной породы. Причиной обвалов является чрезмерная крутизна склонов, на которых не могут удержаться обломки, потерявшие связь с основным массивом. Участки обвалов при изысканиях всегда целесообразнее обходить. При невозможности этого за такими участками в процессе эксплуатации дороги должен осуществляться непрерывный контроль.

Для защиты от крупных камней около дороги устраивают улавливающие рвы с валом или улавливающие стенки (рис. 22.35). Их размеры назначают по расчету. Улавливающая стена рассчитывается на удар камня.

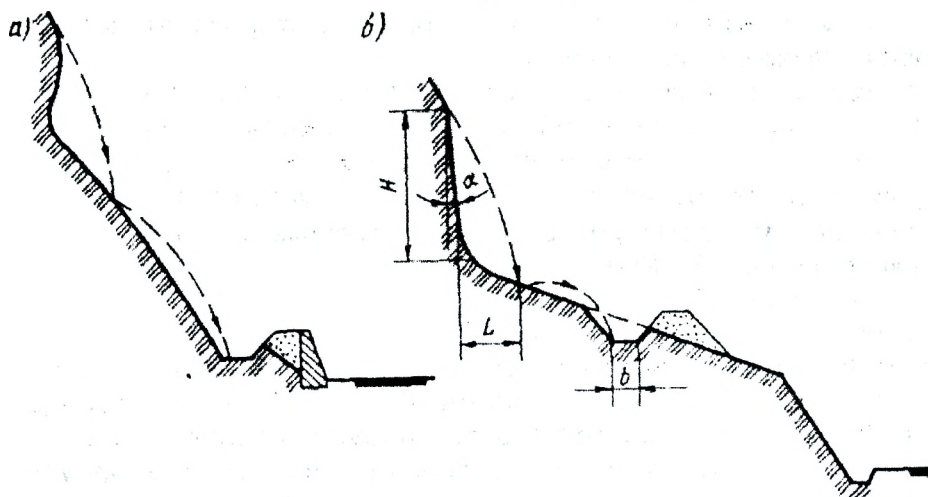


Рис. 22.35. Улавливающие валы и стенки: а – улавливающая стенка у бровки дороги; б – улавливающий ров с валом в пределах полого участка косогора. Пунктиром показаны траектории падения камней

На дорогах с интенсивным движением на участках с камнепадами в некоторых случаях приходится строить **защитные галереи** (рис. 22.36).

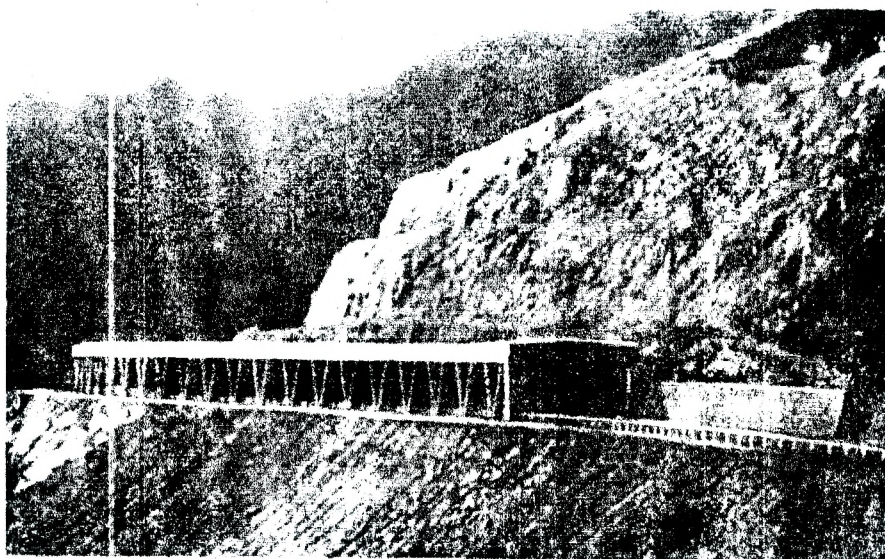


Рис. 22.36. Защитная галерея на участках камнепада

#### 22.4.9. Пересечение селевых выносов

Большие массы разрушенных рыхлых и малосвязанных горных пород, накапливающиеся на крутых склонах и на дне ущелий, при интенсивных ливнях или при прорыве расположенных в верховьях ледниковых озер могут образовать кратковременные грязевые или грязекаменные потоки, называемые **селями**. **Селевые потоки** – это смесь воды, грунта и камней с плотностью 1,2-1,9 т/м<sup>3</sup>, стекающая после ливней по сухим долинам и руслам горных рек со скоростью до 5-6 м/с. У выхода из лога, где уклон местности уменьшается, сель

растекается, скорость его уменьшается, из него выпадают наносы, образуя конус выноса. Селевые потоки возникают внезапно, действуют в течение короткого промежутка времени, не превышающего нескольких часов, но общий объем грязекаменных материалов, смываемых за один сель, может достигать  $20000 \text{ м}^3$  с  $1 \text{ км}^2$ . Диаметр переносимых валунов иногда превышает 1,0-1,5 м.

При проектировании дорог приходится встречаться, как правило, с относительно небольшими селевыми отложениями, возникающими около устьев сравнительно коротких ущелий с крутыми склонами и значительными уклонами, впадающих в долину реки, вдоль которой прокладывается дорога. Отложения в виде постепенно нарастающих конусов выноса образуются при растекании грязекаменного потока по долине, где после выхода из лога уклон уменьшается.

В зависимости от содержания воды селевой поток движется или как однородная вязкая масса (грязевые и грязекаменные потоки плотностью  $1600-2500 \text{ кг/м}^3$ ), или как турбулентный поток воды, увлекающий с собой взвешенные и влекаемые твердые материалы, содержание которых может достигать 20-40% общего объема (наносоводные потоки).

В селевом потоке часть камней перемещается во взвешенном состоянии, а наиболее крупные передвигаются, перекатываясь по дну тальвега. При этом отдельные камни задерживаются неровностями скальных выступов, создавая временные заторы. Дальнейший приток селевых масс сверху прорывает запруду, и сель с еще большей скоростью продолжает движение вниз. Грубо можно считать, что линейные размеры влекаемых частиц в потоке пропорциональны квадрату скорости, а масса переносимых частиц в потоке пропорциональна шестой степени скорости. Поэтому горные реки, а тем более селевые потоки, переносят камни значительных размеров. С грубым приближением можно считать, что максимальная скорость селевого потока (м/с)  $V = 5\sqrt{D}$ , где  $D$  – средний диаметр переносимых наносов, м. Установив горизонт прохождения селевого потока и его скорость, можно определить селевой расход.

**Наиболее целесообразно пересекать селевые потоки** в пределах транзитного русла, где имеются устойчивые скальные берега и русло потока, как правило, жестко фиксировано. Водоток перекрывают одним пролетом моста с возвышением низа пролетного строения над горизонтом прохождения селевого потока не менее 1,0 м.

Если долина, в которую впадает селевой поток, широка, а между конусом выноса и водотоком имеется свободная полоса, возможно проложить дорогу вдоль водотока при условии, что он в паводки не затопливает долину. При неизбежности пересечения дорогой селевого потока в пределах конуса выноса необходимо прокладывать трассу в его низовой части за пределами зоны отложения крупных камней, перекрывая мостами блуждающие русла. Мосты следует делать с пролетами, не стесняющими селевой поток, с опорами одностолбчатого типа.

Отверстия мостов в связи с неустойчивостью русел приходится существенно увеличивать по сравнению с необходимыми по гидравлическому расчету. Малые мосты и трубы быстро забиваются, после чего селевой поток переливается через насыпь.

С обеих сторон земляного полотна должно быть устроено прочное укрепление земляного полотна против размыва. Если дорога строится в зоне отложений селевых выносов или между конусами выноса и рекой, иногда с верховой стороны устраивают **наносозадерживающие дамбы**, которые, замедляя селевой поток, вызывают отложение наносов (рис. 22.37).

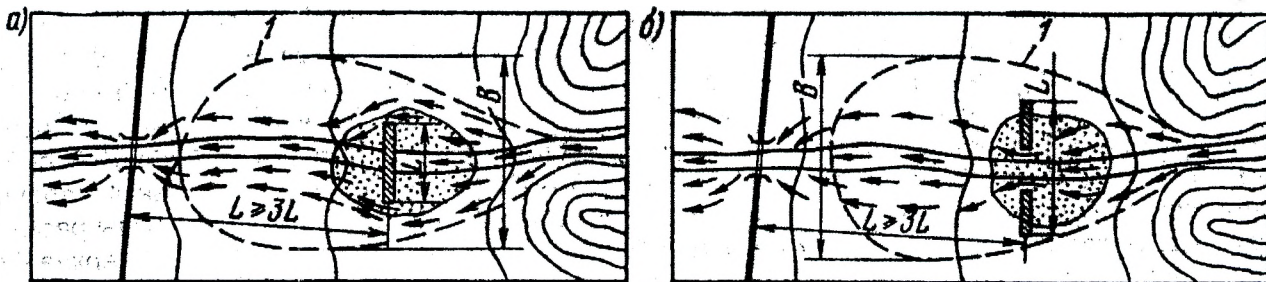


Рис. 22.37. Наносозадерживающие дамбы: а – сплошные; б – прерывистые; 1 – граница конуса выноса



Они бывают сплошные или прерывистые. Сплошные дамбы рекомендуются, если ширина русла, по которому стекает сель, превышает 100 м. Необходимая длина дамбы зависит от ширины русла и крупности частиц откладываемых наносов и

$$L = \beta \cdot B, \quad (22.11)$$

где  $\beta$  – коэффициент стеснения русла дамбой;  $B$  – ширина русла, м.

Коэффициент стеснения назначают в зависимости от предусматриваемой доли наносов  $k$ , задерживаемых дамбой, и относительной крупности наносов  $D_{cp}/B$ :

задерживаемые наносы $k$ , %	100	75	50;
коэффициент стеснения $\beta$	0,55-0,65	0,40-0,45	0,30-0,35.

Большие величины относятся к случаям, когда  $D_{cp}/B > 0,01$ . Рекомендуется располагать дамбу так, чтобы расстояние до дороги было не менее тройной ее длины. Прерывистые дамбы применяют при ширине русла 100 м. Общую их длину определяют по формуле (22.11), а отверстие рассчитывают на пропуск расхода воды с заданной повторяемостью. В поперечном профиле дамбе придают трапецеидальное сечение с шириной по верху 0,5-2,0 м в зависимости от интенсивности селевого потока и крупности переносимого материала.

При пересечении селевых водотоков дорогами низших категорий можно при малой интенсивности движения допускать пропуск селевого потока по лотку, расположенному в уровне проезжей части.

На дорогах с большой интенсивностью движения при пересечении сравнительно небольших селевых потоков с расходом не более  $20 \text{ м}^3/\text{с}$  при крупности камней не более  $0,3-0,4 \text{ м}^3$ , подходящих к дороге по руслу с большими уклонами, проектируют **селедуки**, пропускающие селевые потоки над дорогой (рис. 22.38). Ширину лотка селедука принимают 4-6 м, высоту боковых стенок до 3-4 м.

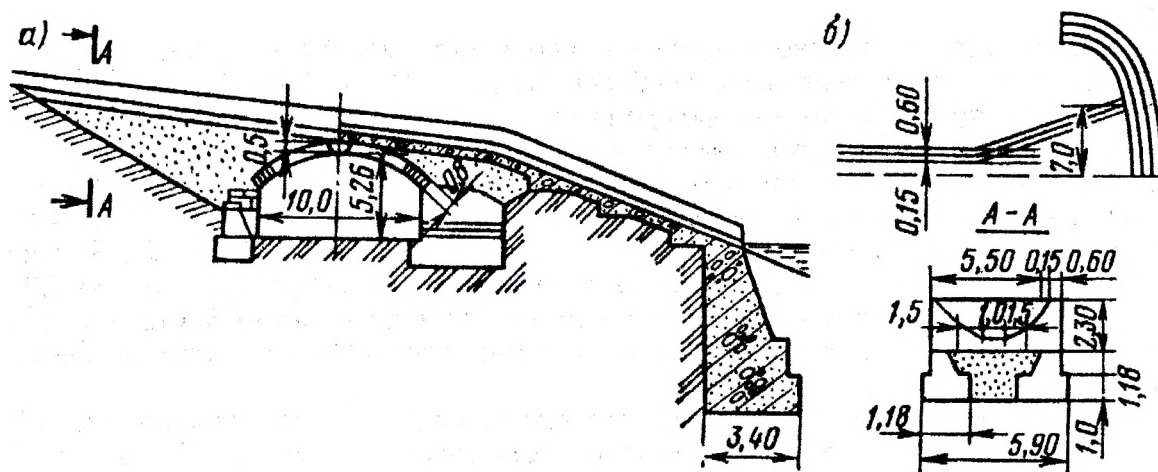


Рис. 22.38. Конструкция селедука: а – общая схема; б – план конечного участка

Опыт эксплуатации селедуков показывает, что они эффективны лишь при соблюдении ряда требований – тщательном сопряжении с дном лога без уменьшения продольного уклона, наличии дамб, плавно, без резкого сужения потока направляющих селевой поток в мостовое отверстие. Направляющие стенки должны быть без крутых перегибов, образуя угол с осью потока, не превышающий  $10-15^\circ$ .

По согласованию с местными организациями полезно предусматривать комплексные мероприятия по защите от селевых потоков. Для прекращения эрозии склонов запрещают бессистемную рубку леса и уничтожение кустарников, вводят правильную обработку почвы. Чтобы закрепить склоны и предотвратить размыв, сажают деревья и кустарники, террасируют склоны, устраивают водосборные и водоотводные каналы. Для уменьшения энергии селевого потока и задержания наносов в русле устраивают систему специальных запруд (**барражей**) в виде массивных каменных или бетонных стен высотой 2-5 м. Запруды размещают вдоль тальвега таким образом, чтобы уклон линии, соединяющей подошву верхней и верх нижней запруд, был не более  $60-80\%$ . Для пропуска ливневых и талых вод в части запруд оставляются отверстия.

#### 22.4.10. Пересечение оползневых участков

**Оползни** являются частой причиной разрушения дорог, проложенных по косогорам. Борьба с ними ведется по специальным проектам. Дорожным организациям обычно приходится встречаться с малыми оползнями в пределах придорожной полосы, закрепление которых представляет меньше трудностей. Однако во всех случаях успешная борьба с оползнями возможна только на основе детального изучения всех причин, вызывающих их появление, и правильного выбора мероприятий по закреплению склонов.

Главной причиной оползней является несоответствие крутизны склона или образующих его напластований прочностным свойствам или состоянию слагающих горных пород. Оползневый процесс активизируется в результате воздействия грунтовых или поверхностных вод, уменьшающих сопротивление грунтов сдвигу и увеличивающих вес подверженной оползанию массы.

Строительство дороги может способствовать активизации оползней в результате подрезки склонов при устройстве выемок и разработке карьеров, дополнительной нагрузке склонов от веса насыпей, переувлажнения грунта оползня при застоях воды в сооружениях системы дорожного водоотвода.

В зависимости от геологического строения склонов влияние проникающей влаги проявляется по-разному. Верхние однородные глинистые слои на крутых склонах, насыщенные водой, стекают как вязкая масса, образуя **сплывы**. Большие однородные грунтовые массивы из-за увеличения веса влажного грунта могут обрушиваться по образующимся поверхностям скольжения.

При наличии подстилающих наклонных плотных водонепроницаемых пород просочившаяся вода, насыщая нижние слои грунта, вызывает потерю сцепления в глинистых грунтах, и массив сползает по фиксированной поверхности скольжения. На берегах рек и морей оползни часто вызываются подмывом крутых берегов.

Для оползневых участков характерны следующие элементы (рис. 22.39):

- *поверхность скольжения* – поверхность, по которой происходит смещение грунтового массива (тела оползня);
- *подошва оползня* – линия выхода поверхности скольжения вниз;
- *трещины отрыва*, образующиеся у выхода поверхности скольжения на верхнюю поверхность склона перед подвижкой оползня.

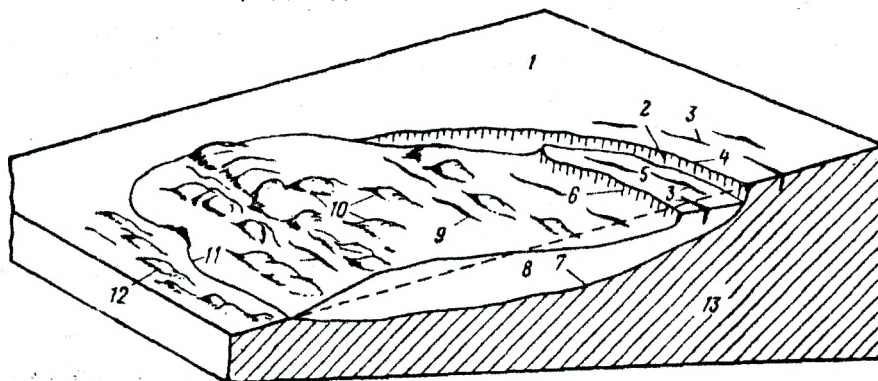


Рис. 22.39. Схема строения оползня: 1 – оползневый цирк; 2 – главный уступ (стенка срыва); 3 – трещины разрыва; 4 – бровка срыва; 5 – вершина оползня; 6 – внутренний уступ; 7 – поверхность скольжения; 8 – тело оползня; 9 – трещины вспучивания; 10 – неровности рельефа поверхности оползня; 11 – подошва оползня; 12 – деформация основания оползня; 13 – коренной массив

Коэффициенты устойчивости оползневых массивов не являются постоянными и в течение года и ряда лет изменяются в связи с увлажнением и просыханием грунта, изменяющими его вес и сопротивление сдвигу.

Оползни обычно повторяются периодически. После подвижки оползня и занятия сползшим массивом устойчивого положения на несколько лет наступает период относительной стабилизации. Но в это время скрытно под влиянием проникающей влаги и нагрузок в теле оползня медленно протекают процессы накопления деформаций ползучести, снижения сцепления в грунте и местные подвижки. Коэффициент устойчивости уменьшается. Через некоторое время происходит общая подвижка, а затем наступает новый период затуха-



ния оползня. Продолжительность цикла обычно составляет от 5 до 20 лет. Поэтому на геологическом профиле оползня обычно можно различить несколько последовательно сместившихся массивов. При подвижке вниз у подошвы оползня образуются *бугры выпирания*.

*Признаками оползневых склонов* является характерный рельеф, на котором видны следы прошлых оползней – валы взбугривания у подошвы склона, наклонные саблевидные деревья («пьяный лес»).

*Положение трассы на оползневых участках* выбирают после их детального обследования. Необходимо изучить зону распространения оползневых явлений, геологическое строение косогора, установить водоносные горизонты, дебит грунтовых вод и направление стока. Оценка склонов по подверженности оползанию может быть выполнена по аэрофотоснимкам, на которых ясно различимы геоморфологические признаки оползней – срывы, ступени, валы надвигания, выдавливания, бугры, западины и др. Глубина залегания поверхности скольжения может быть установлена сейсмоакустическими обследованиями.

На основе собранных материалов устанавливаются причины возникновения оползней, намечаются мероприятия для устранения причин, вызывающих появление оползня, оценивается его устойчивость и выбирается направление трассы.

Наибольшую сложность представляет выбор расчетной поверхности, по которой может произойти сдвиг горных пород. Вероятное положение ее определяется расположением геологических напластований – границами коренных и четвертичных пород, поверхностью водонепроницаемых слоев, тонкими прослойками водоносных песков и т.д. Необходимо рассмотреть несколько вариантов положения и очертания поверхности скольжения, аппроксимируя фактические границы слоев цилиндрической поверхностью или рассматривая ее как ломаную поверхность.

*В большинстве случаев наиболее целесообразен обход оползневых участков с верховой стороны.* Однако это не всегда возможно, поскольку часто связано с необходимостью преодоления дорогой значительной разности высот, ухудшающей ее транспортные качества. При проложении дороги по оползневым склонам создается дополнительная нагрузка на них, что может вызвать активизацию оползневых процессов. *При неизбежности пересечения оползня следует располагать насыпь в нижней части оползневого склона.*

**Основная идея проектирования мероприятий по повышению устойчивости оползневых массивов**, по которым проходит дорога, – устранение причин, вызывающих оползание грунта, в первую очередь, предотвращение проникновения воды.

К мерам предупредительного характера относятся организация правильной системы водоотвода, охрана насаждений и соблюдение необходимых агротехнических правил, запрещение строительных работ, нарушающих устойчивость склонов.

Установив по данным топографической съемки план оползневого участка, а по инженерно-геологическим обследованиям направление и мощность потоков грунтовых вод, в первую очередь, принимают меры к полному отводу от оползневого участка поверхностных и грунтовых вод, для чего устраивают систему канав и дренажей.

Для предотвращения проникновения воды в оползневый массив предусматривают ряд мероприятий (рис. 22.40а):

- отвод поверхностных вод с помощью планировки поверхности – засыпки впадин, устройства нагорных канав с укрепленными против просачивания дном и откосами;
- перехват дренажами поступающих с вышерасположенных частей склона грунтовых вод;
- осушение тела оползня дренажами при наличии в нем водоносных прослоек;
- устройство на крутых участках канав перепадов и быстротоков.

Нагорные канавы для перехвата притекающих поверхностных вод располагают по периметру оползневого участка, придавая им уклон не более 20-30‰ и назначая их сечение и укрепление по расчету. При большой скорости течения воды канавы укрепляют сборными бетонными лотками. Сосредоточение в нагорной канаве большого количества воды нежелательно, так как при повреждении укреплений возможно ее проникание в грунт.

Поэтому при большом притоке воды вместо одной глубокой канавы целесообразнее устраивать два или три ряда нагорных канав с самостоятельным отводом воды за пределы участка.

Чтобы быстро удалить воду с поверхности оползня и уменьшить ее впитывание, на оползневом склоне располагают разветвленную сеть канав с водонепроницаемым укрепле-

нием (рис. 22.40б). Их трассируют по наметившимся путям стока талых и ливневых вод или по сетке параллельных канав, отводящих воду к магистральным канавам, расположенным у границ оползня (рис. 22.40в).

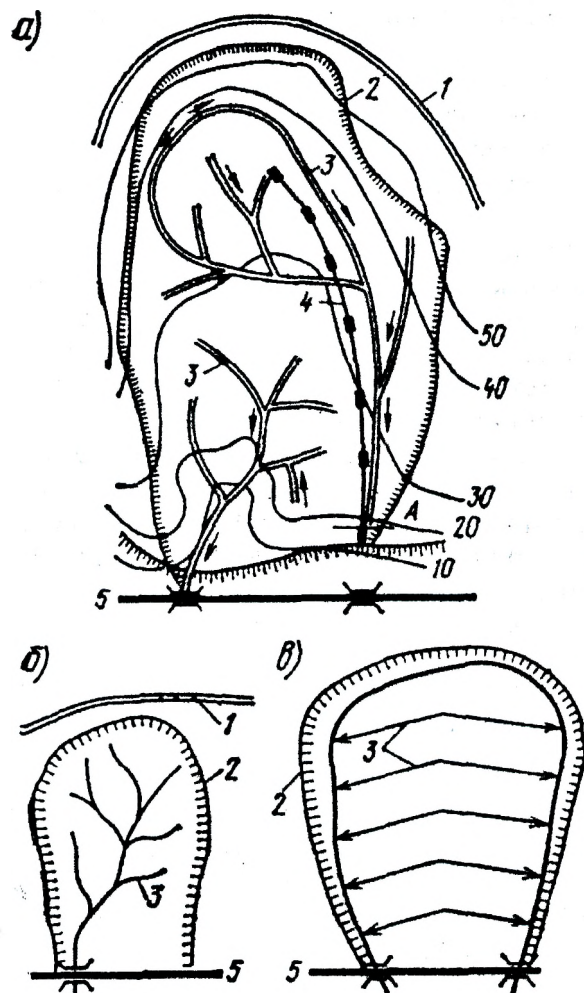


Рис. 22.40. Комплекс противооползневых мероприятий: а – схема противооползневых мероприятий на придорожном оползне; б – сеть канав по путям стока ливневых и талых вод; в – равномерная сеть канав на спланированной поверхности оползня; 1 – нагорная канава; 2 – граница оползня; 3 – канавы, укрепленные мощением; 4 – штольня; 5 – дорога

Для перехвата грунтовых вод по границе оползневого участка и в теле оползня закладывают **дренажи**. Ограждающие дренажи должны перехватывать подземные воды за пределами оползневых смещений.

**Поперечные дренажи**, прокладываемые перпендикулярно направлению движения грунтовых вод, устраивают в незатронутой оползнем части горного склона, так как даже небольшая подвижка оползня может нарушить отвод воды по дренажу. При наличии водоносных слоев в теле оползня устраивают продольные дренажи, отводящие воду к подножию склона. Продольные дренажи, располагаемые вдоль оползня, менее чувствительны к его подвижкам, чем поперечные. В местах соединения или изменения направления дренажей устраивают смотровые колодцы. При залегании грунтовых вод на глубине более 5 м сооружают способом горной проходки дренажные штольни. Их располагают на коренных водопорных породах.

Для повышения устойчивости небольших оползневых массивов прибегают к мерам, направленным на уменьшение массы сползающего грунта, создание связи оползающей части склона с ее ложем и увеличение сопротивления сдвигу по поверхности скольжения. С этой целью предусматривают:

– разгрузку оползневого склона путем срезки грунта в пределах активной части оползня с перемещением его в нижнюю пассивную зону;



– укрепление береговых склонов против подмыва водотоками, вызывающего оползание неустойчивых береговых склонов;

– возведение удерживающих сооружений – подпорных стен, контрфорсов, контрбанкетов и т. п., врезаемых в ненарушенные прочные породы. В связи с процессами ползучести грунтов в основаниях удерживающих сооружений нередки случаи их разрушения после длительного периода службы;

– повышение сцепления оползневой массы с ложем оползня. Для этой цели возможно укрепление грунтов в зоне скольжения инъектированием вяжущих материалов или электрохимическим способом. В практике транспортного строительства нашли применение забивка свай и устройство буронабивных бетонных свай, позволившие закреплять оползни мощностью до 15-18 м.

Ряды буронабивных свай диаметром 0,5-1,0 м с каркасной железной арматурой располагают поперек оползающего массива в месте, где горизонтальные составляющие сдвигающих сил, определяемые для наиболее опасной поверхности скольжения методом круглоцилиндрических поверхностей, имеют наибольшее значение. В зависимости от давления грунта устраивают два ряда или более, размещая сваи по сетке квадратов или в шахматном порядке. Расстояние между рядами свай и отдельными сваями в ряду в зависимости от типа грунтов определяют расчетом исходя из предположения, что в оползающем грунте как бы образуются воспринимающие его давление несущие своды, пяты которых удерживаются сваями. При этом необходима проверка на сопротивление свай прорезанию грунта в между-свайном пространстве. Обычно расстояние между сваями составляет 2-3 м. Для совместной работы свай их объединяют сверху железобетонным ростверком.

Отдельные сваи рассчитывают на срез и изгиб, рассматривая их как консоль, закрепленную в грунте.

На рис. 22.41 показаны схемы закрепления оползневых массивов. Оползающую насыпную часть земляного полотна на дорогах Крыма закрепляли устройством подпорной стены, возведенной на буронабивных сваях (см. рис. 22.41в).

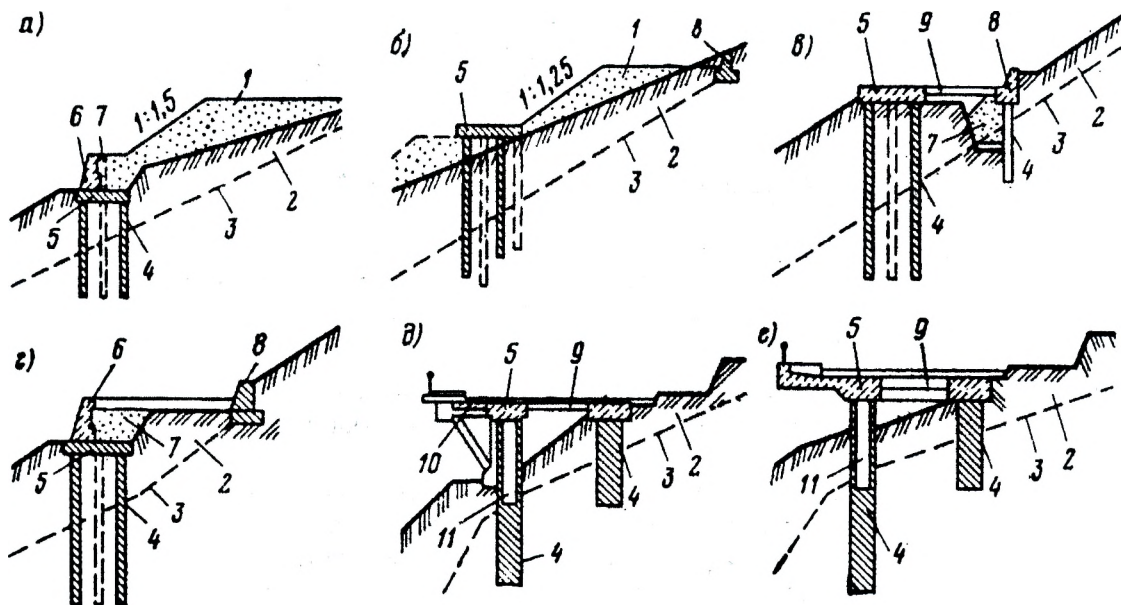


Рис. 22.41. Схемы закрепления земляного полотна бетонными сваями на оползающем участке дороги: а – насыпь с низовой подпорной стенкой на свайном ростверке; б – насыпь с опорным свайным ростверком у подошвы; в, г – дорога на полке со свайным ростверком, соединенным горизонтальной анкерной тягой с верховой подпорной стеной; д, е – противооползневые конструкции в виде балконов и эстакад; 1 – насыпь; 2 – оползающий массив грунта; 3 – поверхность скольжения; 4 – буронабивные железобетонные сваи; 5 – железобетонный ростверк; 6 – низовая подпорная стенка; 7 – дренаж; 8 – верховая подпорная стенка; 9 – анкерная тяга; 10 – железобетонный балкон; 11 – сваи-заполнители между несущими сваями

Особенность мероприятий по закреплению оползней — их комплексный характер, требующий одновременного выполнения. Выборочное осуществление отдельных мероприятий не дает гарантии закрепления оползня.

#### 22.4.11. Защита дорог от лавин

В горных районах, где выпадает много снежных осадков, часто происходят снежные обвалы (лавины) с крутых склонов. **Лавинами** называют крупные (объемом до нескольких миллионов м<sup>3</sup>) снежные массы, которые потеряли сцепление с подстилающей поверхностью и с очень большой скоростью обрушиваются вниз по склону, разрушая дорогу и дорожные сооружения.

Как показали измерения, сила удара прямо пропорциональна скорости лавины, достигающей 30 м/с. Перед лавиной движется воздушная волна, вызывающая разрушение в тех местах, до которых лавина не доходит.

На горных склонах снежный покров всегда имеет слоистость. Слои снега различной плотности часто разделяются корками твердого обледеневшего снега («снежная или ветровая доска»), образующимися в результате смерзания снега при сильном ветре.

В течение зимы в снежном покрове происходят процессы перекристаллизации, вызванные движением водяных паров из нижних слоев снега в верхние под влиянием разницы температур, достигающей 10-15°. Верхние слои уплотняются, а в нижних создается рыхлая прослойка из ледяных кристаллов («глубинный иней»), обладающая малым сопротивлением сдвигу. Во время оттепелей в снежном слое образуются настоящие прослойки, между которыми находится мелкий сыпучий снег.

По мере увеличения толщины снегового покрова и образования в нем ослабленных прослоек устойчивость снега на склоне уменьшается. При достижении критического равновесия бывает достаточно самого небольшого толчка от падения снежного козырька, образующегося на подветренном склоне, сотрясения воздуха от порыва ветра, выстрела или даже громкой речи, чтобы обрушилась лавина.

Различают **сухие и мокрые лавины**. Первые образуются в периоды морозов. При их падении сухой снег сильно распыляется, образуя своеобразное снежное облако, движущееся вниз с большой скоростью. Лавины из мокрого снега образуются весной или во время сильных оттепелей. Нижние слои снега пропитываются водой. Их сцепление с поверхностью земли или плотной снеговой прослойкой уменьшается, и снежная масса сползает вниз по склону, увлекая с собой камни и деревья, сломанные при движении.

*По характеру движения снежной массы различается три типа лавин:*

– *осовы*, при которых вся масса снега на склоне равномерно смещается по склону без строго фиксированного русла;

– *лотковые лавины*, при которых снег со снегосборного бассейна вначале скользит по логу – сравнительно узкому каналу стока. Склоны канала лишены растительности и имеют следы лавинной эрозии;

– *прыгающие лавины*, которые вначале смещаются по каналу стока, а затем, когда он образует горизонтальную площадку или уклон его увеличивается, слетают с уступа и обрушиваются на дно долины.

*При изысканиях горных дорог необходимо установить участки, опасные в отношении снежных обвалов. Это можно сделать на основе изучения картографического материала или данных аэрофотосъемки, а также непосредственным осмотром на местности. Следует учитывать, что на крутых склонах с уклоном более 60° больших накоплений снега не бывает, так как он осыпается постепенно. Наиболее опасны в отношении лавинообразования склоны с крутизной 25-45°, на которых может накапливаться большое количество снега, постепенно приходящего в неустойчивое состояние.*

Лавины оставляют на местности характерные следы, по которым можно ориентировочно оценить частоту их схода. При сходе лавин несколько раз в год лавинные лотки четко выработаны, отсутствуют травяной покров и кустарники. В местах конусов выноса лавин снег сохраняется до июня – конца июля, что вызывает появление в этих местах влаголюбивой растительности и запаздывание сезонных процессов роста. Если лавины повторяются 1 раз в несколько лет, на склонах развивается угнетенный стелящийся кустарник и сохраняются поваленные и сильно наклоненные тонкоствольные деревья лиственных пород с вертикальными ветками.

Если лавины образуются редко (1 раз в несколько десятков лет), в лавинных лотках и на верхней части конусов выноса может развиваться лиственный и смешанный лес со сле-



дами повреждений. В безлесных местах характерны отдельно лежащие крупные каменные глыбы объемом до нескольких кубических метров.

При изысканиях следует избегать пересечения дорогой лавиноопасных мест. При невозможности обхода дорогу располагают над дном долины на такой высоте, чтобы ее не закрывали снежные завалы от скатывающихся лавин. При неизбежности пересечения лавиноопасных участков дорогу следует прокладывать через участки каналов стока, где легче всего построить снегозащитные галереи и где они будут иметь наименьшую длину.

На рис. 22.42 показаны два варианта трассы в районе со снежными обвалами. В первом варианте (сплошная линия) трасса проложена с развитием линии в пределах всего горного склона. Она несколько раз пересекает лавиноопасные места. Во втором варианте (пунктирная линия) трасса развивается в пределах лесного массива, не подверженного опасности снежных обвалов, и только 1 раз пересекает лавиноопасное место в зоне лавинных лотков.

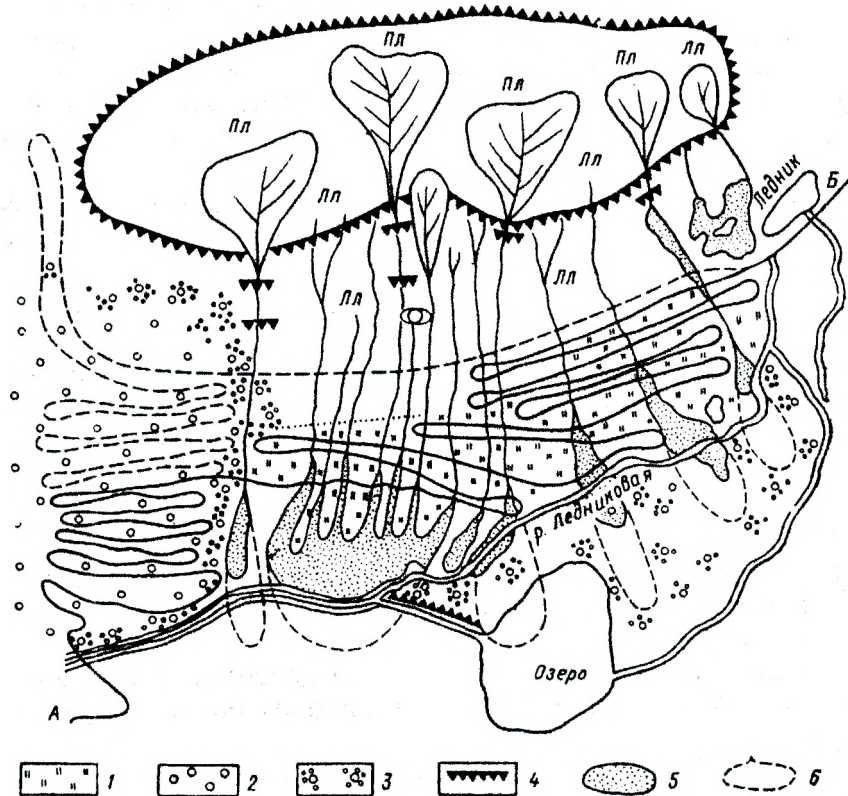


Рис. 22.42. Варианты трассы на участке снежных обвалов: 1 – альпийский луг; 2 – лес; 3 – кустарник; 4 – отвесный обрыв; 5 – конусы лавин; 6 – граница распространения воздушной волны; сплошная линия – первый вариант трассы; пунктирная линия – второй вариант трассы; Пл – прыгающая лавина; Лл – лотковая лавина

Для борьбы с завалами дорог предусматривают ряд мер, направленных на уменьшение накопления снега в лавиносорных бассейнах, повышение устойчивости снега на склонах, замедление движения масс снега, отклонение лавины от дороги или пропуск ее над дорогой.

Одним из источников поступления снега в лавиносорные бассейны является его сметание ветром с расположенных выше наветренных склонов. Для задержания снега на плато устраивают каменные стены и устанавливают на зиму в несколько рядов снегосорные щиты, аналогичные по конструкции используемым для придорожных ограждений. На ровных гладких склонах лавиносорного бассейна для задержания снега сооружают каменные стены, земляные валы и террасы.

В некоторых случаях при благоприятном рельефе местности скатывающаяся лавина может быть отклонена от дороги при помощи отбойных дамб в виде мощных насыпей с надежным укреплением откосов высотой до 10-15 м, расположенных под углом не более 30° к направлению ее движения (рис. 22.43). Защищая дорогу от снега, эти сооружения не предохраняют ее от действия воздушной волны.

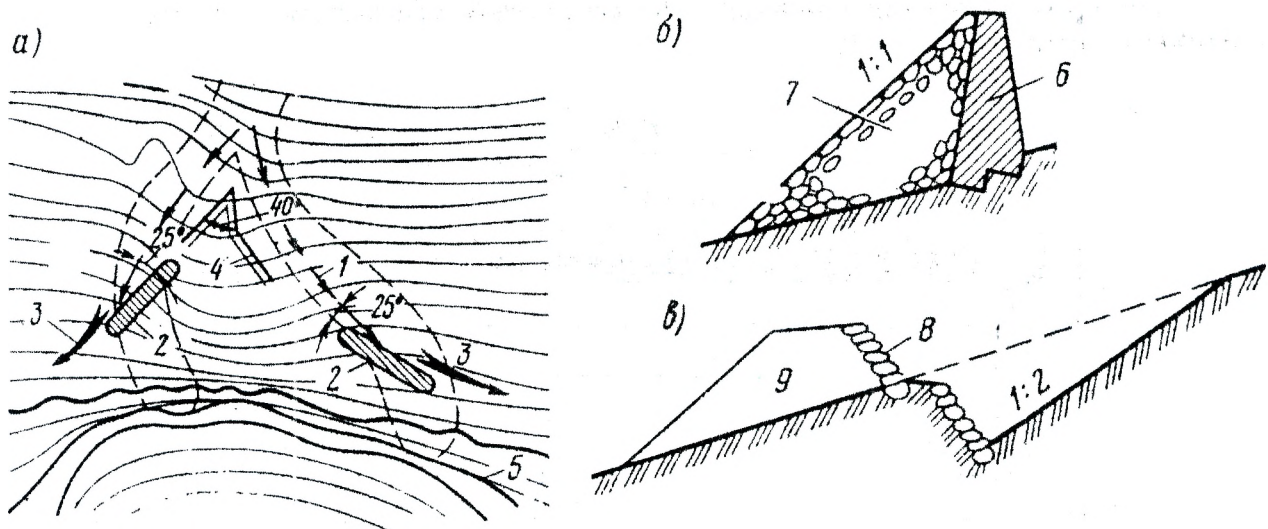


Рис. 22.43. Схема защиты дороги от лавин лавиноотбойными дамбами: а – план местности и расположение дамб; б – лавиноотбойная дамба; в – лавиноотбойная дамба со рвом; 1 – путь движения лавины; 2 – лавиноотбойная дамба; 3 – путь отклоненной лавины; 4 – лавинорез; 5 – дорога; 6 – подпорная стена; 7 – каменная наброска с выкладкой верхнего ряда; 8 – одевающая выкладка крупным камнем; 9 – грунт

Наиболее надежным способом защиты дороги от лавин являются **галереи**. На рис. 22.44 хорошо заметны снегосборный бассейн – характерная воронка на склоне, в которой накапливается снег, и лог, по которому происходит движение снежной лавины. Чтобы снежная масса проскакивала по кровле без удара, галерею располагают обычно на полках, врезаемых в склоны тальвега, по которому скатывается лавина. Над галереей делают засыпку с таким расчетом, чтобы получилось естественное продолжение склона местности или даже крутизна немного увеличилась.

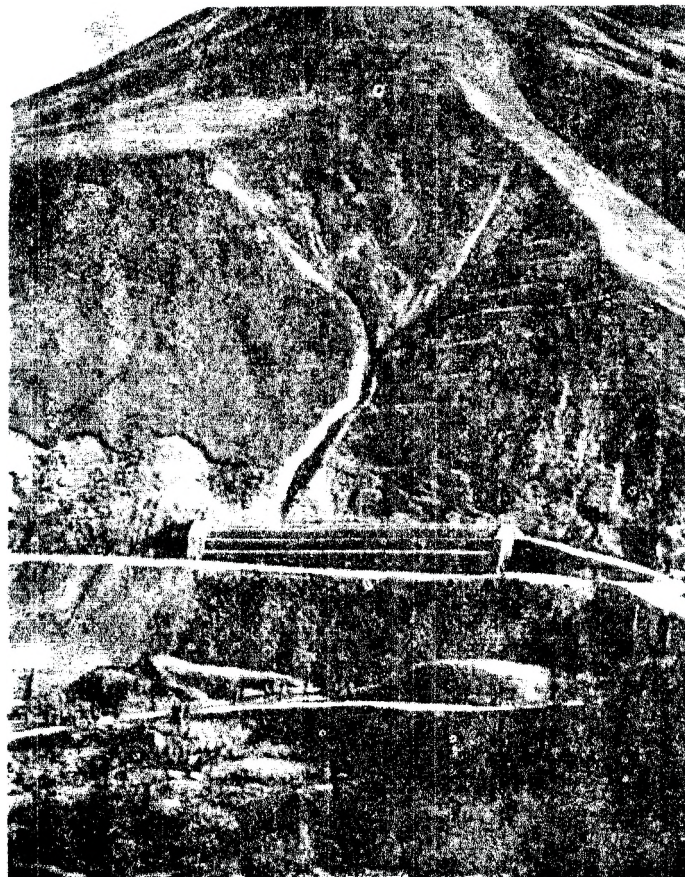


Рис. 22.44. Снегозащитная галерея. Выше на склоне хорошо различим лавиносборный бассейн



В настоящее время галереи строят преимущественно закрытыми из сборных железобетонных элементов (рис. 22.45).

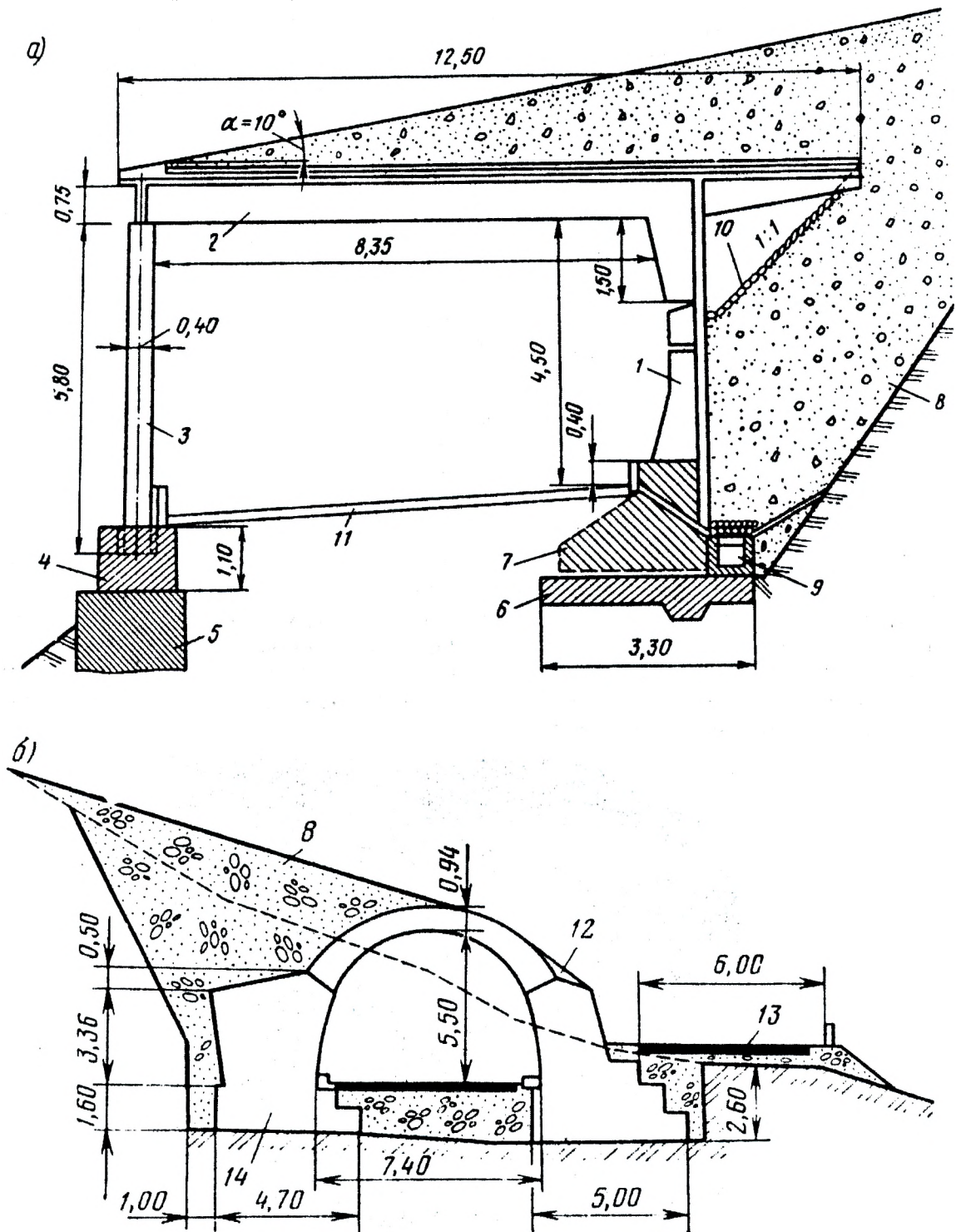


Рис. 22.45. Конструкции противолавинных галерей: а – балочная консольная; б – арочная; 1 – стойка верховой опоры; 2 – железобетонная балка; 3 – вертикальная или наклонная стойка; 4 – горизонтальная опорная балка; 5 – фундаментная подушка; 6 – фундаментная плита; 7 – фундамент верховых опор; 8 – засыпка; 9 – дренажный лоток; 10 – мощение; 11 – бетонное покрытие; 12 – тощий бетон; 13 – летний путь; 14 – устой галереи

Применявшиеся ранее галереи в виде навесов, открытых с низовой стороны, оказались неудачными, так как при сходе лавин и сметании ветром снега со склонов в результате возникновения воздушных завихрений они заносились снегом.

Противолавинные сооружения рассчитывают на вертикальные и горизонтальные составляющие давления от удара и веса снежного обвала.

#### 22.4.12. Особенности проектирования автомобильных дорог и малых искусственных сооружений в сейсмически опасных районах

При проектировании автомобильных дорог в районах, подверженных землетрясениям силой 7-9 баллов (наибольшая сейсмичность в СНГ) по 12-балльной шкале, необходимо учитывать появление дополнительных **сейсмических сил**, действующих на земляное полотно и искусственные сооружения. При интенсивности землетрясения в 9 и более баллов возникают сдвиги и просадки насыпей на косогорных участках, оползания и обвалы верхних откосов выемок. В горах уже при землетрясениях в 6 баллов активизируются оползни, обвалы и осыпи на горных склонах.

*Антисейсмические мероприятия* по обеспечению устойчивости земляного полотна сводятся к уположению откосов земляного полотна и устройству улавливающих траншей у подошвы откосов выемок в скальных породах.

Конструкции дорожных сооружений, а также устойчивость земляного полотна в сейсмических районах рассчитывают с учетом сейсмических сил инерции при одновременном действии собственного веса сооружений и нагрузки. Ветровая нагрузка при этом не учитывается.

В *сейсмических районах* наиболее целесообразно размещать земляное полотно полностью на полке, врезанной в склон. Поперечные профили типа полунасыпи-полувыемки не рекомендуются из-за оползания насыпной части. В районах с сейсмичностью 8 баллов и более на косогорах круче 1:2 низовые откосы насыпей следует укреплять подпорными стенами или заменять насыпи эстакадами. В районах с расчетной сейсмичностью 9 баллов и более в нескальных грунтах, выемках и насыпях с рабочей отметкой, не превышающей 4 м, откосы круче 1:2,25 устраивают на 1:0,25 более пологими, чем в несейсмических районах.

Для горных условий характерны большое количество выпадающих осадков и их высокая интенсивность. Долины горных водотоков имеют крутые продольные уклоны. Наблюдаются большие скорости течения и резкие подъемы уровня воды. Паводки горных рек обычно возникают внезапно и быстро проходят. В период между дождями многие водотоки совершенно пересыхают, в результате чего у изыскателей иногда создается ложное впечатление о необходимом размере искусственного сооружения в месте пересечения дорогой паводка или суходола. В процессе изысканий, помимо обычных собираемых данных о площади и уклонах бассейна и тальвега, устанавливают по следам прохода паводков уровни высоких вод, а по крупности донных отложений определяют примерную скорость течения воды.

Значительная разрушительная сила горных потоков требует устройства надежных *водопропускных сооружений*, как можно меньше стесняющих естественный режим потока. Горные водотоки после ливней часто несут стволы деревьев, кустарников и большое количество обломочных материалов. Отверстия малых труб и мостов быстро забиваются этими наносами. **Поэтому на горных дорогах однопролетные мосты предпочтительнее многопролетных.** Как показал опыт эксплуатации, отверстия мостов желательно назначать не менее 3-4 м с возвышением над уровнем высокой воды не менее 1 м. На периодических водотоках с каменным дном при расходе не более 10 м<sup>3</sup>/с для пропуска воды, не несущей наносы, можно устраивать фильтрующие насыпи, оборудуя их защитными фильтрами против заиления.

Большие продольные уклоны водотоков и косогорный рельеф местности усложняют конструкцию малых искусственных сооружений, делая необходимым для уменьшения скорости течения и опасности размыва устройство специальных **подходных русел**, посредством которых поток направляется в сооружение, а скорость его течения уменьшается.

Конструкция косогорных подходных русел зависит от местных условий. На обрывистых склонах иногда целесообразно водоток пропускать над дорогой по специальному лотку – **водосбросу**, аналогичному по конструкции селедукам. Наиболее распространены **перепады и быстротоки**. Перепады устраивают многоступенчатые с водобойными колодцами или без них в зависимости от уклона тальвега. При длинных подходных руслах можно сочетать между собой перепады и быстротоки и придавать лоткам для уменьшения скорости повышенную шероховатость.

Вопросы проектирования искусственных сооружений, таких как перепады, быстротоки и консольные водосбросы, рассматривались в первой части курса лекций.



## 22.5. Проектирование автомобильных дорог в засушливых районах

Значительные пространства юго-восточной части СНГ заняты засушливыми пустынными и полупустынными территориями. Примерно 65% этой зоны покрыто сероземными почвами, 25% – песками и 10% – солончаками.

Проектирование и строительство дорог в зоне пустынь и полупустынь имеют свои особенности, зависящие от того, прокладывается ли трасса в орошаемых районах с плодородными почвами, в засоленных грунтах или в сыпучих песках.

### **Основные принципы проектирования дорог в районах искусственного орошения:**

1) плодородные земли представляют большую ценность для сельского хозяйства и отвод их для строительства дороги требует весьма тщательных обоснований, особенно если он связан с нарушением севооборотов и перестройкой оросительных систем. Закладка боковых резервов в этом случае невозможна, и насыпи возводят из привозного грунта;

2) сеть дорог общего пользования, включая важнейшие дороги районного значения, проектируют исходя из направления грузопотоков для наилучшего удовлетворения требований автомобильного транспорта. При этом приходится строить большое количество малых мостов (до 6-8 на 1 км) на пересечениях ответвляющихся каналов;

3) при проложении дорог в районах вновь осваиваемого орошения начертание сети каналов и направления дорог по возможности взаимно увязывают;

4) внутрихозяйственные дороги прокладываются вдоль распределительных каналов, чтобы не занимать ценные земли и не нарушать сложившуюся систему землепользования;

5) уровни грунтовых вод в районах искусственного орошения достаточно высоки. Поэтому трассу автомобильных дорог в районах искусственного орошения наиболее целесообразно прокладывать по водоразделам и участкам местности, расположенным выше орошаемых полей, а на равнинных участках с затрудненным водоотводом дорогу следует проводить вдоль действующих открытых коллекторов – зауров, если их направления совпадают. При этом расстояние от подошвы насыпи или внешней бровки боковой канавы до бровки канала должно быть не менее 4,5 м;

6) земляное полотно дорог, проходящих вдоль каналов, постоянно заполненных водой, находится в неблагоприятных условиях избыточного увлажнения. Поэтому поверхность покрытия должна возвышаться над уровнем воды в оросительной сети в соответствии с требованиями для местностей с длительным стоянием поверхностных вод. Возвышение поверхности покрытия в зонах постоянного искусственного орошения над уровнем грунтовых вод следует увеличивать по сравнению с нормативным на 0,4 м;

7) при назначении рабочих отметок земляного полотна исходят из зимне-весеннего высокого уровня грунтовых вод в период промывки полей, которую проводят в феврале – марте. В это время затрачивается 5-15 тыс. м<sup>3</sup> воды на 1 га, что повышает уровень грунтовых вод до 0,5-0,6 м от поверхности земли. Летний подъем грунтовых вод в период орошения не оказывает вредного влияния на грунты земляного полотна в связи со значительным испарением;

8) земляное полотно дорог в зонах искусственного орошения устраивают в насыпях (рис. 22.45). Возведение земляного полотна в орошаемых районах нужно сочетать с общими планировочными работами при подготовке территории к орошению или же закладывать на непригодных для сельскохозяйственных целей участках специальные грунтовые карьеры. Излишки грунта из выемок должны быть отвезены в пониженные места прилегающей местности с соблюдением требований к рекультивации земель;

9) в связи с высокой ценностью земли на орошаемых землях пологие откосы насыпей 1:3 устраивают только при высоте насыпей до 1 м. Более высокие насыпи имеют откосы 1:1,5;

10) у дорог, построенных вдоль каналов, желательно устраивать лесополосы из высокостовольных широколистных деревьев (ивы, тополя), которые, уменьшая испарения воды из каналов, перехватывают корнями просачивающуюся воду;

11) мосты на пересечениях дорог с распределительными каналами строят с минимальным возвышением низа пролетного строения над поверхностью воды, поскольку возможность паводка в каналах исключена. Это возвышение не должно превышать расстояния между верхом дамбы и уровнем воды в канале.

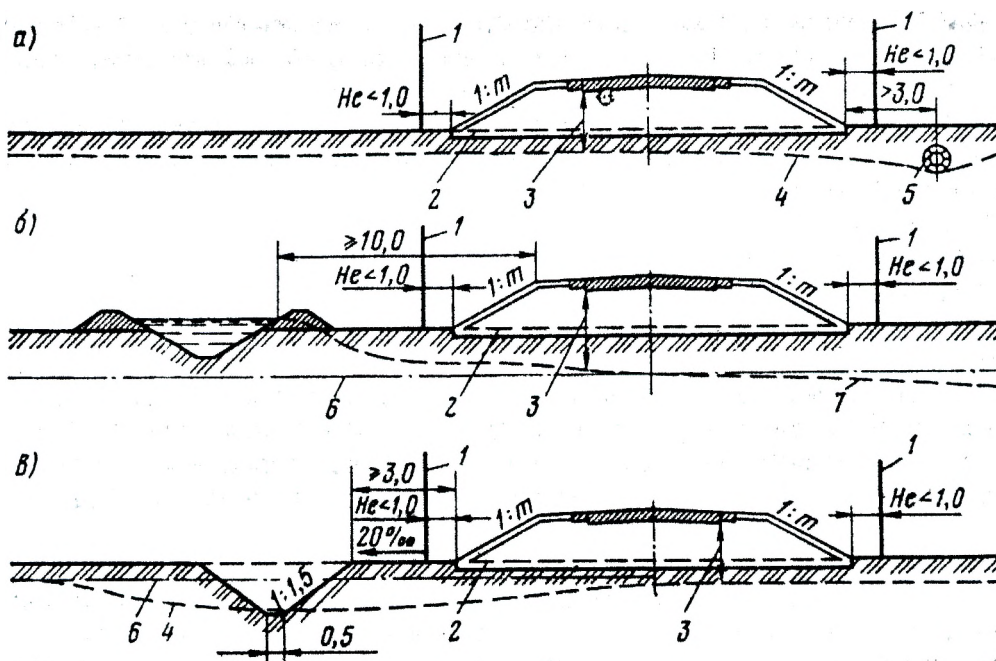


Рис. 22.45. Поперечные профили дорог в районах искусственного орошения: а – вдоль закрытых дренажей и коллекторов; б – вдоль магистральных каналов; в – вдоль открытых коллекторов; 1 – граница полосы отвода; 2 – снимаемый слой растительности грунта; 3 – расчетное возвышение низа дорожной одежды; 4 – уровень грунтовых вод, пониженный дренами или канавами; 5 – трубчатые дрены-коллекторы; 6 – максимальный уровень грунтовых вод до строительства оросительной системы; 7 – фильтрационный максимум уровня грунтовых вод

Как известно, при интенсивном поливе (искусственном орошении) происходит интенсивное засоление грунтов. К **засоленным** относят грунты, содержащие в верхней метровой толще более 0,3% по массе легкорастворимых солей – хлористых, сернокислых и углекислых солей натрия, кальция и магния. Почвы, содержащие в поверхностных слоях до глубины 1-2 м в свободном состоянии более 1% легкорастворимых солей, называют **солончаками**. Они образуются в результате подтягивания к поверхности по капиллярам грунтовой воды, содержащей растворимые соли. Эти соли при испарении воды накапливаются в верхних слоях грунта. В отдельных случаях количество солей бывает настолько большим, что, выделяясь, они образуют слой на поверхности грунта.

**По внешним признакам различают солончаки:**

- **мокрые и корковые** (шоры, соры) – солончаки на участках с высоким стоянием засоленных грунтовых вод, на поверхности которых в сухое время года выступает солевая корка. Мокрые солончаки относятся к категории слабых грунтов и при проложении через них дороги приходится, как на болотах, считаться с осадками земляного полотна и возможностью выпирания грунта основания из-под насыпи;

- **пухлые**, где под тонкой землистой коркой залегает рыхлый слой, изобилующий кристаллами солей, преимущественно сульфатов натрия и магния;

- **такыровидные**, покрытые в сухое время сравнительно толстой глинистой коркой, разбитой сетью трещин на плитовидные отдельные, под которыми в грунте содержатся хлориды, сульфаты и гипс.

Содержание водорастворимых солей в грунтах существенно влияет на их физико-механические свойства. При увлажнении засоленных грунтов их сопротивление внешним нагрузкам резко снижается, а в дождливые периоды возможно оползание откосов насыпей и выемок.

**Содержащиеся в грунте соли могут агрессивно воздействовать на дорожные покрытия.** Сернокислые магний и натрий даже при содержании в количестве 1% разрушают покрытия за два-три сезона. Малоагрессивные соли  $NaCl$ ,  $CaCl_2$  не разрушают покрытие даже при содержании свыше 5%. Разрушающее воздействие водорастворимых солей на битумы и дегти проявляется в виде выщелачивания и эмульгирования вяжущего. Наиболее устойчивы дорожные покрытия, построенные горячим способом с применением вязких битумов.



Учитывая трудности, возникающие при строительстве земляного полотна и дорожных покрытий на засоленных грунтах, в первую очередь следует искать возможности обхода трассой участков наиболее интенсивного соленакопления.

Учитывая особенности использования засоленных грунтов в земляном полотне и дорожных одеждах, различают **пять видов засоления** в зависимости от вида и количества содержащихся ионов солей:

- хлоридное;
- сульфатно-хлоридное;
- хлоридно-сульфатное;
- сульфатное;
- содовое.

Насыпи, отсыпанные из засоленных грунтов, содержащих легкорастворимые соли, в благоприятных гидрологических условиях могут *постепенно рассоляться*. Наоборот, если дорога пересекает солончаки в низкой насыпи, капиллярное проникание в земляное полотно грунтовой воды, содержащей растворимые соли, приводит к дальнейшему засолению грунта насыпи.

Возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых или поверхностных вод при слабо- и средnezасоленных грунтах следует увеличивать против нормативного на 20%, для суглинков и глин – на 30%, а при сильнозасоленных грунтах – на 40-60%.

При невозможности по каким-либо причинам обеспечить указанное возвышение покрытия в насыпях устраивают **капилляропрерывающие прослойки** из гравия толщиной 15-20 см. Если засоление не является содовым, можно укладывать изолирующие прослойки толщиной 3-5 см из грунта, обработанного вязкими битумами или дегтями, или водонепроницаемый геотекстиль.

Поперечные профили с резервами (рис. 22.46а) в засоленных грунтах допускаются при глубине залегания грунтовых вод более 1 м. При этом дно резерва должно возвышаться не менее чем на 0,9 м над наивысшим уровнем грунтовых вод.

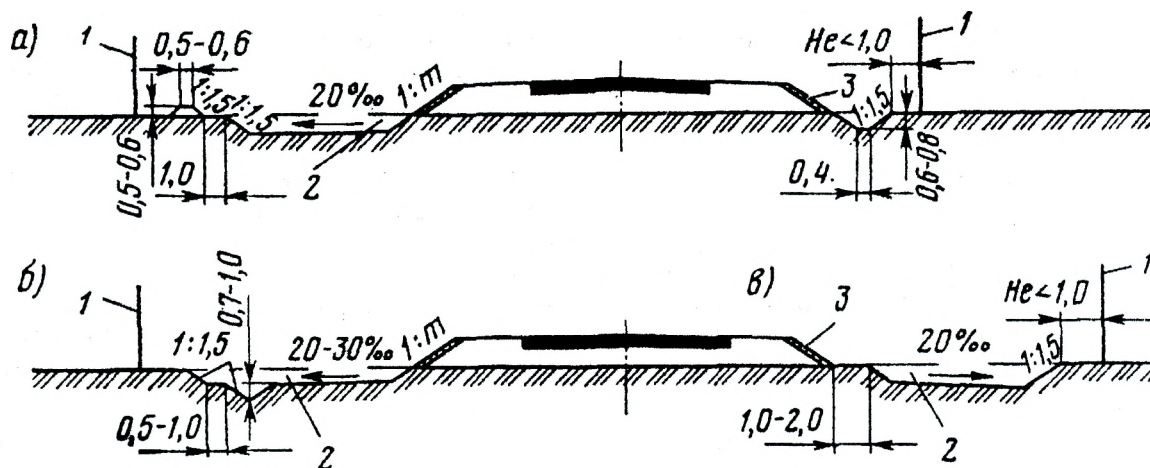


Рис. 22.46. Поперечные профили земляного полотна на засоленных грунтах: а – насыпь с односторонним резервом; б – насыпь с резервом и продольным лотком; в – насыпь с бермой и кювет-резервом; 1 – граница полосы отвода; 2 – резерв; 3 – укрепление откосов

В средне- и сильнозасоленных грунтах необходимо особенно тщательно выполнять мероприятия по отводу воды от земляного полотна. В резервах вдоль краев устраивают специальные лотки для отвода воды (рис. 22.46б). При затрудненном отводе воды из резерва у подошвы насыпи оставляют берму шириной 1-2 м (рис. 22.46в).

**Крутизну откосов насыпей**, возводимых из боковых резервов на дорогах I-III категорий высотой до 2 м, назначают 1:4. При большей высоте принимают откосы 1:1,5, в средне- и сильнозасоленных грунтах – 1:2. Безрезервный профиль из привозного грунта применяют при избыточном засолении грунта, высоком уровне грунтовых вод и затрудненном отводе воды.

Насыпи на мокрых в течение всего года глинистых и суглинистых солончаках со стоянием грунтовых вод менее 0,6 м от поверхности устраивают из привозных грунтов, предпочтительно песчаных или супесчаных. При использовании для снижения стоимости строитель-

ства других грунтов, засоленных в допустимых пределах, нижние слои насыпей на высоту, превышающую высоту капиллярного поднятия, необходимо отсыпать из песка или супеси.

Более благоприятны для дорожного строительства по сравнению с засоленными **солонцовые грунты**, которые содержат в свободном виде легкорастворимые соли (преимущественно хлористый и сернокислый натрий) на глубине более 50 см. Из их верхних почвенных горизонтов соли вымыты, но содержащиеся в грунте в поглощенном состоянии ионы натрия придают грунту ряд свойств, неблагоприятных для их использования в земляном полотне. Солонцовые грунты плохо водопроницаемы, а при увлажнении сильно набухают. Их можно использовать в земляном полотне дорог с твердыми покрытиями, однако откосы таких насыпей и выемок малоустойчивы и подвержены оползанию и сплывам. В связи с этим необходимо предусматривать укрепление откосов и обочин и тщательный отвод воды от земляного полотна.

## 22.6. Особенности проектирования дорог в песчаных пустынях

Особенности климата и рельефа песчаных пустынь значительно усложняют условия строительства и эксплуатации дорог. Рельеф песчаных пустынь неустойчив.

Перемещение песчинок по направлению ветра вызывает общее движение поверхностных слоев в виде *ряби*. Постепенно поднимаясь по склонам песчаных холмов, песчинки после переноса через вершину скатываются и откладываются в зоне затишья с подветренной стороны. В результате этого песчаные холмы постепенно перемещаются по направлению ветра. Такие *пески* называются **подвижными**. Скорость перемещения песчаных бугров уменьшается с увеличением их высоты.

Различают следующие характерные формы рельефа песчаных пустынь, образующегося под воздействием ветра:

- барханы;
- барханные цепи;
- песчаные гряды (дюны);
- бугристые пески.

**Барханами** (рис. 22.47а) называют одиночные или расположенные группами песчаные холмы высотой до 3-5 м и более, шириной до 100 м, имеющие в плане форму лунного серпа с рогами, ориентированными по направлению ветра. Наветренный пологий склон в зависимости от крупности песка имеет крутизну 1:3–1:5, подветренный – соответствует углу естественного откоса песка (1:1– 1:1,5). Эта форма рельефа наиболее неустойчива и легко поддается действию ветра.



Рис. 22.47. Аэрофотоснимки типичных песчаных отложений: а – барханные пески (снимок с высоты 300 м); б – барханные цепи (снимок с высоты 3000 м); в – грядовые пески

В районах, где господствующие ветры в течение года дважды меняют свое основное направление (например, зимой дуют в одном направлении, а летом – в противоположном), в массивах подвижных песков образуются **барханные цепи (дюны)** (рис. 22.47б), расположенные перпендикулярно направлению ветров. Они имеют ширину поперек 10-12 м и более и длину до 2 км. Высота крупных барханных цепей может достигать 10-15 м. В зависимости от высоты барханных цепей расстояние между их гребнями составляет от 10-15 до 150 м. Крупные сложные барханные гряды (*даваны*) длиной от 0,5 до нескольких километров и высотой, достигающей до 100 м, расположены через 1,5-3,5 км.

**Грядовые пески** (рис. 22.47в), образующиеся при сезонно меняющихся ветрах, действующих под углом друг к другу, вытягиваются параллельно равнодействующей активных ветров длиной до 2-3 км, отстоят друг от друга примерно на одинаковом расстоянии 150-200 м.



**Такырами** называют ровные поверхности, покрытые твердым глинистым грунтом. Такыры располагаются преимущественно вдоль окраин песков и представляют собой сухое дно временных озер, образующихся при быстром таянии снегов или после проливных дождей.

**Песчаные гряды (дюны)** являются конечной формой развития песчаного рельефа, когда барханные цепи достигают такой высоты, что ветер за одну смену направления успевает перестроить только верхнюю часть гряды; поступательные или колебательно-поступательные движения прекращаются.

**Бугристыми песками** называют закрепленные растительностью невысокие песчаные холмы неправильного очертания. Их высота не превышает 6-8 м, а крутизна склонов примерно одинакова во всех направлениях.

Для характеристики рельефа сыпучих песков при изысканиях полезно использовать аэрофотоснимки и авиационную разведку.

Подвижность песков связана со скоростью ветра, гранулометрическим составом песка, его влажностью и засоленностью, степенью закрепления песчаной поверхности растительностью. Заросшие пески, у которых растительностью покрыто более 35-40% поверхности, имеют *стабильные формы рельефа*. Однако в случае уничтожения растительности во время строительства или при последующей эксплуатации дороги они вновь приобретают подвижность. *На участках с рельефом, закрепленным растительностью, дорогу нужно проектировать с максимальным сохранением растительности и естественного рельефа в насыпях минимальной высоты из привозного грунта, не закладывая резервов.*

Основные сложности при проектировании дорог в зоне подвижных песков создает неустойчивость форм песчаного рельефа.

Количество переносимого песка зависит от энергии ветра, которая пропорциональна квадрату его скорости. Поэтому при оценке условий переноса песков большую помощь может оказать анализ «роз энергии» или «динамических роз ветров». Для их построения по направлению каждого румба откладывают сумму произведений квадратов скоростей ветров на частоты их повторяемости (рис. 22.48) в периоды, когда происходит перенос песка. Время, когда песок связан влагой или покрыт снегом, исключается. Динамические розы ветров особенно эффективны для оценки заносимости дороги песком и выбора мероприятий по защите дороги от песчаных заносов.

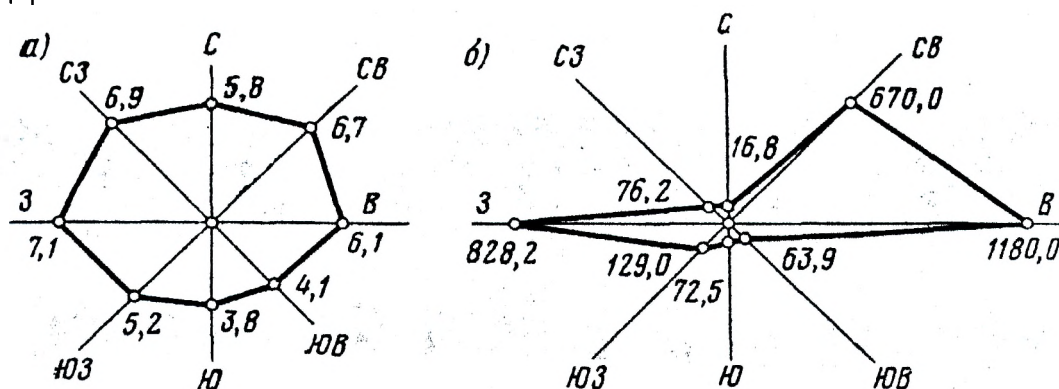


Рис. 22.48. Роза ветров: а – обычная; б – динамическая

Сильнозаносимыми считаются участки дорог, к которым за год приносится от 20-30 м<sup>3</sup> песка на 1 м дороги, слабозаносимыми – менее 10 м<sup>3</sup>.

В движении песков возможны следующие режимы:

- поступательное движение, когда в течение года ветры одного направления резко преобладают над ветрами остальных направлений;
- колебательное движение, когда летнее и зимнее действие ветров примерно уравнивается, и барханные цепи, периодически изменяя свое очертание, остаются на месте;
- поступательно-колебательное движение, когда барханные цепи, периодически отступая, перемещаются в одном направлении, причем скорость перемещения песков в одном направлении меньше, чем в другом.

Наибольшие трудности при проектировании дорог возникают в районах поступательного перемещения песков. В связи с подвижностью рельефа песчаной поверхности отметки





6 м, на которых во время сильных ветров откладывается песок, не прерывая движение по дороге (рис. 22.51). В барханных песках с заросшей поверхностью при выемках глубже 2 м бермы уменьшают до 3 м, увеличивая крутизну внутренних откосов до 1:2;

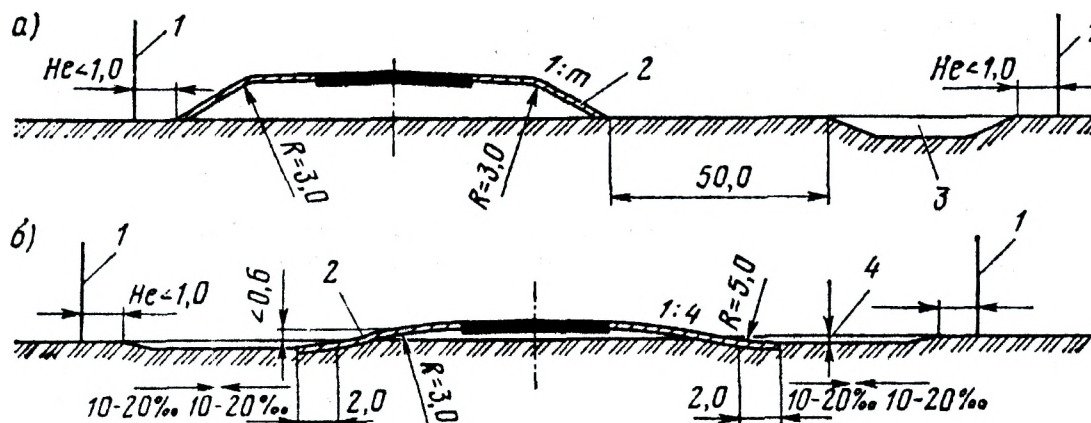


Рис. 22.50. Поперечные профили насыпей в районах распространения песков с незаросшей и слабозаросшей поверхностью: а – в насыпях; б – в нулевых отметках; 1 – граница полосы отвода; 2 – защитный слой из связного грунта толщиной 10-20 см; 3 – резерв (размеры в зависимости от высоты насыпи); 4 – планировка на глубину не более 0,2 м

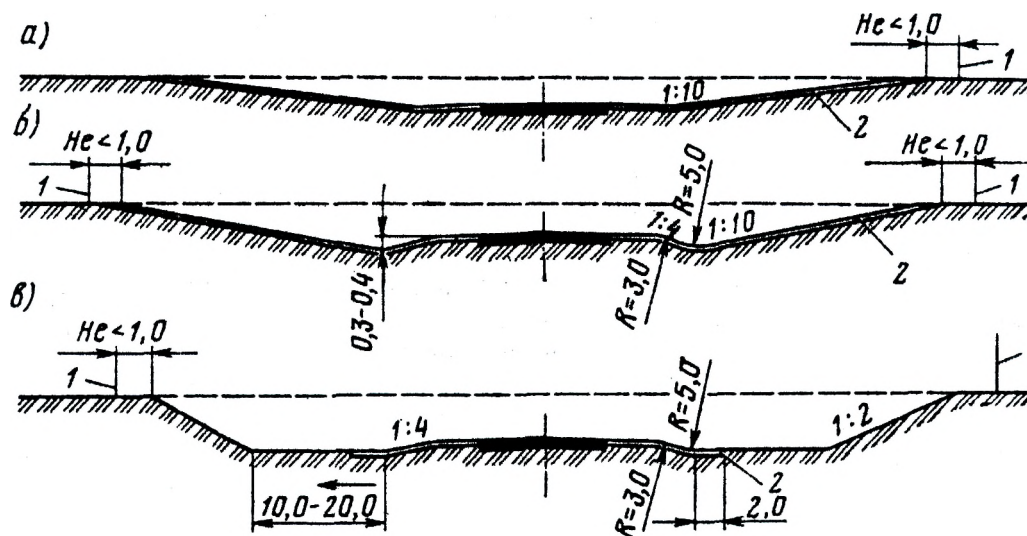


Рис. 22.51. Поперечные профили выемок в незаросших и слабозаросших песках: а – раскрытая выемка глубиной до 2 м; б – выемка, разделанная под насыпь; в – выемка глубиной более 2 м; 1 – граница полосы отвода; 2 – защитный слой из связного грунта толщиной 10-20 см

- в зависимости от местных условий откосы и обочины насыпей и выемок укрепляют связным грунтом, грунтами, обработанными вяжущими, мощением, щитами, сделанными из ветвей деревьев или кустарников;

- в заросших песках земляное полотно устраивают, избегая повреждения растительности на придорожной полосе;

- на незаросших песках предусматривают планировку придорожной полосы на ширину 15-40 м с каждой стороны земляного полотна, разравнивая на ней подвижные песчаные формы рельефа;

- за пределами придорожной полосы на ширину до 200 м подвижные формы рельефа должны быть закреплены механическими щитами или растительностью, сажаемой полосами шириной 1 м;

- в связи с высокой впитываемостью воды в песок водопропускные сооружения на участках сыпучих песков не строят. Водоотвод должен быть обязательно обеспечен лишь на пересечениях такыров, а также на участках у окраины песков, куда вода может стекать во время редких, но интенсивных ливней с холмов, склоны которых сложены водонепроницаемыми грунтами.

*Возведение земляного полотна* автомобильной дороги изменяет условия движения ветропесчаного потока. В образовавшихся у дороги зонах затишья возникают песчаные отложения, а в местах образования завихрений возможно развеивание песка, из которого отсыпано земляное полотно, что должно быть учтено при проектировании дороги.

**Основные принципы защиты дороги от заносимости песком:**

- уполаживание поперечного профиля земляного полотна;
- укрепление откосов земляного полотна укладкой слоя связного грунта;
- в пределах полосы отвода поверхность должна быть спланирована, чтобы песок переносился через нее не отлагаясь;
- посадка широкой полосы трав и песколюбивых кустарников (саксаул, черкез или кандым). Однако для создания придорожных защитных насаждений требуется несколько лет;
- для закрепления придорожных форм песчаного рельефа применяют «механическую защиту» – *ограждение щитами*. Действие такой защиты сводится к созданию около щитов зон затишья, в которых откладывается песок. Отложения накапливаются преимущественно перед сплошными щитами. Большое количество песка задерживают решетчатые щиты, через которые он проносится ветром. При этом скорость ветра гасится, и песок равномерным слоем откладывается за щитом. Длина песчаных отложений получается тем большей, чем выше процент просветов в щите. Такие щиты можно легко переставлять на новое место после их отработки. Подвижные формы рельефа закрепляют установкой многорядных сплошных щитов, различающихся по возвышению над песком, – высоких (70 см), полускрытых (30 см) и скрытых (5 см). Использование щитов для задержания песков *имеет недостатки* – накопление около дороги больших объемов песка, чрезвычайно большую трудоемкость и необходимость непрерывного надзора за работой установленных линий ограждений;
- комплекс мероприятий по закреплению песков должен обязательно завершаться посадкой растительности, тип которой должен выбирать специалист – агролесомелиоратор.



## 23. ОСНОВЫ ИЗЫСКАНИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### 23.1. Стадии проектирования

*Стадийность проектирования автомобильных дорог* устанавливается в соответствии со СНиП 1.02.01-85 «Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».

Проектирование нового строительства и реконструкции автомобильных дорог осуществляют на основании решений, принятых в утвержденных технико-экономических обоснованиях (ТЭО) или технико-экономических расчетах (ТЭР) строительства, обосновывающих хозяйственную необходимость и экономическую целесообразность строительства автомобильных дорог. ТЭО или ТЭР разрабатывают на основе утвержденных в установленном порядке схем развития и размещения сети автомобильных дорог.

Порядок разработки проектно-сметной документации *в одну стадию* – рабочий проект или *в две стадии* – проект и рабочая документация определяется в ТЭО. При этом проектирование технически несложных и других объектов, определяемых министерствами и ведомствами, а также сооружений, строительство которых должно осуществляться преимущественно по типовым и повторно применяемым проектам, выполняется в одну стадию.

В случае, когда ТЭО (ТЭР) предусматривает строительство автомобильных дорог по очередям, состав и продолжительность их осуществления окончательно уточняются при разработке рабочего проекта (проекта).

В рабочем проекте (проекте) должны в соответствии с требованиями задания на проектирование выделяться *пусковые комплексы*.

*Задание на проектирование* составляется заказчиком проекта с участием генерального проектировщика на основании утвержденных ТЭО (ТЭР).

Рабочие проекты (проекты) на строительство автомобильных дорог разрабатывают непосредственно на основании содержащихся в утвержденных ТЭО (ТЭР) материалов по выбору трассы и в соответствии с заданием на проектирование. В рабочих проектах (проектах) с учетом вариантных проработок, а в необходимых случаях на основе конкурсного проектирования осуществляют необходимую доработку и детализацию проектных решений, принятых в ТЭО (ТЭР), и уточняют основные технико-экономические показатели, в том числе стоимость строительства проектируемых предприятий, зданий и сооружений.

*В состав рабочей документации* для строительства предприятия, здания и сооружения входят (ГОСТ 21.110-82 «Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов»):

- 1) рабочие чертежи, разрабатываемые в соответствии с государственными стандартами системы проектной документации для строительства (СПДС) и эталоном;
- 2) сметная документация;
- 3) ведомости объемов строительных и монтажных работ;
- 4) ведомости и сводные ведомости потребности в материалах, составленные по видам строительных и монтажных работ;
- 5) сборники спецификаций оборудования;
- 6) проектно-сметная документация на строительство зданий и сооружений, входящих в пусковой комплекс и др.

Проекты (рабочие проекты) автомобильных дорог с нормативной продолжительностью строительства *свыше 2 лет* разрабатывают, как правило, для нескольких очередей (пусковых комплексов) строительства, определенных в утвержденных ТЭО или ТЭР. Оптимальный состав и продолжительность очередей строительства, установленные в ТЭО или ТЭР, указывают в задании на проектирование и окончательно уточняют при разработке проекта (рабочего проекта).

### 23.2. Организация проектно-изыскательских работ и типовые схемы их выполнения

Проектные и изыскательские работы выполняют на *основании договоров*, заключенных заказчиками с проектными организациями – *генеральными проектировщиками*, в соот-

ветствии с Правилами о договорах на выполнение проектных и изыскательских работ. При этом разработку соответствующих материалов проектов, не относящихся к профилю генерального проектировщика, поручают соответствующим субподрядным специализированным проектным организациям.

Проектная организация – генеральный проектировщик по каждой проектируемой автомобильной дороге назначает *главного инженера проекта* (ГИП).

Специализированная субподрядная проектная организация, выполняющая отдельный раздел или подраздел проекта, назначает главного инженера проекта, ответственного за этот раздел или подраздел проекта.

В соответствии с установленными правилами генпроектировщик заказывает на зону варьирования *топографические карты и аэрофотосъемку*.

*Для выбора трассы* автомобильной дороги заказчик создает *комиссию* из представителей: заказчика проекта, генеральной проектной организации, территориальной проектной организации, исполкомов народных депутатов; подрядной строительной организации; территориальных и местных органов государственного надзора и других заинтересованных организаций. Комиссия *составляет акт* о выборе трассы автомобильной дороги с указанием примерных размеров земельных участков, отчуждаемых как в постоянное, так и во временное пользование на период строительства.

Акт выбора трассы автомобильной дороги подлежит *утверждению* министерством (ведомством) – заказчиком в установленном законодательством порядке. Утвержденный акт является документом о согласовании направления трассы автомобильной дороги, принятых решений и условий на присоединение сооружений автомобильной дороги к инженерным сетям и коммуникациям, а также намечаемых мероприятий по охране окружающей природной среды и включается в состав ТЭО (ТЭР).

*Задание на проектирование автомобильной дороги* составляет заказчик с привлечением проектной организации – генерального проектировщика на основании утвержденных ТЭО или ТЭР, выполненных для данного объекта.

После получения *утвержденного задания* на разработку проекта (рабочего проекта) составляют *программу инженерных изысканий, смету* на проектно-изыскательские работы, издают *приказ по институту об организации инженерных изысканий*, определяют лимит расходов, составляют календарный график проектно-изыскательских работ.

В программе инженерных изысканий приводят краткую характеристику района изысканий, отражают специфические условия и степень изученности, устанавливают состав, объем, технологию и последовательность выполнения изысканий на основе требований инструкций по инженерным изысканиям с учетом особенностей природных условий и установленной стадийности проектирования. Программу изысканий составляют в соответствии со СНиП 1.02.07-87 «Инженерные изыскания для строительства» и стандарта «Программа инженерных изысканий» СТП 3012-02-32-83.

*Смету* на изыскательские и проектные работы составляют на основе программы производства полного комплекса работ в соответствии с Инструкцией о порядке составления смет на проектные и изыскательские работы для строительства.

*Календарный график* проектно-изыскательских работ (ПИР) составляют в соответствии с планом ПИР института. Он должен обеспечивать технологическую последовательность разработки проекта (рабочего проекта). График составляют все задействованные отделы и субподрядные организации под общим руководством главного инженера комплексного проекта. В графике должны быть отражены сроки проведения изысканий, проектных работ, передачи материалов смежным отделам и субподрядным организациям, получения готовой документации от них, а также сроки оформления и выпуска проекта.

*В подготовительный период*, предшествующий изысканиям, выполняют следующие работы:

- 1) получают разрешение на производство инженерно-геодезических работ и инженерно-гидрологических работ;
- 2) осуществляют регистрацию геологических работ;
- 3) заключают договор на производство проектно-изыскательских работ;
- 4) определяют лимит расходов;
- 5) формируют изыскательскую экспедицию (партию) и составляют график выезда сотрудников;



6) получают и упаковывают имущество, геодезические инструменты, получают автомобили, специальные транспортные средства, буровые станки и буровое оборудование;

7) отправляют имущество, буровые станки, автомобили, буровое оборудование, а также топографические карты;

8) организуют выезд сотрудников экспедиции (партии) к месту работ, создают базы экспедиции (партии) на месте работ;

9) заключают договора (авто- и авиаобслуживание, материалы, ГСМ и т. д.);

10) открывают финансирование в местном банке и нанимают рабочих;

11) оформляют лесопорубочный билет;

12) регистрируют изыскательские подразделения в местных органах власти.

Для выполнения инженерных изысканий на объекте изыскательскому подразделению выдается *техническое задание*, содержащее данные об объекте проектирования, составе, характере, объемах и сроках подлежащих выполнению работ. Техническое задание на выполнение инженерных изысканий составляет главный инженер проекта для каждой стадии проектирования на основе утвержденных программ инженерных изысканий при участии ГИПов разделов.

*Техническое задание* составляется с учетом максимального использования материалов изысканий прошлых лет и предшествующей стадии проектирования. Задание утверждает начальник отдела.

Работники, направляемые на полевые работы в отдаленные малонаселенные труднодоступные районы, подлежат предварительному медицинскому осмотру для установления их пригодности к выполнению полевых работ в конкретных физико-географических условиях. Работникам, направляемым на работу в районы распространения клещевого энцефалита, заблаговременно должны быть сделаны противозенцефалитные прививки.

Сотрудники института до выезда на полевые работы должны сдать экзамен по правилам и нормам безопасности труда и производственной санитарии. С рабочими, зачисляемыми в экспедицию, и со студентами высших и средних учебных заведений, прибывающими для прохождения производственной практики, проводится инструктаж по правилам, нормам и инструкциям безопасности труда, производственной санитарии и действующего трудового законодательства с оформлением в соответствующих документах, установленных ГОСТ 12.0.004-79.

#### **По завершении полевых работ:**

1) материалы изысканий сдают комиссии;

2) выполняют расчеты с организациями и рабочими;

3) организуют возвращение сотрудников в проектно-изыскательскую организацию;

4) закрывают финансирование в банке;

5) отправляют топографические карты в институт;

6) отправляют или консервируют на месте работ имущество, технику;

7) сдают имущество на склады, технику – на базы организации, списывают имущество, пришедшее в негодность;

8) составляют исполнительные сметы и отчет об инженерно-геодезических работах в территориальную инспекцию госгеонадзора;

9) составляют инженерно-геологический отчет для передачи его в территориальный геофонд.

Основными принципами современной технологии проектирования являются:

1) комплексность выполнения проектно-изыскательских работ с использованием современной вычислительной техники и оргтехники, с применением аэрометодов и приборов с автоматической регистрацией измерений на машинных носителях;

2) широкое применение математических методов оптимального проектирования и математического моделирования;

3) применение многовариантного проектирования;

4) широкое использование крупномасштабных топографических материалов и материалов аэрофотосъемки для камерального трассирования.

С целью получения необходимых материалов для проектирования проводятся *инженерные изыскания*: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические.

**Типовая технологическая схема** изысканий автомобильных дорог включает следующие этапы:

**1) на стадии проекта:**

- 1.1) сбор исходной информации для трассирования;
- 1.2) камеральное трассирование по топографическим картам масштаба 1:100000-1:25000 (с технико-экономическим сравнением по укрупненным показателям и выбором конкурентоспособных вариантов);
- 1.3) рекогносцировочное обследование района проложения трассы, предварительные принципиальные согласования конкурентоспособных вариантов и получение разрешений на право производства предварительных изыскательских работ;
- 1.4) камеральное трассирование по материалам аэрофотосъемки или по топографическим планам масштаба 1:5000-1:2000 (1:10000), сравнение вариантов трассы по технико-экономическим показателям;
- 1.5) согласование трассы, резервов и карьеров по рекомендуемому варианту (вариантам) райисполкомами с привлечением землепользователей и других заинтересованных организаций;
- 1.6) уточнение геологических, гидрометеорологических, а при необходимости и топографических условий на эталонных участках, мостовых переходах, транспортных узлах и на других сложных участках; камеральная корректировка трассы (при необходимости);
- 1.7) вынос в натуру по рекомендуемому варианту (вариантам) магистрального геодезического хода и закрепление его; инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические и другие изыскательские работы по трассе;

**2) на стадии рабочей документации:**

- 2.1) получение разрешений на право производства изыскательских работ;
- 2.2) сбор и анализ дополнительных материалов;
- 2.3) камеральная разработка местных вариантов (при необходимости) по материалам аэрофотосъемки или по топографическим планам масштаба 1:5000-1:2000;
- 2.4) расчет на ЭВМ элементов трассы и данных для выноса ее в натуру от магистрального хода;
- 2.5) согласование с землепользователями и другими организациями местных изменений трассы;
- 2.6) вынос трассы в натуру с разбивкой пикетажа;
- 2.7) инженерно-геодезические работы (нивелирование трассы, съемка поперечных профилей, топографические съемки, съемка коммуникаций и др.);
- 2.8) инженерно-геологические и инженерно-гидрометеорологические работы;
- 2.9) обработка полевых материалов.

Для конкретных объектов технологические схемы должны уточняться с учетом особенностей района проектирования.

В настоящее время проектирование ведется, как правило, с широким использованием средств автоматизации и вычислительной техники, та или иная технология автоматизированного проектирования принимается в зависимости от следующих факторов:

- стадийности проектирования;
- категории и назначения проектируемой автомобильной дороги;
- природных условий района проложения трассы;
- обеспеченности объекта топографическими материалами или материалами аэрофотосъемки;
- протяженности проектируемой дороги;
- ограничений по продолжительности и сезонности проектно-изыскательских работ;
- технологических возможностей комплекса технических средств и программного обеспечения САПР-АД и др.

Наиболее сложным и ответственным этапом проектирования автомобильной дороги является *трассирование*, поскольку именно положение трассы в плане и профиле определяет основные технико-экономические показатели будущей дороги (рис. 23.1).



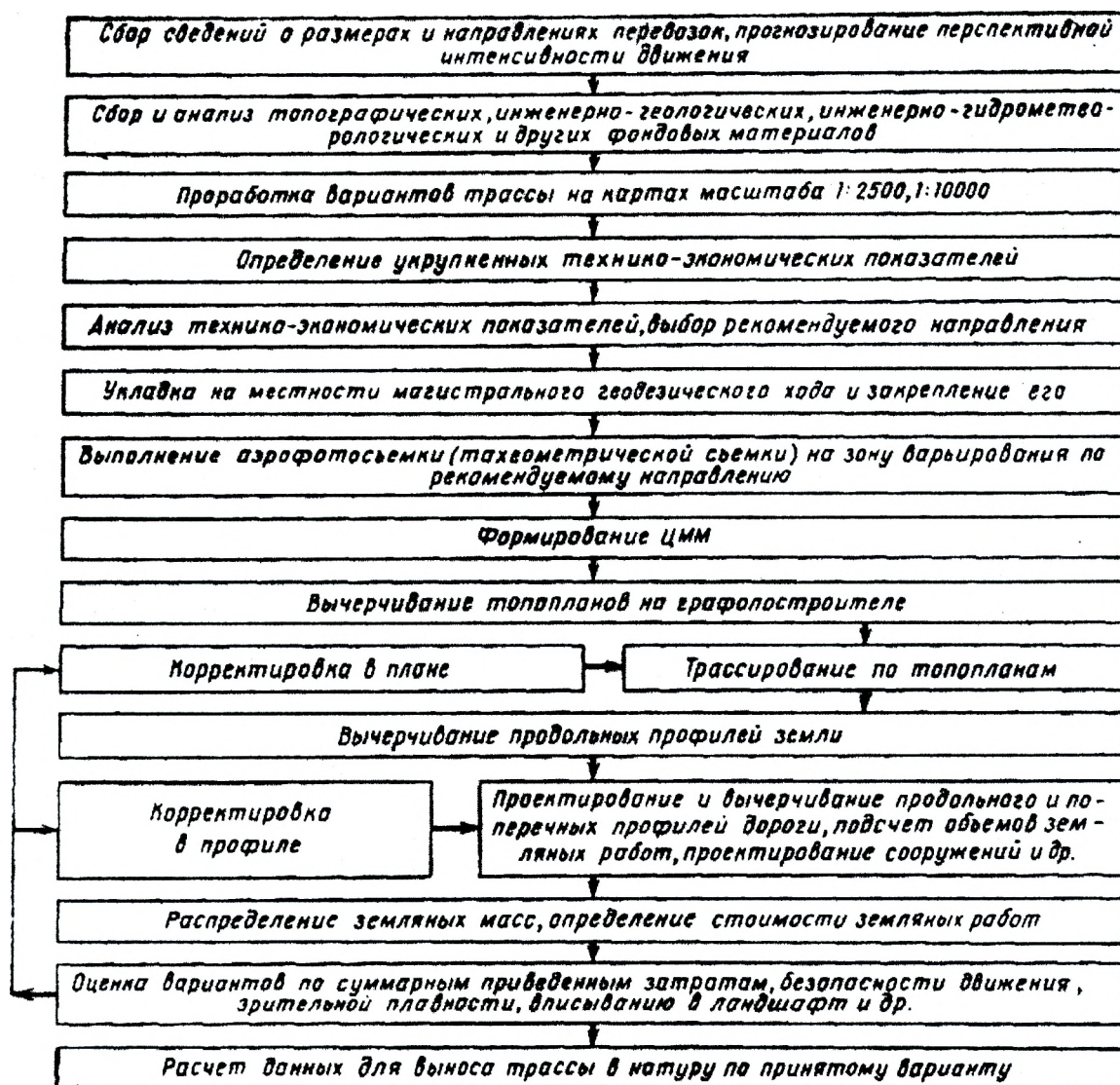


Рис. 23.1. Технологическая схема трассирования автомобильных дорог

### 23.3. Схема развития сети автомобильных дорог

Схема развития сети дорог решает проблему полного и своевременного удовлетворения потребностей в грузовых и пассажирских перевозках автомобильным транспортом. В ней:

- 1) намечают и обосновывают перспективы развития дорожной сети региона для планирования проектно-изыскательских работ и капитального строительства;
- 2) определяют конфигурацию, протяжение и технический уровень сети на основе развития производительных сил;
- 3) рассчитывают потребность в материально-технических ресурсах;
- 4) определяют эффективность намечаемых мероприятий.

Схема развития сети автомобильных дорог разрабатывается на перспективу 20-25 лет и является основой для последующей разработки 10- и 5-летних планов строительства и реконструкции автомобильных дорог.

Схемы развития сети дорог общегосударственного значения утверждаются Советом Министров республики, а автомобильных дорог местного значения утверждаются Советом Министров республики по согласованию с областными исполкомами.

Срок разработки схем развития сети дорог общегосударственного значения составляет 1,0-1,5 года, а местного значения – до 1 года.

Стоимость разработки схемы определяют на основе сметно-финансовых расчетов. Ориентировочные стоимости разработки схем представлены в табл. 23.1.

Таблица 23.1. Ориентировочная стоимость разработки схем развития сети автомобильных дорог (тыс. долл. США.)

Количество административных районов в области	Плотность населения области, чел/км <sup>2</sup>								
	до 50			50-150			свыше 150		
	Протяженность автомобильных дорог международного и республиканского значения в области, км								
	< 500	500-1500	> 1500	< 500	500-1500	> 1500	< 500	500-1500	> 1500
< 20	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,3	2,4	2,7	3,0
20-40	1,6	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,2	3,6	4,0
> 40	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2	3,8	4,0	4,5	5,0

**Примечания.** 1. Города с численностью населения 1 млн. чел. и выше в расчет плотности населения не входят. 2. В таблице приведены стоимости разработки схемы для одного района области. Для определения стоимости составления схемы для всей области данные таблицы следует умножить на количество районов. При разработке схемы развития автомобильных дорог региона, включающего несколько областей, стоимость определяют отдельно для каждой области и суммируют. 3. Рассчитанная стоимость может служить основой для составления сметно-финансового расчета.

Разработку схемы развития сети автомобильных дорог осуществляют в **два этапа**:

- 1) на первом этапе определяют задачи и основные показатели развития сети, а также предусматривают мероприятия по комплексному использованию производственной базы с учетом рационального сочетания дорог различной административной подчиненности;
- 2) на втором этапе в составе этих схем разрабатывают технико-экономические характеристики с необходимыми расчетами, обосновывающими целесообразность и последовательность строительства, реконструкции и расширения отдельных объектов по пятилеткам с определением расчетной стоимости объектов и экономической эффективности.

**Схема должна состоять из следующих основных разделов:**

#### **Введение.**

Основание для разработки схемы. Использованные материалы схем по развитию и размещению отраслей народного хозяйства региона и другие материалы, положенные в основу схемы. Нормативные и методические указания.

#### **1. Транспортно-экономическая характеристика региона.**

**Общие сведения.** Географическое положение и административный состав территории. Численность городского и сельского населения. Важнейшие города и населенные пункты. Исторические и культурные памятники. Санаторно-курортные зоны и зоны отдыха. Природные условия и ресурсы.

**Промышленность и строительство.** Основные отрасли и особенность размещения. Сельское хозяйство. Специализация и размещение, товарная продукция отдельных отраслей. Лесное хозяйство. Характеристика запасов, Объем заготовок леса. Заготовительная и торгово-снабженческая сеть. Размещение и товароборот.

**Характеристика путей сообщения.** Роль отдельных видов транспорта в обслуживании перевозок. Автомобильные дороги. Общее протяжение и плотность. Важнейшие автомобильные дороги. Мостовые переходы и переправы. Автомобильный парк. Наличие, состав и размещение. Техничко-эксплуатационные показатели работы автомобилей. Железные дороги. Общее протяжение и плотность сети. Важнейшие линии, узлы и крупные станции. Водные пути. Судходные и сплавные реки. Навигационный период. Основные порты. Воздушный транспорт. Размещение основных аэропортов. Грузовые и пассажирские линии. Наличие трубопроводов и ЛЭП.

Транспортно-экономическая характеристика региона приводится как для отчетного года, так и на перспективные сроки.

#### **2. Анализ современного состояния сети автомобильных дорог.**

Наличие автомобильных дорог, их протяженность и административная классификация; размещение по региону и плотность; техническое состояние дорог и мостов и их технико-экономические характеристики; балансовая стоимость дорог и мостов; интенсивность и состав движения на дорогах за 10-летний период, предшествующий отчетному году, объемы перевозок грузов и пассажиров, основные транспортные связи; наличие асфальтобетонных и цементобетонных заводов и их мощность; наличие строительных дорожных и мостовых



организаций, их оснащение техникой и среднегодовая производительность; источники получения местных дорожно-строительных материалов и их мощность; структура дорожно-эксплуатационной службы и ее оснащение техникой; себестоимость автомобильных перевозок по типам автомобилей на дорогах различных категорий; размеры капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог за предшествующие годы; динамика прироста сети дорог по типам покрытий; фондоотдача сети; дорожно-эксплуатационные затраты; воздействие автомобильных дорог на окружающую природную среду; соответствие технического состояния автомобильных дорог размерам движения и техническому уровню автомобилей; обеспеченность автомобильными дорогами для удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения.

### **3. Объемы перевозок и интенсивность движения.**

Объемы грузовых перевозок по видам грузов и видам сообщений; объемы пассажирских перевозок по видам сообщений и целям поездок; основные транспортные связи по видам грузов и пассажирским перевозкам; объемы перевозок по крупным грузопассажирообразующим пунктам. Грузо-, пассажиронапряженность и грузо-, пассажирооборот на расчетные сроки по перегонам автомобильных дорог. Транспортная работа. Распределение интенсивности движения на сети дорог по типам автомобилей по перегонам дорог.

### **4. Принципы развития сети дорог.**

Исторически сложившаяся конфигурация сети и ее технический уровень. Изменение соотношения между объемами строительства и реконструкции за предшествующие годы и их темпы на перспективу. Основные принципы развития сети автомобильных дорог исходя из концепций развития и размещения производительных сил с учетом значения автомобильных дорог в транспортной системе региона и решения социальных задач по улучшению транспортного обслуживания населения.

### **5. Предложения по развитию сети автомобильных дорог.**

Варианты развития сети автомобильных дорог исходя из освоения перспективных объемов перевозок. Оценка вариантов по их экономической эффективности и выбор оптимального варианта. Обоснование необходимости строительства и реконструкции дорог и мостов. Капитальные вложения в развитие сети дорог и мостов по периодам. Технико-экономические и эксплуатационные показатели развития сети. Административная и техническая классификация автомобильных дорог на расчетные сроки. Потребность в дорожно-строительных материалах, машинах и механизмах для осуществления программы дорожно-мостового строительства. Рекомендации по увеличению мощности существующих и размещению новых предприятий стройиндустрии. Затраты на развитие производственной базы. Рекомендации по организации строительства дорог и мостов.

### **6. Природные условия строительства.**

*Особенности климата.* Среднегодовые и месячные температуры воздуха. Абсолютный максимум и минимум. Безморозный период. Переход температур через 0°C. Господствующее направление и сила ветра. Роза ветров. Осадки и распределение их по месяцам и сезонам. Снежный покров. Глубина промерзания почвы. Метели, оттепели, гололед. Продолжительность светлого времени суток.

*Геологическое строение и особенности рельефа.* Инженерно-геологические условия. Наличие районов, в пределах которых отмечаются оползневые, осыпные, карстовые и просадочные явления. Пойменные участки, подверженные размывам, многолетнемерзлые грунты. Сейсмические условия. Другие особые условия, влияющие на характер и организацию строительных работ.

*Гидрография.* Важнейшие реки и водохранилища. Озера и болота. Краткая гидрологическая характеристика рек. Сроки вскрытия и замерзания рек. Колебания уровней в реках. Максимальные паводки. Характеристика стока. Сроки ледостава и мощность ледового покрова. Сведения о судоходстве и лесосплаве, заторах, зажорах, наледях и других особенностях водотоков.

*Гидрогеологические условия.* Краткая характеристика почв, грунтов и растительности. Подвижные пески, солончаки и другие неблагоприятные условия.

Обеспеченность дорожно-строительными материалами и перспектива выявления новых месторождений.

Инженерное районирование территории, типы местности.

## **7. Эффективность капитальных вложений.**

*Капитальные вложения в строительство и реконструкцию дорог по периодам.* Стоимость строительства 1 км дорог по категориям в различных категориях рельефа. Стоимость реконструкции 1 км дорог различных категорий.

*Капитальные вложения в подвижной состав.* Расчет текущих затрат: транспортные и дорожно-эксплуатационные расходы, потери от дорожно-транспортных происшествий и потери народного хозяйства, связанные с несовершенством дорожной сети.

*Капитальные вложения и текущие расходы при сохранении существующего состояния дорожной сети на перспективу и при реализации рекомендаций схемы.*

*Эффективность капитальных вложений и обоснование последовательности работ по реализации предложений по развитию сети.*

## **8. Техничко-экономические характеристики.**

Техничко-экономические характеристики автомобильных дорог, строительство и реконструкция которых предусматриваются в ближайшие 10 лет. Краткая техническая характеристика: номер автомобильной дороги и ее наименование, протяженность, техническое состояние дороги и искусственных сооружений, пересечения с автомобильными и железными дорогами, основные подьезды.

Краткая экономическая характеристика района тяготения: крупные населенные пункты и численность населения, размещение грузо-, пассажирообразующих пунктов, основные транспортные связи. Существующая интенсивность движения.

Перспективные грузо-, пассажиронапряженность и интенсивность движения по перегонам дороги.

Рекомендации по строительству и реконструкции дороги на ближайшие 10 лет.

Капитальные вложения в строительство и реконструкцию дороги.

### **Выводы.**

Оценка соответствия существующего состояния сети автомобильных дорог размерам движения.

Рекомендации по конфигурации сети автомобильных дорог, категориям, очередности производства работ. Обслуживаемость территории региона автомобильными дорогами в результате реализации предложений схемы. Основные технико-экономические показатели работы сети автомобильных дорог на расчетные сроки.

Капитальные вложения по периодам. Перечень автомобильных дорог и участков, подлежащих строительству и реконструкции в первые 10 лет, с указанием протяженности, категории и капитальных вложений.

### **Приложения:**

- 1) карта-схема размещения и развития производительных сил;
- 2) схема сети автомобильных дорог региона пс административной подчиненности и типам покрытий;
- 3) схема распределения интенсивности движения на сети дорог на расчетный год;
- 4) карта-схема инженерно-геологического районирования;
- 5) схема автомобильных дорог региона с выделением участков, подлежащих строительству и реконструкции по периодам;
- 6) перечень автомобильных дорог региона с указанием протяженности, категории, основных геометрических параметров и типа покрытия;
- 7) перечень титульных мостов с указанием габаритов и нагрузок;
- 8) сводная ведомость интенсивности движения на расчетные сроки по типам автомобилей;
- 9) перечень автомобильных дорог и участков, подлежащих строительству и реконструкции по периодам с указанием протяжения, категории и размеров капитальных вложений;
- 10) ведомость потребности в дорожно-строительных материалах, машинах и механизмах.

## **23.4. Экономические изыскания**

*Схему развития сети автомобильных дорог региона разрабатывают на основе исходной информации, полученной в результате экономических и технических изысканий.* Для проведения изысканий формируют отдельные группы, в которые включают инженеров-



экономистов, дорожников, мостовиков, геологов и других специалистов. Возглавляет работы главный инженер проекта. Состав подразделений зависит от сложности объекта, наличия проработок прошлых лет и директивных сроков выполнения работ.

*Задачей экономических изысканий* являются сбор, обработка, систематизация и анализ исходных данных для обоснования народнохозяйственных предпосылок развития сети автомобильных дорог, для установления экономической целесообразности и последовательности строительства и реконструкции отдельных объектов.

**Экономические изыскания имеют два периода работы: подготовительный и полевой.**

*В подготовительный период осуществляют:*

- 1) изучение задания на разработку схемы развития сети автомобильных дорог региона;
- 2) составление сметы на производство работ;
- 3) разработку задания на проведение экономических изысканий и программы работ;
- 4) изучение по мелкомасштабным картам района предстоящих изысканий;
- 5) изучение по материалам научно-исследовательских и проектных институтов, а также по литературным источникам особенностей размещения производительных сил региона и перспектив их развития;
- 6) сбор в центральных статистических органах показателей, характеризующих современное состояние производительных сил, транспорта и сети автомобильных дорог;
- 7) комплектование личного состава группы, распределение обязанностей и объектов обследования между отдельными сотрудниками;
- 8) составление заданий и календарных графиков отдельным бригадам и исполнителям.

*Полевой период* следует начинать с ознакомления местных исполкомов, плановых и статистических органов с задачами и методикой предпринимаемой работы с целью получения необходимого содействия при проведении изысканий.

*В полевой период выполняют следующие работы:*

- 1) составление списка грузо-, пассажирообразующих точек (в том числе строящихся и проектируемых предприятий, ввод в действие которых предусмотрен в течение расчетного срока);
- 2) составление перечня автомобильных дорог и подъездов с характеристикой их технического состояния;
- 3) сбор сведений о размещении и развитии производительных сил, объемах и направлениях перевозок грузов и пассажиров автомобильным транспортом;
- 4) сбор сведений о перевозках, осуществляемых другими видами транспорта, для решения вопросов координации их работы с автомобильным транспортом;
- 5) изучение работы автотранспортных предприятий и сбор показателей, характеризующих технико-эксплуатационные показатели работы автомобильного транспорта: изучение данных непосредственного учета движения автомобилей на дорогах, проводимого дорожно-эксплуатационной службой;
- 6) сбор сведений о приросте сети автомобильных дорог за ряд лет, ежегодных капитальных вложениях в строительство и реконструкцию автомобильных дорог;
- 7) сбор данных в органах ДПС о дорожно-транспортных происшествиях;
- 8) получение материалов для определения хозяйственных потерь в условиях существующего состояния сети автомобильных дорог.

*При разработке схем развития сети автомобильных дорог* районом изысканий является вся административно-территориальная единица – республика, область или район.

*В период изысканий* изучению подлежат:

- 1) все виды транспорта и их взаимодействие;
- 2) размещение и перспективы развития железных дорог, водного, воздушного и трубопроводного транспорта;
- 3) размещение городов и населенных пунктов, численность и перспективы роста населения;
- 4) размещение и перспективы освоения природных ресурсов;
- 5) специализация, производственные связи и перспективы развития всех отраслей народного хозяйства, как в сфере производства, так и в сфере обслуживания населения.

Изучение всех указанных выше вопросов должно быть подчинено последующему решению *основной задачи*: наиболее полному учету грузо-, пассажиропотоков и транспортных святой, подлежащих обслуживанию автомобильным транспортом.

*Результатом экономических изысканий* является определение грузовых и пассажирских перевозок за отчетный год и на перспективу. Рассчитанные объемы перевозок грузов и пассажиров за отчетный год и на расчетные сроки подлежат согласованию с местными плановыми органами.

*Завершающим этапом экономических изысканий* является систематизация и первичная обработка полевых материалов для экономического проектирования.

### 23.5. Экономическое проектирование

*Задачами экономического проектирования* являются:

- 1) оценка состояния сети дорог региона;
- 2) расчет объемов и направлений внегородских автомобильных перевозок грузов и пассажиров;
- 3) расчет интенсивности движения на дорожной сети на расчетные сроки;
- 4) определение экономически целесообразной конфигурации сети дорог и ее технического состояния;
- 5) разработка рекомендаций по развитию сети и определение экономической эффективности капитальных вложений.

*Для оценки состояния сети дорог* региона используют следующие показатели:

- 1) обслуживаемость городов и населенных пунктов;
- 2) плотность сети;
- 3) протяженность дорог с твердым покрытием по отношению к общей протяженности сети;
- 4) количество автомобилей, приходящихся на 1 км дороги.

При анализе *обслуживаемости* городов и населенных пунктов автомобильными дорогами исходят из того, что города с населением свыше 50 тыс. чел. должны быть соединены дорогами республиканского значения, а другие населенные пункты – дорогами с твердым покрытием.

*Плотность сети* показывает насыщение территории региона автомобильными дорогами. При оценке этого показателя следует иметь в виду, что недостаточная плотность сети приводит к неоправданным перепробегам автомобилей и увеличению транспортной работы на сети. *Отношение протяженности дорог с твердым покрытием* к общей протяженности сети характеризует возможность круглогодичного проезда к населенным пунктам и необходимость проведения работ по совершенствованию грунтовых дорог.

Количество автомобилей, приходящихся на 1 км дороги, косвенно характеризует возможную **плотность потока на сети дорог**.

Оценка состояния сети дорог региона *завершается анализом соответствия технического уровня дорог* размерам интенсивности движения.

*На основе грузо-, пассажиронапряженности* рассчитывают *интенсивность движения автомобилей на расчетный срок* для каждого варианта развития сети дорог. Затем *сравнивают варианты* и для выбранного варианта разрабатывают рекомендации по развитию дорожной сети, определяют капитальные вложения в строительство и реконструкцию автомобильных дорог и рассчитывают их эффективность.

При разработке схемы развития сети дорог региона возникает необходимость в определении **ряда показателей**, характеризующих работу автомобильных дорог.

**1. Объем перевозок.** Внегородские автомобильные перевозки грузов и пассажиров на сети дорог определяют на основе материалов экономических изысканий. Объемы внегородских перевозок составляют от общего объема перевозок: по грузам 8-12%, по пассажирам 6-10%. При расчете объемов грузовых и пассажирских перевозок может использоваться *показатель*, выражающий отношение числа пассажиров, перевезенных автобусами общего пользования, к объему грузов, перевезенных автомобильным транспортом народного хозяйства (пасс/т). Этот показатель равен: в целом по Беларуси – 1,6; для городов областного подчинения – 2,1; городов районного подчинения – 1,6; поселков городского типа – 1,7 и сельских населенных пунктов – 0,3.



**2. Грузо- и пассажиронапряженность.** Количество грузов и пассажиров, следующих в обоих направлениях за год, определяется отношением грузо-, пассажирооборота  $\Gamma$  к протяженности сети дорог  $L$ :  $Q=\Gamma/L$ .

Грузо- и пассажирооборот определяется как произведение объема грузовых и пассажирских перевозок  $Q$  на среднюю дальность перевозок 1 т груза и 1 пассажира соответственно или произведением средней грузо-, пассажиронапряженности  $Q$  на протяженность сети  $L$ :  $\Gamma=Q \cdot l$ ;  $\Gamma=Q \cdot L$ .

Грузооборот, выполняемый на сети дорог республики, примерно составляет 70-75%, а пассажирооборот – 50-55% от общих показателей грузо- и пассажирооборота по всем видам транспорта.

**Среднее расстояние перевозки  $l$**  характеризует расстояние, на которое перевозится 1 т груза или 1 пассажир, и определяется как отношение грузооборота к объему перевозок.

На объемы грузовых и пассажирских перевозок существенное влияние оказывают коэффициент повторности и подвижность населения. **Коэффициент повторности грузовых перевозок** определяется как отношение объема перевозок грузов автомобильным транспортом к общему объему произведенной продукции, подлежащей перевозке автомобильным транспортом. **Подвижность населения** представляет собой количество поездок на 1 жителя в год и определяется отношением объема пассажирских перевозок к численности населения.

Соотношение объемов перевозок и грузо-, пассажирооборота, выполненного в пределах городов и на сети дорог, приведено в табл. 23.2, 23.3.

Таблица 23.2. Распределение объема перевозок, грузо-, пассажирооборота и транспортной работы (%)

Типы автомобилей	Всего			В пределах городов			На сети дорог		
	объем перевозок	грузо- и пассажирооборот	транспортная работа	объем перевозок	грузо- и пассажирооборот	транспортная работа	объем перевозок	грузо- и пассажирооборот	транспортная работа
Грузовые	100	100	100	70	21	30	30	70	70
Пассажирские	100	100	100	86	67	66	14	37	34
В том числе:									
легковые	20	32	80	17	20	53	3	12	27
автобусы	80	68	20	69	43	13	11	25	7

Таблица 23.3. Распределение состава движения по типам автомобилей (%)

Типы автомобилей	Всего	В пределах городов	На сети загородных дорог
Существующее положение			
Грузовые	51	32	68
Легковые	40	58	23
Автобусы	9	10	9
Итого	100	100	100
Перспектива на 10 лет			
Грузовые	40	28	50
Легковые	51	62	48
Автобусы	9	10	7
Итого	100	100	100

**3. Интенсивность движения автомобилей.** Это показатель, характеризующий количество автомобилей, проходящих по дороге или перегону в обоих направлениях за единицу времени (сутки, час). Интенсивность движения является основным расчетным показателем для установления категории дорог. Интенсивность движения рассчитывают для каждого укрупненного перегона проектируемой сети дорог исходя из размеров грузо- и пассажиронапряженности отдельных перегонов, состава движения автомобилей и показателей их работы.

Среднегодовую суточную интенсивность движения автомобилей устанавливают на основе данных о размерах грузо-, пассажиронапряженности и структуре автомобильного парка, выявленных в результате проведения экономических изысканий

$$N_{cc} = \frac{Q \cdot K}{D \cdot q_{cp} \cdot \beta \cdot \gamma}, \quad (23.1)$$

где  $Q$  – грузонапряженность перегона, т·км/ км, или пассажиронапряженность перегона для автобусов и легковых автомобилей, пасс·км/км;  $K$  – коэффициент, учитывающий наличие в составе движения грузовых и легковых автомобилей, не перевозящих грузы или пассажиров (специальные и т. п.), ориентировочно принимаемый равным 1,15-1,25;  $D$  – число дней в году (365);  $q_{cp}$  – средняя грузоподъемность грузовых автомобилей, т, или средняя вместимость автобусов или легковых автомобилей, пасс;  $\beta$  – коэффициент использования пробега;  $\gamma$  – коэффициент использования грузоподъемности (или  $\gamma_n$  – коэффициент использования вместимости для автобусов или легковых автомобилей).

В формуле (23.1) произведение  $q_{cp} \cdot \beta \cdot \gamma$  представляет собой производительность автомобилей на 1 км пробега (для грузовых автомобилей в среднем составляет 3,7 т/км, для автобусов – 22 пасс/км и легковых автомобилей – 2,1 пасс/км) (табл. 23.4).

Таблица 23.4. Техничко-эксплуатационные показатели работы автомобильного транспорта

Категория дороги	Грузовые автомобили					Легковые автомобили					Автобусы				
	$q_{cp}$ , т	$\beta$	$\gamma$	$K$	$\Pi$ , т/км в год	$q_{cp}$ , т	$\beta$	$\gamma$	$K$	$\Pi$ , т/км в год	$q_{cp}$ , т	$\beta$	$\gamma$	$K$	$\Pi$ , т/км в год
I	6,8	0,65	0,93	0,80	1200	4	0,6	0,9	0,76	600	40	0,92	0,65	0,75	6500
II	6,2	0,62	0,90	0,75	950	4	0,57	0,9	0,75	560	35	0,9	0,67	0,78	6000
III	5,8	0,60	0,87	0,70	770	4	0,55	0,9	0,74	530	30	0,9	0,70	0,81	5600
IV	5,4	0,55	0,83	0,65	580	4	0,52	0,9	0,72	490	25	0,9	0,72	0,85	5000
V	5,0	0,5	0,80	0,60	440	4	0,50	0,9	0,70	460	20	0,9	0,75	0,90	4400

Производительность автомобиля на 1 км пробега в год (т/км в год, пасс/км в год)

$$\Pi = D \cdot q \cdot \beta \cdot \gamma \cdot K. \quad (23.2)$$

Среднегодовую суточную интенсивность движения автомобилей используют только для экономических расчетов при сравнении вариантов и определении эффективности капитальных вложений.

Для назначения категории дороги, определения геометрических элементов и конструкции дорожной одежды используют показатель расчетной интенсивности движения.

Расчетная интенсивность движения связана со среднегодовой суточной зависимостью

$$N_p = N_{cc} \cdot K_{общ}, \quad (23.3)$$

где  $N_{cc}$  – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт/сут;  $K_{общ}$  – обобщенный коэффициент, учитывающий среднюю грузоподъемность грузовых автомобилей и их долю в транспортном потоке, неравномерность движения по месяцам года и часам суток, рельеф местности и расстояние между развязками движения.

Исследованиями установлено, что значение  $K_{общ}$  на перспективу находится в пределах 1,5-1,6 и подлежит уточнению на последующих стадиях проектирования (ТЭО).

Перспективную среднегодовую суточную интенсивность движения определяют по данным экономических изысканий. При отсутствии необходимых сведений о грузо- пассажиропотоках среднегодовую суточную интенсивность движения можно определить как

$$N_{cc} = N_0 (1 + \alpha)^t, \quad (23.4)$$

где  $N_0$  – существующая среднегодовая суточная интенсивность движения автомобилей, определяемая по данным непосредственного учета движения, авт/сут;  $\alpha$  – коэффициент ежегодного прироста движения (в среднем равный 0,05-0,07);  $t$  – число лет расчетного периода.

Перспективную среднегодовую суточную интенсивность движения можно определять отдельно для грузовых автомобилей, легковых автомобилей и автобусов с использованием соответствующих коэффициентов ежегодного прироста. Для нахождения перспективной интенсивности движения, кроме формулы (23.4), могут применяться и другие зависимости, отражающие характер изменения интенсивности движения во времени.

Состав движения в отчетном году устанавливают по данным учета движения, проводимого дорожно-эксплуатационной службой либо проектной организацией. На перспективу следует принимать следующий состав движения: на дорогах международного значения (М) – грузовые автомобили – 42%, легковые автомобили – 50% и автобусы – 8%; на дорогах



республиканского значения (Р) – соответственно – 54, 40 и 6%, на дорогах местного значения соответственно – 60%, 36% и 4%.

Приведенные показатели являются осредненными и требуют уточнения в зависимости от региона разрабатываемой схемы.

Расчеты перспективной среднегодовой суточной интенсивности движения завершаются построением **эпюры интенсивности движения** при сохранении существующей конфигурации сети автомобильных дорог. Перспективная интенсивность движения сопоставляется с техническим уровнем сети автомобильных дорог и делается вывод о необходимых мероприятиях по развитию сети.

Среднюю грузоподъемность грузовых автомобилей и среднюю вместимость автобусом и легковых автомобилей в отчетном году также устанавливают по данным непосредственного учета движения. *На перспективу среднюю грузоподъемность грузового автомобиля следует принимать:* на дорогах международного значения 6,5-7,0 т, на дорогах республиканского значения – 5,5-6,0 т и местного значения – 4,0-5,0 т.

Вместимость автобусов составляет на дорогах международного значения 40 чел., республиканского и местного значения – соответственно 35 и 25 чел. Вместимость легковых автомобилей на всех дорогах принимается равной 4-5 чел.

Разработка рекомендаций по строительству и реконструкции сети производится с учетом перспективного изменения административной классификации отдельных дорог.

**4. Варианты развития сети дорог.** При установлении несоответствия конфигурации и технического уровня сети дорог перспективным транспортным связям и размерам интенсивности движения намечают варианты развития сети автомобильных дорог региона.

*Варианты развития сети назначают:*

- с максимальным использованием существующих направлений дорог;
- с учетом размещения грузообразующих точек;
- с учетом мощности транспортных связей и их экономического значения.

*При назначении вариантов руководящими являются следующие **принципы**:*

- 1) создание условий для реализации перспективных транспортных связей с наибольшей эффективностью;
- 2) достижение одинакового уровня обслуживаемости городов и населенных пунктов сетью автомобильных дорог;
- 3) обеспечение одинакового уровня удобства движения;
- 4) развития отдельных направлений за счет реконструкции существующих дорог;
- 5) учет требований по охране окружающей среды.

Разрабатываемые варианты должны предусматривать освоение одинакового объема перевозок грузов и пассажиров.

Назначенные в соответствии с выработанными принципами варианты *подлежат сравнению* для выбора экономически наиболее целесообразного. Варианты сравнивают по минимуму приведенных затрат

$$P_{np} = K \cdot E_n + T_p, \quad (23.5)$$

где  $K$  – капитальные вложения за расчетный период, у.е.;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности ( $\approx 0,12$ );  $T_p$  – текущие затраты расчетного года, у.е..

**5. Капитальные вложения.** В составе капитальных затрат на стадии схемы учитывают:

- капитальные вложения на строительство и реконструкцию сети дорог  $K_d$ ;
- капитальные вложения в подвижной состав и предприятия автомобильного транспорта  $K_a$ .

Капитальные вложения в строительство и реконструкцию дорог по отдельным крупным элементам определяют в зависимости от категории дорог, рельефа местности, трудоемкости строительства по укрупненным показателям или аналогам (табл. 23.5-23.8).

*Капитальные вложения в подвижной состав* автомобильного транспорта, необходимый для выполнения установленного на какой-либо год объема перевозок, равен

$$K_a = A \cdot C / L_{cc}, \quad (23.6)$$

где  $A$  – транспортная работа на сети дорог, авт-км/сут;  $C$  – капитальные вложения в 1 автомобиль с учетом затрат на предприятия автомобильного транспорта, у.е.;  $L_{cc}$  – среднесуточный пробег 1 автомобиля (км) определяется как

$$L_{cc} = V_{\Pi} \cdot t_{ос}, \quad (23.7)$$

$V_{\Pi}$  – скорость потока автомобилей, км/ч (табл. 23.9);  $t_{ос}$  – время движения, ч/сут.

Капитальные вложения в подвижной состав определяют отдельно для грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей (табл. 23.10).

Таблица 23.5. Средняя стоимость строительства 1 км автомобильных дорог

Категория дороги	Число полос движения	Стоимость, тыс. у.е.	Категория дороги	Число полос движения	Стоимость, тыс. у.е.
I	6	1600	III	2	350
I	4	1100	IV	2	200
II	2	650	V	1	80

**Примечания.** 1. В таблице приведены стоимости строительства автомобильных дорог различных категорий в первой категории рельефа. Они не включают затраты на строительство титульных мостов и сложных пересечений в разных уровнях. 2. Для определения стоимости строительства в пересеченном рельефе показатели таблицы следует увеличить в 1,25-1,3 раза, и горном рельефе – в 1,8-2,4 раза. 3. Средние стоимости строительства дорог, расположенных вблизи городов, с населением до 500 тыс. чел., следует увеличивать в 1,2 раза, до 1 млн. – в 1,4 раза, до 2 млн. чел. – в 1,8 раза.

Таблица 23.6. Средняя стоимость реконструкции 1 км автомобильных дорог (тыс. у.е.)

Категории дорог до реконструкции	Категории дорог после реконструкции			
	I	II	III	IV
V	1150	700	400	250
IV	900	550	300	–
III	700	400	–	–
II	600	–	–	–

**Примечание.** В таблице приведены стоимости реконструкции автомобильных дорог различных категорий в первой категории рельефа. Для определения стоимости реконструкции в пересеченной и горной местностях приведенные данные следует увеличивать соответственно в 1,15 и 1,8 раза.

Таблица 23.7. Средняя стоимость строительства мостов длиной более 100 м без подходов

Наибольший судоходный пролет, м	Стоимость 1 м <sup>2</sup> , тыс. у.е.	Наибольший судоходный пролет, м	Стоимость 1 м <sup>2</sup> , тыс. у.е.
20	0,50	60	0,77
30	0,56	80	0,95
40	0,64	100	1,20

**Примечания.** 1. Стоимость строительства моста в зависимости от сложности регуляционных сооружений может быть увеличена в 1,2-1,3 раза. 2. Ориентировочную стоимость деревянных мостов можно принимать в размере 100 у.е./м<sup>2</sup>, наплавных – 1100 у.е./м.

Таблица 23.8. Средняя стоимость строительства пересечения в разных уровнях по типу «клеверный лист» (млн. у.е.)

Категория основной дороги	Категория пересекаемой дороги		
	I	II	III
I	4,0	2,9	2,3
II	2,9	1,7	1,6
III	2,3	1,6	1,25

**Примечание.** Стоимость строительства развязок типа «неполный клеверный лист» и «труба» составляют соответственно 0,8-0,7 и 0,4-0,5 стоимости пересечений по типу «полный клеверный лист»

Таблица 23.9. Скорость потока автомобилей на различных категориях дорог

Категория дороги	Расчетная скорость, км/ч	Скорость потока автомобилей, км/ч			
		грузовых	легковых	автобусов	средняя
I	150	60	100	80	80
II	120	38	50	40	44
III	100	35	46	37	40
IV	80	32	41	34	36
V	60	24	31	28	27

**Примечание.** Скорости потока автомобилей указаны для экономически целесообразного коэффициента загрузки дорог движением применительно к составу потока, приведенному в табл. 23.3.



Таблица 23.10. Примерные удельные капитальные вложения в подвижной состав автомобильного транспорта (тыс. у.е.)

Типы автомобилей	Приобретение автомобилей	Предприятия автомобильного транспорта	Всего
Грузовые грузоподъемностью, т:			
до 2	2,8	3,0	5,8
2,1-5,0	4,5	5,0	9,5
5,1-8,0	10,0	8,0	18,0
8,1-12,0	14,0	10,0	24,0
свыше 12	16,0	12,0	28,0
Автобусы вместимостью:			
малой	3,5	6,0	9,5
средней	8,0	12,0	20,0
большой	15,0	18,0	33,0
Легковые:			
ведомственные	4,0	9,0	13,0
индивидуальные	7,0	–	7,0

В структуре капитальных вложений основное место занимают капитальные вложения в строительство и реконструкцию сети дорог (60-80%). В зависимости от специфики развития производительных сил и размещения населения региона в составе капитальных вложений могут участвовать и другие затраты.

**6. Текущие затраты.** В состав текущих расходов на стадии схемы следует учитывать:

- ежегодные затраты на осуществление грузовых и пассажирских перевозок;
- ежегодные дорожно-эксплуатационные расходы.

Ежегодные затраты на перевозку грузов и пассажиров

$$T = A \cdot S, \quad (23.8)$$

где  $A$  – транспортная работа, авт-км/год;  $S$  – себестоимость 1 авт-км, включающая транспортную и дорожную составляющую, у.е..

Транспортную работу и себестоимость 1 авт-км рассчитывают отдельно для грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей. *Транспортную работу* для каждого типа автомобиля определяют как произведение интенсивности движения на перегоне на его протяжение.

Себестоимость 1 авт-км для дорог различных категорий, уровня загрузки дорог движением, грузоподъемностей автомобилей приведены в табл. 23.11-23.16.

Таблица 23.11. Экономические показатели работы автомобилей

Показатели	Типы автомобилей		
	грузовые	легковые	автобусы
Расход топлива на 100 км пробега, л	22	8,5	35
Расход топлива, л, на:			
1 т-км (1 пасс-км)	0,06	0,045	0,018
1 т-ч (1 пасс-ч)	3,6	4,5	1,4
1 авт-км	0,22	0,085	0,36
1 авт-ч	13,2	8,5	28,0
Себестоимость, центов USA:			
1 т-км (1 пасс-км)	4,4	2,0	1,1
1 т-ч (1 пасс-ч)	264	200	88,0
1 авт-км	18,0	4,2	26,4
1 авт-ч	1080	420	2110
Скорость потока автомобилей, км/ч	60	100	80
Производительность автомобиля на 1 км пробега, т (пасс)	4,1	2,1	24

*Примечание.* Показатели рассчитаны для дорог I категории в равнинной местности при экономически целесообразном коэффициенте загрузки дорог движением.

Таблица 23.12. Себестоимость перевозок в зависимости от грузоподъемности автомобиля

Показатели	Грузоподъемность автомобиля				
	до 2,0 т	2,1-5,0 т	5,1-8,0 т	8,1-12,0 т	свыше 12 т
Переменные расходы, цент./авт-км	5	9	13,2	19	25
Постоянные расходы, цент./авт-ч	163	217	288	348	440
Скорость потока, км/ч	65	62	60	58	55
Производительность автомобиля на 1 км пробега, т	0,6	1,8	4,1	6,3	8,9
Себестоимость перевозок, центов США:					
1 т-км	12,5	6,9	4,4	4,0	3,7
1 авт-км	7,5	12,5	18	25	33
1 авт-ч	480	770	1080	1450	1810

Примечание. Значения показателей рассчитаны для I категории дороги при экономически целесообразном коэффициенте загрузки дороги движением.

Таблица 23.13. Себестоимость автомобильных перевозок в зависимости от коэффициента загрузки дороги движением (цент./авт-км)

Расчетная скорость, км/ч	Число полос движения	Коэффициенты загрузки дороги движением					
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0
150	4	8	5,2	4,2	4,9	8	10,8
120	4	9	6,3	4,8	5,8	9	12
120	2	11,5	7,8	6,0	7,2	11,5	16
100	2	13,5	9,8	7,0	8,7	13,5	18
80	2	17	11,5	8,0	10,3	17,0	21
60	1	20	13,4	10,0	12,8	20	25

Примечание. Себестоимость указана для легковых автомобилей.

Таблица 23.14. Относительная зависимость себестоимости перевозок от средней дальности поездки

Типы автомобилей	Средняя дальность поездки, км				
	до 10	10-20	20-50	50-100	свыше 100
Грузовые	1,7	1,3	1,0	0,80	0,70
Легковые	1,3	1,2	1,0	0,95	0,90
Автобусы	1,4	1,2	1,0	0,85	0,80

Таблица 23.15. Относительная зависимость себестоимости автомобильных перевозок от высоты над уровнем Балтийского моря

Типы автомобилей	Высота над уровнем Балтийского моря, м			
	0-500	500-1000	1000-2000	2000-3000
Грузовые	1,0	1,05	1,15	1,25
Легковые	1,0	1,02	1,10	1,15
Автобусы	1,0	1,04	1,13	1,20

Таблица 23.16. Себестоимость перевозок по категориям дорог

Категория дорог	Себестоимость пробега, цент./авт-км				Себестоимость перевозок, цент/(т-км); цент./(пасс-км)		
	Грузовые	Легковые	Автобусы	Средняя	Грузовые	Легковые	Автобусы
<i>Транспортная составляющая</i>							
I	18,0	4,2	26,4	11,9	4,4	2,0	1,1
II	23,4	6,0	29,0	15,4	6,7	3,0	1,4
III	25,2	7,0	31,7	17,3	8,4	3,5	1,7
IV	27,0	8,0	34,3	20,1	10,8	4,3	2,1
V	32,0	10,0	37,0	25,4	16,0	5,6	2,8
<i>Дорожная составляющая</i>							
I	0,8	0,3	1,1	0,6	0,2	0,1	0,1
II	1,9	0,6	2,2	1,3	0,5	0,3	0,1
III	3,7	1,5	4,6	2,8	1,2	0,8	0,2
IV	8,9	4,0	10,1	7,1	3,6	2,1	0,6
V	24,7	12,4	30,9	21,0	12,4	6,9	2,4
<i>Полная себестоимость</i>							
I	18,8	4,5	27,5	12,5	4,6	2,1	1,2
II	25,3	6,6	31,2	18,3	7,2	3,3	1,5
III	28,9	8,5	36,3	23,9	9,6	4,3	1,9
IV	35,9	12,0	44,4	34,3	14,4	6,4	2,7
V	56,7	22,4	57,9	46,4	28,4	12,5	5,2



Транспортная составляющая себестоимости перевозок для конкретных условий

$$S_T = \frac{C_{пост}}{V_{п}} + C_{пер}, \quad (23.9)$$

где  $C_{пост}$  – постоянные расходы, не зависящие от движения (зарплата водителей, накладные расходы и т. д.), у.е.;  $C_{пер}$  – расходы, зависящие от движения (топливо, износ шин, амортизация подвижного состава, техническое обслуживание и т. д.), у.е.;  $V_{п}$  – скорость потока, км/ч.

Значения постоянных и переменных затрат приводятся в табл. 23.12.

Дорожная составляющая себестоимости

$$S_{д} = \frac{C_{кр} + C_{ср} + C_{тр} + C_e}{A}, \quad (8.10)$$

где  $C_{кр}$ ,  $C_{ср}$ ,  $C_{тр}$ ,  $C_e$  – ежегодные затраты на проведение соответственно капитального, среднего, текущего ремонтов и содержание дорог, руб.;  $A$  – транспортная работа, авт-км/год.

Воздействие различных типов автомобилей на дорожную одежду неодинаково. Поэтому ежегодные дорожно-эксплуатационные затраты следует рассматривать в зависимости от состава транспортного потока. Нормативы ежегодных затрат на проведение ремонта и содержание дорог приводятся в табл. 23.17.

Таблица 23.17. Удельные дорожно-эксплуатационные затраты

Категория дороги	Ежегодные затраты, тыс. у.е. / км				Итого
	на реновацию	на капитальный ремонт	на средний ремонт	на текущий ремонт и содержание	
I	18,3	5,4	2,1	2,2	28,0
II	14,4	5,3	2,0	2,0	23,7
III	11,7	5,0	2,0	1,5	20,2
IV	8,3	4,4	1,9	1,0	15,6
V	4,0	2,0	1,0	0,5	7,5

Транспортная составляющая себестоимости на дорогах высоких категорий (I-III) достигает 95- 97%, а на дорогах низких категорий (IV-V) – 40-50%.

Учет переменных во времени текущих затрат требует их суммирования за весь период и приведения к базисному году. Период суммирования текущих затрат принимается равным 35 годам, так как дальнейшее увеличение этого срока практически не влияет на конечные результаты расчета. Приведение к базисному году для затрат последующих лет осуществляется коэффициентом отдаленности затрат

$$\eta = \frac{1}{(1 + E_{ин})^t}, \quad (23.11)$$

где  $E_{ин}$  – норматив приведения разновременных затрат (0,08);  $t$  – год проведения затрат по отношению к базисному, лет. Для базисного года  $t$  принимается равным нулю.

Таким образом, формула приведенных затрат для сравнения вариантов с учетом коэффициентов отдаленности имеет вид

$$P_{пр} = K \cdot E_n + E_{ин} \sum_1^t \frac{T_i}{(1 + E_{ин})^t}, \quad (23.12)$$

где  $K$  – капитальные вложения в строительство и реконструкцию дорог и подвижной состав автомобильного транспорта, у.е.;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности (0,12);

$E_{ин} \sum_1^t \frac{T_i}{(1 + E_{ин})^t}$  – текущие затраты расчетного года эксплуатации, у.е.;  $t$  – срок суммирования затрат (35 лет);  $T_i$  – текущие расходы  $i$ -го года.

За расчетный год эксплуатации принимается год, текущие затраты которого равны

$$T_p = E_{ин} \sum_1^t \frac{T_i}{(1 + E_{ин})^t}. \quad (23.13)$$

Текущие затраты наиболее часто изменяются по одной из следующих закономерностей:

– по линейному закону

$$T_t = T_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t); \quad (23.14)$$

– по закону сложных процентов

$$T_t = T_0 \cdot (1 + \alpha)^t; \quad (23.15)$$

– по показательной функции

$$T_t = T_0 \cdot e^{\alpha t}. \quad (23.16)$$

В формулах (23.14)-(23.16):  $T_0$  – текущие затраты базисного года, у.е.;  $\alpha$  – коэффициент ежегодного прироста затрат;  $e$  – основание натурального логарифма.

Расчетный год устанавливается в зависимости от коэффициента ежегодного прироста текущих затрат и закономерности их изменения во времени.

Приведенные затраты по формуле (23.12) определяют для каждого варианта. Для дальнейших проработок выбирают вариант, имеющий наименьшие приведенные затраты. Эффективность капитальных вложений для реализации рекомендаций схемы развития сети дорог определяется только для выбранного варианта.

**7. Эффективность капитальных вложений.** Эффективность строительства и реконструкции сети автомобильных дорог оценивают путем сопоставления условий, возникающих в результате реализации рекомендаций, разработанных в схеме, и условий сохранения существующего положения на перспективу.

Экономический эффект определяют разностью текущих затрат при сохранении существующего положения на перспективу и при условии реализации рекомендаций схемы и капитальных вложений в строительство и реконструкцию дорог.

Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений

$$E = \frac{T_p^{(сущ)} - T_p^{(пр)}}{K - \Delta K_a}, \quad (23.17)$$

где  $T_p^{(сущ)}$  и  $T_p^{(пр)}$  – соответственно текущие затраты расчетного года при сохранении существующего положения на перспективу и при условии реализации мероприятий схемы, определяемые по формуле (23.13), у.е.;  $K$  – капитальные вложения в строительство и реконструкцию дорог, у.е.;  $\Delta K_a$  – разность капитальных вложений в подвижной состав автомобильного транспорта при сохранении существующего положения на перспективу и при условии реализации мероприятий схемы, у.е..

**Капитальные вложения в строительство и реконструкцию дорог, определенные в схеме, считаются эффективными, если срок их окупаемости меньше нормативного.**

В схеме развития сети дорог региона также:

- 1) определяют эффективность капитальных вложений в строительство и реконструкцию отдельных титулов;
- 2) составляют перечень автомобильных дорог в порядке убывания коэффициентов эффективности;
- 3) выбирают объекты, подлежащие строительству и реконструкции в первые 10 лет, количество которых зависит от лимитов капитальных вложений в дорожное строительство;
- 4) на объекты, работы по которым запланированы в первые 10 лет, составляют обосновывающие материалы – технико-экономические характеристики.

Технико-экономические характеристики включают:

- 1) краткие перечни показателей, влияющих на проектные решения;
- 2) участки дорог, подлежащие строительству и реконструкции по периодам, с указанием протяженности и капитальных вложений;
- 3) потребность в материалах, машинах и механизмах.

Технико-экономические характеристики служат основанием для включения объектов в план проектно-изыскательских работ для разработки проекта. В случае если объект является крупным и сложным, для него разрабатывается технико-экономическое обоснование (ТЭО).

## 23.6. Технико-экономическое обоснование (ТЭО)

*Технико-экономические обоснования (ТЭО)* разрабатывают по крупным и сложным объектам. *Объектом разработки ТЭО* являются автомобильные дороги на всем протяжении или участки дорог, имеющие самостоятельное транспортно-экономическое значение, а также крупные мостовые переходы.

Технико-экономическое обоснование является *предплановым и предпроектным документом*, дополняющим и развивающим решения, предусмотренные в схеме развития сети дорог.

ТЭО *должно включать материалы по сооружению*, имеющиеся в схеме, содержать обоснование эффективности применяемых технических решений, а также данные и показатели, необходимые для выдачи задания на проектирование.

*При разработке ТЭО необходимо:*

- 1) учитывать перспективы развития науки и техники в соответствии с комплексной программой научно-технического прогресса и предусматривать применение при строительстве и эксплуатации сооружений новейших достижений науки и техники и передового отечественного и зарубежного опыта;
- 2) обеспечивать высокую эффективность использования капитальных вложений и минимальные объемы строительно-монтажных работ на основе вариантной проработки;
- 3) предусматривать строительство автомобильных дорог, как правило, на полную мощность с выделением очередей с определением основных технико-экономических показателей;
- 4) использовать материалы схем районных планировок и проекты застройки городов и других населенных пунктов;
- 5) обеспечивать рациональное и экономное использование земель с учетом мероприятий по охране окружающей среды;
- 6) предусматривать комплексное решение вопросов строительства объектов производственного и социально-бытового назначения.

*Разработку ТЭО* осуществляют по заданиям организации-заказчика на основании плана работ по составлению технико-экономических обоснований строительства крупных и сложных предприятий и сооружений.

Срок разработки технико-экономических обоснований составляет для крупных и сложных объектов 1-2 года, для остальных объектов – до 1 года.

В ТЭО должны быть внесены необходимые изменения с последующим согласованием и утверждением их в порядке, установленном для вновь разрабатываемых ТЭО, если с момента утверждения ТЭО до начала разработки проекта прошло 2-3 года.

Стоимость разработки ТЭО составляет без инженерных изысканий около 30% стоимости разработки проекта. Стоимость инженерных изысканий определяется по ценам на изыскательские работы. Стоимость экономических изысканий составляет не более 10% стоимости разработки

Технико-экономическое обоснование должно состоять из следующих разделов:

### **А. Автомобильные дороги.**

Введение.

1. Транспортно-экономическая характеристика района тяготения автомобильной дороги.
2. Анализ современного состояния существующей дороги.
3. Природные условия строительства.
4. Обоснование транспортной мощности дороги.
5. Сравнение и выбор варианта.
6. Основные проектные решения по рекомендуемому варианту.
7. Очередность строительства.
8. Организация строительства.
9. Стоимость строительства.
10. Охрана окружающей среды.
11. Эффективность капитальных вложений.

Выводы.

Приложения.



## **Б. Мостовой переход.**

Введение.

1. Транспортно-экономическая характеристика района тяготения.
2. Анализ современного состояния существующего мостового перехода.
3. Природные условия строительства.
4. Обоснование мощности сооружения.
5. Сравнение и выбор варианта.
6. Основные проектные решения по рекомендуемому варианту.
7. Организация строительства.
8. Стоимость строительства.
9. Охрана окружающей среды.
10. Эффективность капитальных вложений.

Выводы.

Приложения.

### **23.7. Экономическое обоснование строительства**

*Задачами* экономического обоснования являются:

- 1) оценка существующего состояния автомобильной дороги или мостового перехода;
- 2) расчет перспективной интенсивности движения;
- 3) сравнение проектных решений;
- 4) определение капитальных вложений в строительство и реконструкцию объекта;
- 5) выделение очередности строительства;
- 6) расчет экономической эффективности капитальных вложений.

При разработке технико-экономических обоснований для правильного определения характера и объемов работ, а также очередности строительства следует руководствоваться следующими понятиями: *новое строительство и реконструкция*.

**К новому строительству** относится строительство автомобильной дороги или ее отдельных участков с комплексом сооружений, предусмотренных утвержденным и установленным порядком проектом, осуществляемое по новому направлению или при использовании существующей автомобильной дороги с твердым покрытием не более 50% ее протяженности, а также строительство нового моста, перехода или автодорожного тоннеля, осуществляемого по отдельному проекту.

**К реконструкции** существующей автомобильной дороги или ее отдельных участков с комплексом сооружений относится осуществляемое по единому проекту и связанное с ростом интенсивности движения переустройство действующей дороги с твердым покрытием при использовании существующей автомобильной дороги с твердым покрытием более 50% ее протяженности, а также моста, мостового перехода или автодорожного тоннеля, предусматривающее существенное повышение эксплуатационных показателей сооружения и безопасности движения.

**Расширение и техническое перевооружение автомобильных дорог не предусматривается.**

Существуют некоторые различия между экономическим обоснованием строительства дороги и мостового перехода. Рассмотрим более детально процесс экономического обоснования строительства этих сооружений.

#### **А. Автомобильная дорога.**

Для оценки существующего состояния автомобильной дороги используют технические, эксплуатационные и экономические показатели.

**Технические показатели** включают:

- характеристику геометрических элементов плана и профиля;
- тип покрытия и его состояние;
- прохождение в пределах населенных пунктов и т. п.

*Обобщающим показателем технического состояния автомобильной дороги является ее пропускная способность.*

Для оценки пропускной способности строят графики пропускной способности по регионам дороги.

Для оценки влияния сочетания элементов плана и профиля на безопасность движения строят графики коэффициентов безопасности, определяемых отношением скоростей на смежных участках при проезде одиночного расчетного автомобиля.

**К эксплуатационным показателям относятся:**

- интенсивность и состав движения;
- неравномерность движения сезонная и по часам суток;
- средняя грузоподъемность грузового автомобиля и средняя вместимость автобусов;
- скорости потока автомобилей по дороге;
- уровни загрузки и аварийности.

Интенсивность движения автомобилей по дороге, неравномерность движения сезонная и по часам суток, состав движения определяют по данным учета движения, проводимого дорожно-эксплуатационной службой, и контрольного учета движения. Примерный перспективный состав движения на сети дорог приводится в табл. 23.18.

Таблица 23.18. Перспективный состав движения на сети автомобильных дорог

Категория	Дороги международного значения			Дороги республиканского значения			Областные и местные дороги		
	Типы автомобилей								
	грузовые	легковые	автобусы	грузовые	легковые	автобусы	грузовые	легковые	автобусы
I	40	50	10	–	–	–	–	–	–
II	45	48	7	50	44	6	–	–	–
III	50	45	5	55	40	5	60	35	5
IV	–	–	–	58	37	4	63	33	4
V	–	–	–	–	–	–	65	31	4

Скорость потока автомобилей определяют построением графика изменения скоростей движения по перегонам дороги с использованием графика пропускной способности и уровня загрузки дороги движением или способом «следования за лидером». Аварийность автомобильной дороги оценивают путем сбора сведений о дорожно-транспортных происшествиях в органах ДПС и построением графика коэффициентов аварийности, характеризующих относительную аварийность участков дороги с неблагоприятными сочетаниями элементов плана, профиля и т. д., в зависимости от размеров движения.

**Экономическая оценка включает показатели:**

- балансовой стоимости дороги;
- дорожно-эксплуатационных расходов;
- себестоимости перевозок.

Балансовую стоимость дороги и ожидаемые затраты на капитальный, средний, текущий ремонт и содержание определяют по сведениям, полученным в ДЭУ и ДРСУ.

Себестоимость автомобильных перевозок по элементам затрат изучают по материалам статистической отчетности транспортных управлений и корректируют в зависимости от технического состояния дороги и размеров движения.

Анализ существующего состояния завершается оценкой соответствия технического состояния автомобильной дороги размерам движения по ней. Под оценкой соответствия следует понимать соответствие категории дороги, установленной при обследовании, категории, установленной по фактическим размерам движения. Соответствие технического состояния может быть оценено и по уровню загрузки дороги движением, экономически целесообразное значение которого принимается 0,55-0,60, а также по соотношению транспортных, дорожно-эксплуатационных расходов и капитальных вложений в автомобильную дорогу в существующих и эталонных условиях.

**Объемы перевозок.** Объемы перевозок группируют по городам и населенным пунктам, а также крупным грузо-, пассажирообразующим точкам (железнодорожные станции, речные порты, аэропорты и т. д.) и используют для назначения экономических перегонов.

На основе определенных в схеме транспортных потоков и в результате обработки дополнительно собранных в период изысканий сведений о грузовых и пассажирских перевозках рассчитывают транспортные связи в районе тяготения и составляют ведомости транспортных потоков на расчетные сроки. Транспортные потоки используют для расчетов объемов грузовых перевозок по видам грузов и зонам дальности, пассажирские – по видам сообщений и целям поездок.

Данные о транспортных потоках используют также для нахождения грузо-, пассажиронапряженности по перегонам дороги и подъездов к ней и для построения эпюры грузо-, пассажиронапряженности по направлению существующей дороги. При построении эпюры грузовые перевозки подразделяют по направлениям и видам грузов, а пассажирские – по целям поездок.

Работу дороги оценивают по грузо- и пассажирообороту, которые рассчитывают отдельно для автомобильной дороги и подъездов к ней. Грузо- и пассажирооборот определяют как произведение объема перевозок на среднюю дальность перевозки по дороге 1 т груза или 1 пассажира соответственно или средней грузо-, пассажиронапряженности дороги на ее протяжение.

**Интенсивность движения и назначение категории дороги.** Годовую среднесуточную интенсивность движения автомобилей по перегонам дороги на расчетные сроки определяют с использованием формулы (23.1), однако входящие в нее показатели устанавливают на основе детальных расчетов.

Грузонапряженность для грузовых автомобилей, пассажиронапряженность для автобусов и легковых автомобилей  $Q$  определяют по перегонам дороги (табл. 23.19), а также производят распределение грузов и пассажиров на пересечениях и примыканиях для расчета интенсивности движения на транспортных развязках.

Таблица 23.19. Грузо- и пассажиронапряженность по категориям дорог на перспективу

Категория дороги	Число полос движения	Грузонапряженность, млн. т·км/км в год	Пассажиронапряженность, млн. пасс·км/км в год		
			Итого	Легковые	Автобусы
I	8	свыше 19,2	свыше 26,2	свыше 13,2	свыше 13,0
I	6	9,6–19,2	13,2–26,2	6,6–13,2	6,5–13
I	4	3,7–9,6	4,7–13,2	2,1–6,6	2,6–6,5
II	2	1,4–3,7	1,7–4,7	0,8–2,1	0,9–2,6
III	2	0,4–1,4	0,5–1,7	0,2–0,8	0,3–0,9
IV	2	0,04–0,4	0,05–0,5	0,02–0,2	0,03–0,3
V	1	менее 0,04	менее 0,05	менее 0,02	менее 0,03

Среднюю грузоподъемность грузового автомобиля, среднюю вместимость автобусов и легковых автомобилей определяют с учетом состава потока транспортных средств

$$q_{cp} = q_1 \cdot n_1 + q_2 \cdot n_2 + \dots + q_n \cdot n_n, \quad (23.18)$$

где  $q_1, q_2, \dots, q_n$  – номинальная грузоподъемность (вместимость) различных марок автомобилей, входящих в состав потока;  $n_1, n_2, \dots, n_n$  – доля каждой из моделей автомобилей определенной грузоподъемности (вместимости) в составе потока.

*Среднегодовая суточная интенсивность движения* представляет собой количество автомобилей, прошедших по дороге в течение года, деленное на 365, и используется для расчетов экономической эффективности капитальных вложений в строительство или реконструкцию автомобильной дороги.

Среднегодовая суточная интенсивность движения может выражаться в физических или приведенных автомобилях. *Приведенная интенсивность* – это интенсивность движения потока автомобилей, приведенная к легковому автомобилю. Приведение осуществляется с использованием коэффициентов, значения которых даны в СНиП 2.05.02-85.

*Для назначения категории дорог и определения числа полос движения* используют суточную и часовую расчетную интенсивности движения, которые также могут выражаться в физических или приведенных автомобилях.

Расчетная часовая интенсивность движения для назначения категории дороги в приведенных автомобилях рассчитывается по формуле

$$N_v = N_p \cdot \alpha_v \cdot K_{np}, \quad (23.19)$$

где  $N_p$  – расчетная интенсивность движения, авт/сут (табл. 23.20);  $\alpha_v$  – доля автомобилей, проходящих в час «пик»;  $K_{np}$  – коэффициент приведения к легковому автомобилю.

При назначении категории дороги расчетную интенсивность движения определяют на 20 лет, считая с момента завершения разработки проекта автомобильной дороги.

*Интенсивность движения в час «пик»* – расчетная часовая – используется также для определения числа полос движения, геометрических параметров дороги, ее пропускной способности и установления степени безопасности движения.



Таблица 23.20. Расчетная интенсивность движения автомобилей

Категория дороги	Число полос движения	Расчетная интенсивность движения, авт/сут			
		Итого	Грузовые автомобили	Легковые автомобили	Автобусы
I	8	свыше 40 000	свыше 16000	свыше 22000	свыше 2000
I	6	20 000–40 000	8000–16000	11000–22 000	1000–2000
I	4	7 000–20 000	3100–8000	3500–11000	400–1000
II	2	3000–7000	1500–3100	1350–3500	150–400
III	2	1000–3000	550–1500	400–1350	50–150
IV	2	100–1000	60–550	35–400	5–50
V	1	менее 100	менее 60	менее 35	менее 5

Технико-эксплуатационные показатели работы дороги используют для сопоставления перспективной интенсивности движения с пропускной способностью дороги и установления года, когда пропускная способность будет полностью исчерпана.

**Сравнение и выбор варианта трассы автомобильной дороги.** Варианты трассы проектируемой дороги назначают на основе изучения объемов и направлений транспортных потоков в районе тяготения дороги.

*Направление трассы проектируемой дороги следует выбирать:*

- с учетом максимального обеспечения перевозок грузов и пассажиров при минимальной транспортной работе и времени сообщения;
- по возможности обходя ценные сельскохозяйственные угодья, исторические и культурные памятники, зоны отдыха и санатории;
- основываясь на сопоставлении вариантов с рассмотрением взаимосвязанных экономических, технических и экологических факторов.

*При назначении вариантов трассы руководствуются следующими основными принципами:*

- обеспечение одинакового объема перевозок грузов и пассажиров;
- достижение одинакового уровня обслуживания, безопасности и удобства движения;
- соответствие принимаемых решений передовым достижениям отечественной и зарубежной науки и техники;
- совпадение начальной и конечной точек для каждого рассматриваемого варианта.

*Одним из рассматриваемых вариантов в необходимых случаях должен быть вариант реконструкции существующей дороги.*

После назначения направлений трассы распределяют транспортные потоки по перегонам для каждого варианта. Интенсивность движения для каждого варианта находят с учетом распределения транспортных потоков между участками нового строительства и существующим.

*Для каждого варианта устанавливают:*

- протяженность дорог, принимаемых в расчет;
- перспективные категории дорог;
- транспортную работу дорог в районе тяготения;
- текущие затраты;
- капитальные вложения.

При сравнении вариантов принимают в расчет протяженность трассы по новому направлению, протяженность существующей дороги и других дорог в границах, обеспечивающих сопоставимость вариантов.

*Перспективную категорию устанавливают с учетом распределения интенсивности движения по участкам трассы нового строительства, существующей дороги и других дорог района тяготения.*

*Транспортную работу вычисляют отдельно для участков проектируемой дороги, существующей дороги и других дорог различных категорий по зависимости*

$$A = \sum_1^n N_n \cdot l_n + \sum_1^n N_c \cdot l_c + \sum_1^n N_n \cdot l_n, \quad (23.20)$$

где  $N_n$ ,  $N_c$ ,  $N_n$  – интенсивность на участках соответственно проектируемой, существующей и других дорог, авт/сут;  $l_n$ ,  $l_c$ ,  $l_n$  – протяженность участков проектируемой дороги, существующей и других дорог, км;  $n$  – количество участков различных категорий.

Транспортную работу по участкам определяют для каждого типа автомобиля.

**Капитальные вложения.** Капитальные вложения в строительство дороги для сравнения вариантов определяют по нормативам удельных капитальных вложений, укрупненным показателям или аналогам. Ориентировочно капитальные вложения в дорогу равны

$$K_{д} = C_{к} \cdot l, \quad (23.21)$$

где  $C_{к}$  – средняя стоимость строительства 1 км многополосной дороги, у.е.;  $l$  – протяженность перегона, км.

Значения средней стоимости 1 км дороги в зависимости от ее категории представлены в табл. 23.5-23.8.

Капитальные вложения в подвижной состав по типам автомобилей определяют с учетом затрат на производственную базу по формуле

$$K_{пс} = \frac{A}{V_{п} \cdot t} \cdot C, \quad (23.22)$$

где  $A$  – транспортная работа расчетного года, авт-км/сут;  $V_{п}$  – скорость транспортного потока, км/ч;  $t$  – время в движении, ч;  $C$  – средняя стоимость одного автомобиля с учетом затрат на производственную базу, у.е..

**Текущие затраты.** На стадии ТЭО текущие затраты определяют отдельно для грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей по участкам дорог различных категорий по зависимости

$$T_{р} = \sum_{i}^{n} D \cdot N_{сс} \cdot l \cdot S_{п}, \quad (23.23)$$

где  $D$  – число дней в году (365);  $N_{сс}$  – среднегодовая суточная интенсивность движения автомобилей, авт/сут;  $l$  – протяженность перегона, км;  $S_{п}$  – полная себестоимость автомобильных перевозок, сент.

Полная себестоимость автомобильных перевозок складывается из транспортной и дорожной составляющих, а также потерь от дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и

$$S_{п} = S_{т} + S_{д} + S_{дтп}, \quad (23.24)$$

где  $S_{т}$  – транспортная составляющая;  $S_{д}$  – дорожная составляющая;  $S_{дтп}$  – составляющая, учитывающая потери от ДТП.

Транспортную и дорожную составляющие определяют соответственно по формулам (23.9) и (23.10). Составляющая потеря от ДТП равна

$$S_{дтп} = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{D \cdot N_{сс} \cdot l}, \quad (23.25)$$

где  $C_i$ ,  $t_i$  – стоимость и количество  $i$ -го вида ДТП на дороге за расчетный год;  $D$  – число дней в году (365);  $l$  – протяженность дороги, км.

Себестоимость пробега автомобилей является важнейшим показателем работы дороги, который зависит от расчетных скоростей, числа полос и уровней загрузки дороги движением.

**Сравнение вариантов.** Варианты сравнивают по минимуму приведенных затрат

$$P_{пр} = E_{н} \cdot (K_{д} + K_{а}) + T_{р} \rightarrow \min, \quad (23.26)$$

где  $E_{н}$  – нормативный коэффициент эффективности (0,12);  $K_{д}$ ,  $K_{а}$  – капитальные вложения в строительство дороги и подвижной состав соответственно, у.е.;  $T_{р}$  – текущие затраты расчетного года, у.е..

Вариант, имеющий наименьшие приведенные затраты, рекомендуется для дальнейших проработок.

**Последовательность строительства.** Строительство автомобильной дороги по выбранному направлению должно, как правило, осуществляться по участкам. Для определения последовательности работ сравнивают участки по приведенным затратам. Приведенные затраты рассчитывают для всей дороги. Они включают капитальные вложения и текущие затраты одного из участков в проектных условиях и текущие затраты других участков при сохранении существующего положения. Такие расчеты выполняют для всех участков дороги.

**Очередность строительства.** Строительство дороги или отдельных участков может вестись по очередям. *Под очередностью строительства* следует понимать рассредоточение капитальных вложений во времени. В этом случае для обоснования очередности строительства производится выбор первоочередного участка по приведенным затратам с учетом фактора отдельности капитальных вложений и текущих затрат.

**Эффективность капитальных вложений.** Этот показатель определяют для рекомендуемого варианта (нового строительства, реконструкции существующей дороги и реконструкции других дорог района тяготения) с учетом последовательности и очередности строительства новой дороги.

Эффективность дорожного строительства оценивают путем сопоставления условий, возникающих в результате строительства дороги, и при сохранении существующего положения на перспективу. Экономический эффект определяется разностью соответствующих единовременных и текущих затрат для условий осуществления строительства и сохранения действующего положения.

В качестве количественного измерителя уровня эффективности капитальных вложений принимается **коэффициент экономической эффективности**, который рассчитывается как

$$E = \frac{T_p^{(суц)} - T_p^{(пр)}}{K_{пр} - K_{пр}^{(суц)}} \geq E_n \quad (23.27)$$

где  $T_p^{(суц)}$  и  $T_p^{(пр)}$  – приведенные текущие затраты расчетного года при сохранении существующего положения на перспективу и при строительстве дороги, у.е.;  $K_{пр}$  – приведенные капитальные вложения за период службы дороги, у.е..

*Капитальные вложения считаются эффективными, если коэффициент эффективности капитальных вложений больше нормативного  $E_n = 0,12$ .*

Расчетный год для определения текущих затрат при сохранении существующего положения на перспективу и при строительстве дороги определяют в зависимости от процента ежегодного прироста затрат. Текущие затраты при сохранении существующего положения на перспективу растут быстрее, чем при строительстве дороги. Поэтому расчетный год будет различным для соответствующих текущих затрат.

При расчете текущих затрат следует учитывать также затраты на перевозку грузов и пассажиров, включающие транспортную и дорожную составляющие, потери от дорожно-транспортных происшествий и потери в отраслях народного хозяйства, использующих автомобильный транспорт, при его работе на неблагоустроенной дороге. Потери в отраслях народного хозяйства могут достигать 25-30% транспортных расходов.

*Капитальные вложения состоят* из затрат на строительство и на реконструкцию рассматриваемой дороги и других дорог в районе тяготения, затрат на приобретение подвижного состава автомобильного транспорта и стоимости оборотных фондов народного хозяйства, соответствующих массе грузов круглогодичного производства и потребления, постоянно находящихся в транспортном процессе.

Капитальные вложения в строительство дороги по выбранному направлению определяют сметно-финансовым расчетом, а затраты на реконструкцию других дорог – по укрупненным показателям. При расчете стоимости строительства дороги следует учитывать потери народного хозяйства от изъятия сельскохозяйственных угодий.

Капитальные вложения в подвижной состав с учетом затрат на производственную базу определяют для условий сохранения существующего положения и при реализации проектных решений. Их рассчитывают за период службы дороги с учетом коэффициентов отдаленности.

Эффект от уменьшения стоимости оборотных фондов народного хозяйства, соответствующих массе грузов круглогодичного производства и потребления, постоянно находящихся в транспортном процессе, определяют как разность стоимости оборотных фондов при сохранении существующего положения на перспективу и при строительстве новой дороги.

В расчете экономической эффективности рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность капитальных вложений выбранного варианта трассы. В зависимости от специфики конкретного объекта в расчете могут быть рассмотрены и другие факторы, оказывающие значительное влияние на эффективность капитальных вложений.



## **Б. Мостовой переход.**

Для оценки существующего состояния мостового перехода также используют технические, эксплуатационные и экономические показатели.

**Технические показатели** включают:

- габариты;
- нагрузки;
- пропускную способность;
- схему моста;
- материал пролетного строения и опор, их состояние;
- геометрические элементы плана и профиля;
- тип покрытия на подходах.

Пропускную способность оценивают отдельно для моста и подходов. Для оценки влияния элементов плана и профиля на безопасность движения строят график коэффициентов безопасности.

**К эксплуатационным показателям** относятся:

- интенсивность и состав движения;
- осевые нагрузки;
- неравномерность движения сезонная и по часам суток;
- скорость потока автомобилей на мостовом переходе;
- уровни загрузки;
- задержки движения и аварийность.

Эксплуатационные показатели определяют аналогично методам, применяемым для автомобильных дорог, с использованием результатов хронометража, проведенного в период экономических изысканий.

**Экономическая оценка** включает показатели:

- балансовая стоимость моста и подходов;
- расходы, связанные с эксплуатацией и содержанием моста и подходов;
- себестоимость перевозок.

Анализ существующего состояния завершается оценкой соответствия пропускной и провозной способности моста по интенсивности движения и осевым нагрузкам.

**Объемы перевозок.** В результате обработки дополнительно собранных в период изысканий сведений о грузовых и пассажирских перевозках и на основе определенных в схеме транспортных потоков рассматривают транспортные связи в районе тяготения мостового перехода и составляют ведомости транспортных потоков на расчетные сроки, которые используют для расчетов объемов грузовых перевозок по видам грузов и зонам дальности, пассажирских – по видам сообщений и целям поездок. Данные о транспортных потоках используют для нахождения грузо-, пассажиронапряженности и интенсивности движения на мостовом переходе.

**Интенсивность движения.** Этот показатель определяют по формуле (23.1) на расчетные сроки. По интенсивности движения назначают категорию дороги, расчетную скорость и число полос движения. Как правило, следует предусматривать более высокий уровень удобств движения на мосту для обеспечения безопасности движения и создания резерва пропускной способности.

**Сравнение и выбор варианта мостового перехода.** Варианты размещения мостового перехода назначают на основе изучения объемов и направлений транспортных потоков в районе тяготения и с учетом особенностей природных и гидрологических условий.

**Местоположение мостового перехода** выбирают:

- с учетом максимального обеспечения перевозок грузов и пассажиров при минимальной транспортной работе и времени сообщения;
- основываясь на сопоставлении вариантов с рассмотрением взаимосвязанных экономических, технических, эстетических и экологических факторов.

При назначении вариантов мостового перехода следует руководствоваться следующими основными принципами:

- обеспечение одинакового объема перевозок грузов и пассажиров;
- достижение одинакового уровня обслуживания безопасности и удобства движения;
- соответствие применяемых конструкций и технологий передовым достижениям отечественной и зарубежной науки и техники.

После назначения вариантов производится распределение транспортных потоков и интенсивности движения по каждому варианту. Для каждого варианта необходимо определять: протяженность моста и подходов; перспективные категории моста и подходов; транспортную работу автомобильных дорог в районе тяготения с учетом переформирования дорожной сети; текущие затраты; капитальные вложения.

*Транспортную работу, текущие затраты и капитальные вложения определяют аналогично определению их для автомобильных дорог.*

Дополнительно при расчете текущих затрат при сохранении существующего положения на перспективу следует учитывать народнохозяйственные потери в связи с отсутствием регулярности движения по мостовому переходу (наплавному мосту, паромной переправе)

$$T_{\text{рес}} = \frac{Q \cdot C_c \cdot t_n^2 \cdot E_n}{288}, \quad (23.28)$$

где  $Q$  – количество грузов круглогодичного производства и потребления, перевозимых по мостовому переходу за год, т;  $C_c$  – средняя цена для 1 т грузов, находящихся в запасах из-за перерыва в движении, у.е.;  $t_n$  – продолжительность перерыва в сообщении, мес;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности.

Сравнение вариантов производят по минимуму приведенных затрат с использованием формулы (23.12).

Строительство мостового перехода может вестись по очередям с рассредоточением капитальных вложений во времени. Для обоснования очередности строительства производят сравнение по приведенным затратам с учетом фактора отдаленности капитальных вложений и текущих затрат.

Эффективность капитальных вложений рассчитывают по рекомендуемому варианту как отношение разности текущих затрат при сохранении существующего положения на перспективу и проектных условий к капитальным вложениям.

*При расчете текущих затрат при сохранении существующего положения мостового перехода следует учитывать:*

- транспортные расходы на дорогах в районе тяготения мостового перехода;
- затраты, связанные с задержками движения на мостовом переходе (паромной переправе);
- перерывы в сообщении вследствие сезонности работы (наплавной мост, паромная переправа);
- перепробеги автомобилей, связанные с отсутствием моста или недостаточной пропускной и провозной способностью;
- затраты на ежегодные ремонтные работы и содержание наплавного моста или паромной переправы.

При расчете эффективности капитальных вложений могут учитываться и другие специфические факторы, влияющие на величину капитальных вложений и текущих затрат.

## 24. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### 24.1. Геодезические опорные пункты

*Геодезические опорные сети* представляют систему точек на земной поверхности с известными координатами их планового и высотного положения. *Основными методами* построения плановых сетей являются триангуляция, трилатерация и полигонометрия. Для построения высотных геодезических сетей применяются методы геометрического, тригонометрического и барометрического нивелирования.

*Геодезические сети* разделяют на государственную геодезическую плановую сеть, геодезическую сеть сгущения и на съемочные сети.

*Государственная геодезическая плановая сеть* в Беларуси создается методом триангуляции определенной плотности и точности. Взамен ей могут создаваться сети равноценной плотности и точности других видов.

*Сети 1-го класса* образуют систему полигонов из звеньев триангуляции, располагаемых вдоль меридианов и параллелей. Длина звеньев не превышает 200 км. На концах базисных сторон (выходных) определены пункты Лапласа с установлением астрономических широт, долгот и азимутов. Координаты государственной геодезической сети Беларуси вычисляют в единой системе, основой которой является референц-эллипсоид Ф.Н. Красовского, а исходным пунктом – координаты Пулковской обсерватории.

*Геодезические сети сгущения* прокладываются для обоснования топографических съемок масштабов 1:5000-1:500 и инженерно-геодезических работ. При отсутствии таких сетей строят самостоятельные сети с последующей привязкой их к пунктам государственной геодезической опорной сети.

*Съемочные сети* являются непосредственной основой съемок разных масштабов и для производства различных инженерно-геодезических работ. При изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений съемочные сети прокладывают в виде теодолитных ходов вдоль трасс сооружений.

*Государственная нивелирная сеть* Беларуси состоит из реперов и марок нивелирования I, II III и IV классов. Нивелирование I класса допускает следующие средние квадратичные погрешности: случайные на 1 км хода 0,5 мм и систематические превышающие 0,5 мм. Ходы нивелирования могут иметь невязки, не превышающие по абсолютному значению: для нивелирования II класса  $5 \cdot \sqrt{L}$  мм, III класса  $10 \cdot \sqrt{L}$  мм, IV –  $20 \cdot \sqrt{L}$  мм, где  $L$  – длина хода или периметр полигона в км.

*Привязку точек теодолитных опорных ходов* в плане к пунктам геодезической сети производят для получения координат этих точек и для контроля линейных и угловых измерений, выполненных вдоль съемочных опорных ходов, прокладываемых по трассам инженерных сооружений.

*Привязка теодолитных ходов* и точек трассы сооружения к пунктам геодезической опорной сети может выполняться разными способами:

- 1) привязка к одному пункту;
- 2) привязка к двум пунктам способом прямой засечки;
- 3) привязка к двум пунктам способом снесения координат.

### 24.2. Планово-высотное обоснование аэроизысканий

*При планово-высотном обосновании* аэроизыскательских работ используют как существующую геодезическую опорную сеть, так и проводят самостоятельные теодолитные и тахеометрические опорные ходы с использованием их в качестве самостоятельных геодезических сетей привязки аэрофотоснимков.

*Привязкой*, или планово-высотной подготовкой аэроснимков, называют процесс определения координат, опознаваемых на аэрофотоснимках или специально замаркированных перед аэрофотосъемкой на земле в заданных местах точек местности.

Надежно опознанные на аэроснимках контурные точки местности с известными координатами называются **опознаками**. Они образуют опорную сеть, или планово-высотное обоснование аэрофотосъемки. Положение каждого опознака устанавливается тремя коор-



динатами ( $X, Y, Z$ ). Оpoznaki размещают вблизи углов взаимного перекрытия фотоснимков. В качестве опознаков выбирают хорошо опознаваемые на фотоснимке, резко выраженные контурные точки местности, расположенные на ее ровных пологих склонах.

*Различают плановую привязку аэрофотоснимков*, в процессе которой устанавливают плановые координаты опознанных контурных точек местности, *и высотную привязку*, в результате которой находят высоты опознаваемых точек местности.

*Полевую привязку* снимков выполняют различными способами: одновременно с развитием съемочной сети в виде теодолитных, нивелирных или тахеометрических ходов; прокладкой рядов триангуляции или трилатерации между пунктами государственной опорной сети; разбивкой изолированных базисов.

*При камеральной привязке аэроснимков* за опознаки принимают изображенные на карте и опознанные на фотоснимках точки геодезической опорной сети.

Воздушную высотную привязку снимков осуществляют при помощи аэрорадионивелирования, выполняемого по показаниям радиовысотометра статоскопа одновременно с аэро-съемочными работами.

### **24.3. Съёмка топографических планов и построение цифровых моделей местности**

*Топографическую съёмку местности* выполняют непосредственно в натуре одним из известных методов (высотная теодолитная, тахеометрическая, мензульная, наземная фототопографическая съёмки), различными методами аэрофотосъёмки, дифференцированным универсальным или аналитическим стереофотограмметрическим методом.

*Специальное дешифрирование* аэрофотоснимков и стереофотограмметрические работы позволяют построить цифровые модели местности (ЦММ).

*Для построения ЦММ:*

- 1) материалы аэрофотосъёмки подготавливают к стереоизмерениям;
- 2) создают планово-высотное обоснование аэрофотосъёмки;
- 3) составляют проект аналитической фототриангуляции;
- 4) монтируют фотосхемы;
- 5) выполняют камеральное дешифрирование аэроснимков;
- 6) на аэрофотоснимках выделяют участки местности с однородными технико-экономическими условиями строительства;
- 7) уточняют стоимостные показатели таких участков.

При проектировании автомобильных дорог *исходная информация о местности* должна обеспечивать технико-экономическими показателями *критерий оценки проектирования сооружения* исходя из минимума суммарных приведенных строительно-эксплуатационных и транспортных затрат с учетом условий безопасности движения и сохранения окружающей среды.

*Перевод* топографических, геологических и гидрогеологических сведений в показатели критерия выполняют на основе существующих прецедентов цен, действующих нормативов или аналогов проектов сооружений, осуществленных в сходных условиях местности. Показатели условий автомобильного движения устанавливают в соответствии с перспективой его развития для данной дороги.

Все сведения о местности и условиях движения закладывают в проект в виде ЦММ, которая содержит в дискретной форме все данные, необходимые для проектирования дороги и инженерных сооружений на ней.

*Построение математических моделей* по данным существующих топографических планов и карт связано с их масштабами, точностями и полнотой изображения ситуации и рельефа и степенью их обобщения на планах и картах местности. Чем мельче масштаб плана и карты, тем ниже точность и подробность изображения местности на составленных по ним цифровых и аналитических моделях.

Для того чтобы обеспечить на ЦММ точность существующей топографической карты или плана, пересъёмка с них на ЦММ контуров и рельефа должна быть равна точности их составления и съёмки.

**Порядок построения ЦММ:**

- 1) выбор ее вида и основной формы;

2) ведут съемку рельефа местности, где расставляются все основные точки рельефа с обозначением их в определенном коде;

3) выполняют съемку ситуации, геологии и гидрогеологии местности;

4) строят ЦММ рельефа или топографических планов местности.

Съемку ЦММ ведут кодирующими приспособлениями, участвующими в преобразовании графической информации топографических планов и карт в цифровую. Для таких работ используют специальные преобразователи графической информации в цифровую – *дигитайзеры*.

#### 24.4. Вынос трассы автомобильных дорог в натуру

Перенесение проектов сооружений в натуру, детальная разбивка сооружений и геодезическое управление движением строительных машин с контролем за производством работ выполняются в период строительства от опорной геодезической сети. Опорная сеть строительства создается на основе сгущения существующей сети или строится заново в соответствии с требованиями и качеством строительства.

Геодезические разбивочные работы являются неотъемлемой частью строительного процесса и должны соответствовать его точности. Работы начинаются с восстановления всех основных точек трассы и закрепления их в натуре.

Перенесение трассы с аэроснимков в натуру в открытой контурной местности выполняют в такой последовательности (рис. 24.1):

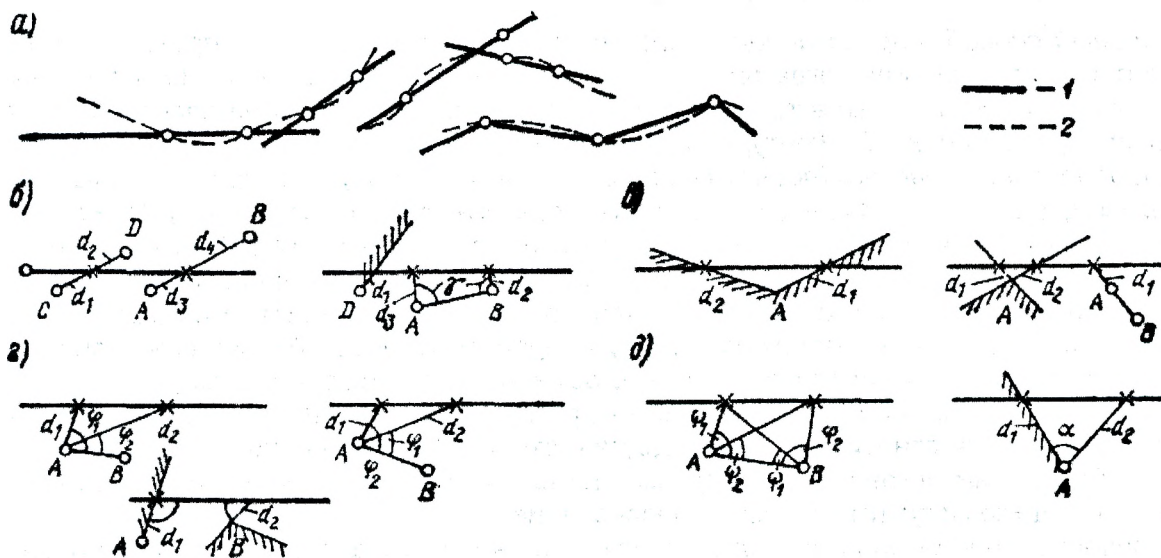


Рис. 24.1. Схемы к переносу трассы с аэроснимков в натуру: 1 – трасса; 2 – ортогональный след

- 1) определяют направление створных линий каждого прямолинейного элемента трассы с установлением вех на ортогональном следе трассы в пределах их видимости в бинокль;
- 2) затем одновременным вешением на себя двух смежных створов в бинокль или зрительную трубу находят общую вежу вершины угла поворота трассы;
- 3) в полученной точке контролируют угол и по створам откладывают тангенсы и биссектрису, устанавливая положение главных точек кривых;
- 4) отдельные плюсовые и пикетные точки трассы определяют, откладывая по трассе до них соответствующие проектные расстояния от опознанных в натуре контурных точек или от главных точек кривых.

Способы перенесения проекта трассы в натуру должны подбираться в соответствии с обстановкой и наличием подсобных средств. Лучшими способами следует считать те, в которых направление прямолинейного участка трассы находят опознаванием непосредственно находящихся на нем контурных точек местности. Все створы через трассу вдоль боковых опознанных контурных точек местности целесообразно проводить по центральным направлениям каждого снимка. Исходные контурные точки должны быть опознаны в натуре с высокой точностью.

В инструментальном методе имеются два способа ведения работ:

- 1) инструментальная укладка проектных элементов трассы (рис. 24.2а);
- 2) прокладка инструментального магистрального хода вблизи трассы с разбивкой точек трассы от точек и линий магистрального хода (рис. 24.2б).

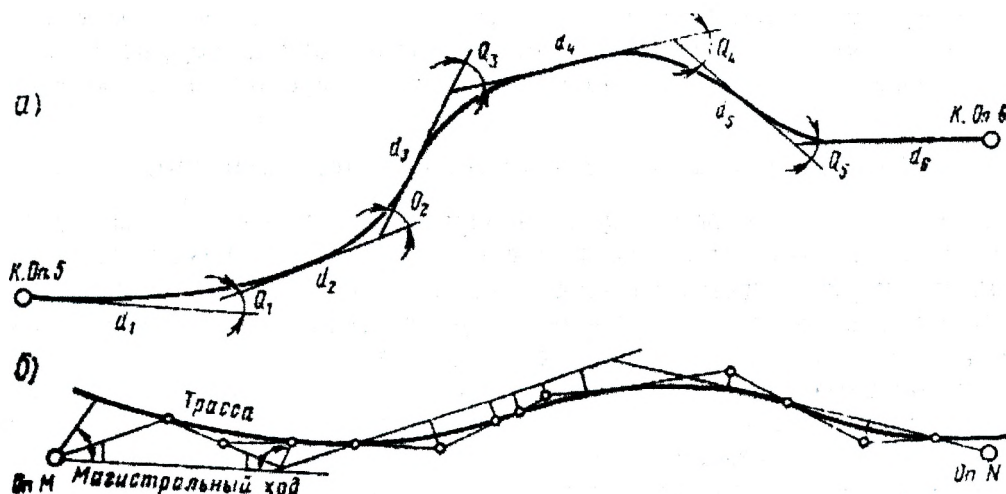


Рис. 24.2. Инструментальный метод перенесения трассы: а – по линиям трассы; б – вблизи трассы с привязкой точек к магистральному ходу; 1 – трасса; 2 – магистральный ход

Первый способ широко используют, когда проект трассы зафиксирован на топопланах, контурных планах или когда он представлен аналитически координатами основных точек трассы на ЦММ, а также в тех случаях, когда трасса размещена на аэроснимках, фото-схемах или фотопланах в бесконтурной местности.

Перенесение трассы вторым способом сводится к тому, что прокладывают магистральный ход и от него откладывают элементы привязки трассы к этому ходу. При определении положения точек трассы и пунктов геодезического управления работой строительных машин используют способы прямоугольных и полярных координат или способ засечек. Значения элементов привязки трассы к магистральному ходу устанавливают на ЭВМ.

Процесс перенесения проекта в натуру предусматривает размещение контуров сооружения и его основных осей относительно объектов и элементов окружающей местности, а работы по разбивке – определение формы, размеров и проектного положения элементов и частей сооружения относительно друг друга и относительно основных осей сооружения. В соответствии с этим погрешности в производстве таких работ будут отличаться между собой, а иногда даже могут иметь разное обоснование.

Точность перенесения проектов сооружений в натуру должна устанавливаться в соответствии с технико-экономическими и качественными показателями дорожного строительства и автомобильного движения. Поэтому таким точностям необходимо придавать обоснование, аналогичное тому, какое устанавливается для проектно-изыскательских работ. Таким образом, сопутствующие строительству геодезические и аэрогеодезические работы по перенесению проектов сооружений в натуру и их разбивка должны иметь хорошо обоснованную нормативную точность.

Как правило, при перенесении проекта в натуру оси сооружений относительно объектов и предметов местности могут устанавливаться со значительно более низкой точностью, чем точность детальной разбивки сооружения, хотя при этом размещение опорной сети должно быть в 2-3 раза точнее съемочных работ, выполнявшихся при составлении проекта.

В современном комплексно-механизированном строительстве сооружений необходимо обеспечить геодезическое управление работой рабочих органов всех строительных машин с точностью, обеспечивающей отклонения геометрических характеристик элементов сооружения от проектных в пределах установленного строительного допуска.



## 25. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### 25.1. Инженерно-геологические изыскания на полосе варьирования при выборе оптимального варианта трассы

*Цель инженерно-геологических изысканий* – сбор сведений, характеризующих природные условия полосы варьирования в объеме, необходимом и достаточном для их оценки и выбора рекомендуемого направления (стадия ТЭО). *Объем и характер* инженерно-геологических изысканий при выборе оптимального варианта зависит от сложности природных условий и степени изученности района (полосы варьирования). При выполнении инженерно-геологических изысканий руководствуются требованиями СНиП 1.02.07-87 «Инженерные изыскания для строительства».

*Основным методом* изучения инженерно-геологических условий полосы варьирования является *инженерно-геологическая съемка*, задачами которой являются:

- 1) изучение геологического строения, гидрогеологических условий местности;
- 2) определение границ распространения различных грунтов;
- 3) предварительное изучение грунтов для оценки использования их в качестве основания земляного полотна и фундаментов сооружений, материала для возведения земляного полотна;
- 4) изучение современных физико-геологических процессов и их влияния на выбор оптимального варианта трассы;
- 5) поиск и предварительная разведка месторождений строительных материалов, а также грунта (резервов) для отсыпки насыпи.

*В подготовительный период* получают информацию об инженерно-геологических условиях местности путем изучения имеющихся литературных, фондовых и ведомственных материалов, в том числе материалов изысканий прошлых лет, а также рекогносцировочного осмотра местности. Собирают данные, отражающие природные условия местности в пределах полосы варьирования.

*Топографической основой* для проведения инженерно-геологической съемки и составления карт служат топографические карты, планы, аэрофотоснимки, фотопланы, фотосхемы. *Геологической основой* инженерно-геологической съемки служит геологическая карта и карта четвертичных отложений.

*Для выполнения инженерно-геологической съемки*, а также поиска месторождений строительных материалов и грунтов используют *аэрометоды*. Применение аэрометодов уменьшает объем трудоемких полевых работ и повышает качество инженерно-геологических карт.

Для объектов протяженностью более 100 км целесообразно использовать данные *космической съемки* для выявления линий тектонических разломов, гидрогеологических условий, мест наледепроявления.

В результате съемки составляется схематическая *инженерно-геологическая карта* полосы варьирования в масштабе 1:10000-1:17000 или 1:25000 в зависимости от сложности и протяженности объекта.

Выполняют *инженерно-геологическую рекогносцировку*, в ходе которой производят аэровизуальный осмотр местности, уточняют данные дешифрирования и предварительную инженерно-геологическую карту в отдельных ключевых местах, отмечают границы неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении участков, а также границы месторождений и резервов, выявленных по предварительным данным. Наносят на планы масштаба 1:2000-1:10000 инженерно-геологические данные в местах, влияющих на положение трассы. Выделяют характерные (эталонные) участки для подробных полевых исследований.

Составляемые *инженерно-геологические карты* являются специализированными картами, на которых отражаются лишь существенные для проектирования дороги и линейных сооружений особенности природной обстановки. Карты не должны содержать данных, не нужных проектировщику для решения тех или иных задач.

*Целью полевых работ* является более подробное изучение инженерно-геологических условий на полосе варьирования и уточнение составленной предварительно инженерно-

геологической карты. На выделенных эталонных участках выполняют более подробные инженерно-геологические изыскания. При этом максимально используют естественные и искусственные обнажения.

По трассам намеченных вариантов закладывают на характерных элементах рельефа *шурфы и скважины*.

Данные, полученные при изучении эталонных участков, распространяют на аналогичные места полосы варьирования и используют при ориентировочном подсчете объемов работ.

В местах *индивидуального проектирования земляного полотна* инженерно-геологические работы выполняют по *особым программам*. В состав работы включают крупномасштабную инженерно-геологическую съемку, горнобуровые работы, геофизическую разведку, полевые методы испытания грунтов.

Во время этих работ выявляют инженерно-геологические условия того или иного участка в объеме, достаточном для выбора наиболее целесообразных проектных решений и определения стоимости строительства.

Детализация этих решений вместе с более подробным изучением мест индивидуального проектирования производится только вдоль выбранного направления при изысканиях на стадии проекта.

В местах *возможного устройства мостов и путепроводов* для уточнения типа фундаментов закладывают выработки, применяют геофизические методы разведки, пенетрацию.

Полученные в результате полевых работ данные используют для составления окончательной инженерно-геологической карты, цифровой и математической модели местности.

При *выборе варианта для реконструкции дорог*, кроме работ, перечисленных выше, собирают данные о конструкции дорожной одежды на существующей дороге, границах пучинистых участков, характере пучинообразования, наблюдаемых деформациях земляного полотна.

*Результатом изучения полосы варьирования и обработки всех собранных материалов и данных лабораторных испытаний являются:*

- 1) инженерно-геологическая карта масштаба 1:10000-1:17000 полосы варьирования;
- 2) обзорная инженерно-геологическая карта масштаба 1:25000-1:600000 (в зависимости от размеров и сложности объекта);
- 3) инженерно-геологические карты мест мостовых переходов и сложных участков масштабов 1:500-1:2000;
- 4) карта-схема расположения месторождений строительных материалов и резервов грунта;
- 5) сокращенный геолого-литологический разрез и продольные профили с указанием грунтов по проработанным вариантам и характерные поперечные профили;
- 6) геолого-литологические разрезы в местах мостовых переходов, путепроводов, отдельных сложных мест;
- 7) ведомость неблагоприятных участков по вариантам;
- 8) ведомость обследованных месторождений грунтов и строительных материалов, в том числе отходов промышленности;
- 9) график конструкций дорожной одежды и ее состояние по используемой существующей дороге;
- 10) пояснительную записку с характеристикой выполненных работ, природных условий района, геотехнических свойств грунтов, современных физико-геологических процессов, обеспеченности строительства материалами для устройства дорожной одежды и грунтом для отсыпки насыпи;
- 11) данные для построения цифровых и математических моделей инженерно-геологического и гидрогеологического строения местности.

При *изысканиях для обоснования ТЭР* ограничиваются объемом работ, выполняемых для ТЭО в подготовительный период. В результате работ представляется схематическая обзорная инженерно-геологическая карта полосы варьирования с нанесенными вариантами трассы и подробная пояснительная записка с характеристикой природных условий.

## 25.2. Инженерно-геологические изыскания по выбранному варианту трассы

*Инженерно-геологические изыскания по выбранному варианту* имеют целью уточнение инженерно-геологических условий трассы, участков строительства искусственных сооружений и гражданских зданий, условий обеспечения строительства грунтами и строительными материалами.

Работы выполняют в объемах, достаточных для разработки проекта автомобильной дороги. При выполнении работ руководствуются СНиП 1.02.07-87.

*В подготовительный период* изучают материалы, полученные при выборе варианта трассы (материалы ТЭО), собирают дополнительные данные, изучают неиспользованные ранее материалы.

*В полевой период* ведут инженерно-геологическую съемку с подробным попикетным описанием притрассовой полосы на ширину 200-300 м. Съемку ведут в более крупном масштабе, чем это было сделано при выборе варианта, как правило, не мельче 1:2000 для местности со сложными природными условиями. На простых равнинных участках ограничиваются попикетным описанием притрассовой полосы. Уточняют и детализируют инженерно-геологические карты мест индивидуального проектирования земляного полотна, сделанные при выборе варианта трассы.

***В полевой период* выполняют:**

1) буровые и шурфовочные работы с применением, где это целесообразно, геофизических методов с целью изучения грунтов как основания и материала для возведения насыпей;

2) пенетрационные и другие полевые исследования физико-механических свойств грунтов в условиях естественного залегания;

3) разведочно-буровые, шурфовочные, геофизические работы на участках проектируемых мостов, путепроводов и других сооружений с целью изучения грунтов как основания фундаментов этих сооружений;

4) дополнительный поиск и детальную разведку месторождений строительных материалов, в том числе грунтов для возведения земляного полотна;

5) сбор сведений о действующих карьерах и предприятиях по производству дорожно-строительных материалов, об отходах производства различных промышленных предприятий с оценкой возможного их использования в качестве строительных материалов;

6) изучение грунтов трассы и резервов как материала для устройства дорожной одежды путем укрепления их вяжущими;

7) лабораторные определения физико-механических свойств грунтов, качественной характеристики строительных материалов, химического состава и агрессивности воды.

Инженерно-геологические изыскания производят, как правило, одновременно со всем остальным комплексом работ, выполняемых изыскательскими партиями.

*Участки, опасные в отношении устойчивости земляного полотна*, относятся к местам *индивидуального проектирования*. Как правило, при изысканиях такие места обходят трассой. Если обход невозможен или нецелесообразен по технико-экономическим соображениям, инженерно-геологические изыскания на таких участках выполняют по индивидуальным программам. В таких случаях количество, глубина, размещение выработки, количество точек наблюдений и виды испытаний определяются инженерно-геологическими условиями и находят отражение в программе работ.

***К местам индивидуального проектирования относят:***

1) насыпи выше 12 м и насыпи на слабых основаниях;

2) выемки глубиной более 12 м и мокрые выемки;

3) оползни, осыпи; участки, подверженные селевым выносам;

4) участки опасные в отношении обвалов и лавин;

5) растущие овраги;

6) места образования наледей;

7) пучинистые участки, участки с погребенными льдами и мерзлотными формами, буграми пучения и т. п.

*По особым программам* производят также изыскания в районах с региональным развитием *неблагоприятных физико-геологических процессов*. К ним относятся:

1) районы развития карста;



- 2) районы лессов и лессовидных просадочных грунтов;
- 3) районы распространения засоленных грунтов;
- 4) участки с повышенной снего- и пескозаносимостью.

Объем работ зависит от наличия материалов инженерно-геологических изысканий прошлых лет, сложности инженерно-геологических условий и может быть сокращен на участках простого геологического строения и однородного характера грунтов, что предусматривается программой работ.

**Выполняя инженерно-геологические изыскания при реконструкции дорог:**

- 1) осматривают дорогу в натуре;
- 2) собирают в органах дорожно-эксплуатационной службы данные о состоянии земляного полотна, дорожной одежды и сооружений на дороге, явлениях пучинообразования, а также данные об условиях эксплуатации;
- 3) осуществляют инженерно-геологическую съемку на участках, где отсутствуют необходимые сведения и в местах индивидуального проектирования;
- 4) обследуют дорожную одежду;
- 5) определяют состав и состояние грунтов земляного полотна и грунтов оснований реконструируемых сооружений с заложением выработок и выполнением пенетрационных работ;
- 6) выявляют и обследуют пучинистые участки.

**В результате работ составляют:**

- 1) инженерно-геологическую карту притрассовой полосы;
- 2) грунтовый продольный профиль по оси трассы и поперечные профили с нанесенными грунтами;
- 3) ведомость резервов;
- 4) ведомость анализов грунтов и воды;
- 5) ведомость неблагоприятных участков;
- 6) инженерно-геологические паспорта мест индивидуального проектирования земляного полотна и мостовых переходов;
- 7) паспорта месторождений грунтов и строительных материалов, намеченных к использованию.

При рабочих изысканиях (стадия рабочей документации) выполняют дополнительные обследования на участках изменения трассы, в местах мостовых переходов, индивидуального проектирования земляного полотна. Ведут дополнительные поиски и разведку месторождений грунтов и строительных материалов в целях удешевления стоимости строительства или при невозможности использования ранее намеченных месторождений.

**25.3. Изыскания под отдельные транспортные сооружения и на участках со сложными условиями**

**1. насыпи на слабом основании. Целью изысканий является:**

1. установление границ участков распространения слабых грунтов в зоне варьирования;
2. выявления строения слабой толщи;
3. характера плотных подстилающих пород, рельефа их кровли;
4. определение физико-механических характеристик грунтов.

**Изыскания выполняют в три этапа:**

1. На первом этапе составляют инженерно-геологические карты участка, закладывают зондировочные выработки в пределах возможного варьирования по сетке 50x50м-100x100 м в зависимости от размеров участка. Грунты характеризуют визуально. В результате даются рекомендации по проложению трассы.

2. Второй этап (на выбранном направлении) назначают лишь тогда, когда установлена целесообразность проработки варианта с использованием в качестве основания земляного полотна слабой толщи. На этом этапе бурят скважины по оси через 25-50 м и на поперечниках (от 3 до 5 скважин), отбирают образцы для определения в полевой лаборатории влажности, плотности, консистенции, содержания органических веществ, степени разложения и ботанического состава торфа. Выполняют зондирование конусным наконечником, испытывают грунт на сдвиг крыльчаткой. По результатам испытаний выделяют расчетные слои и

определяют расчетные значения основных показателей состава и состояния грунта в пределах каждого слоя.

3. На третьем этапе проходят опорные скважины на расчетных (представительных) поперечниках с отбором монолитов грунтов. Количество монолитов и их размеры определяют исходя из того, чтобы для каждого вида испытаний можно было получить не менее шести образцов из каждого расчетного слоя. Кроме компрессионных и консолидационных испытаний, проводят испытания на сдвиг грунта из наиболее слабых слоев. Испытания выполняют по специальным методикам.

**2. Высокие насыпи.** *Цель изысканий* – разработка мероприятий, необходимых для обеспечения устойчивости насыпи в данных природных условиях:

1. выполняют инженерно-геологическую съемку в масштабе 1:1000-1:500 на ширине не менее 200 м;
2. съемку дополняют разведочными выработками, которые закладывают по поперечникам. Количество выработок (3-5) зависит от высоты насыпи и характера грунта. Поперечники закладывают в зависимости от характера грунтов, но не реже чем через 100 м. Особое внимание уделяют изучению грунтов основания и грунтов в месте сопряжения насыпи с прилегающими склонами. Глубина выработок в плотных грунтах не должна быть менее 5 м;
3. из выработок отбирают образцы грунтов для определения плотности, веса, естественной влажности, пределов пластичности, сопротивления сдвигу, компрессионных свойств, просадочности (для лессовых грунтов);
4. для сыпучих грунтов определяют гранулометрический состав, плотность и коэффициент фильтрации.

### **3. Глубокие и мокрые выемки.**

При изысканиях:

1. выявляют характер грунтов и гидрогеологических условий в объеме, достаточном для разработки проектных решений, обеспечивающих устойчивость откосов и полотна дороги;
2. устанавливают группу грунта по трудности разработки;
3. выявляют грунтовые воды, их дебит, направление потока, возможное колебание уровня, мощность водонасыщенных грунтов, глубину залегания водоупорного слоя;
4. устанавливают пригодность грунтов выемок для возведения насыпей и укладки на них конструктивных слоев дорожной одежды;
5. выполняют инженерно-геологическую съемку в масштабе 1:500-1:2000 на ширину не менее чем по 100 м в обе стороны от оси трассы, производят разведочные работы. Буровые скважины закладывают по оси трассы и в обе стороны от нее (на поперечниках) в пределах проектируемой выемки;
6. в местах наиболее сильного притока воды в выработках ведут опытную откачку для определения водоотдачи и коэффициента фильтрации, необходимых для расчета дренажей.

**4. Оползневые участки.** *Обследование оползневых участков имеет целью установить степень устойчивости оползневого склона в естественных условиях и после пригрузки или подрезки его земляным полотном:*

- устанавливают распространение оползня по трассе и причины, обусловившие появление и развитие оползневых процессов;
- выполняют инженерно-геологическую съемку оползня;
- выработки (предпочтительно шурфы) закладывают по нескольким створам с обязательным захватом не затронутых оползневыми смещениями участков склонов. Выработки на теле оползня должны вскрыть нижнюю поверхность скольжения и войти на 3-5 м в нижележащий массив. Для детализации контактов пород, поверхностей скольжения и гидрогеологических условий в комплексе с выработками применяют геофизические методы разведки;
- кроме характеристик состава и состояния грунтов, определяют сопротивление сдвигу глинистых грунтов по методике неконсолидированного сдвига, минералогический состав.

В результате изысканий в местах индивидуального проектирования земляного полотна составляют паспорта установленной формы, в которые входят: инженерно-геологическая карта, геолого-литологические разрезы, данные лабораторных и полевых испытаний грун-

тов, пояснительная записка с рекомендациями по комплексу необходимых мероприятий для обеспечения устойчивости дороги.

**4. Лессы и лессовидные просадочные грунты.** Распространение просадочных грунтов определяют по схематической карте (приложение к СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика. Основные положения»). Грунты относят к просадочным на основании результатов инженерно-геологических изысканий в соответствии с указаниями СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений».

*Целью инженерно-геологических изысканий являются:*

- определение степени просадочности грунтов;
- границ участков с просадочными грунтами;
- условий их увлажнения и прогнозирование этих условий;
- изучение возможности возникновения просадочных явлений под влиянием естественного и искусственного увлажнения и количественная оценка просадочности грунтов при состояниях, соответствующих давлению от проектируемых сооружений и увлажняемых толщ.

В состав полевых работ входит инженерно-геологическая съемка, разведочные и геофизические работы, лабораторные испытания. Глубину выработок определяют исходя из необходимости проходки всей просадочной толщи грунтов. При высоком уровне грунтовых вод выработку углубляют в водонасыщенную толщу грунтов на 1,0 м или на всю мощность активной от нагрузки сооружения зоны, если эта зона не охватывает водоносный горизонт.

Полевые опытные работы состоят из испытаний грунтов статической нагрузкой (штампом) с искусственным замачиванием. Как правило, их выполняют на стадии рабочих изысканий.

**5. Засоленные грунты.** При инженерно-геологических изысканиях:

- изучают грунты как основание для земляного полотна и как материал для его возведения;
- собирают данные для разработки мероприятий, обеспечивающих устойчивость земляного полотна проектируемой дороги;
- устанавливают критические (максимальные) значения естественной влажности и степени засоления грунтов;
- выполняют инженерно-геологическую съемку, при которой картируют границы распространения грунтов с разной степенью засоления, замкнутые понижения, места стока атмосферных вод.

**6. Подвижные пески.** Инженерно-геологические изыскания имеют целью:

1. установить границы участков с различной степенью подвижности песков и рекомендовать наиболее целесообразное проложение трассы;
2. установить крутизну откосов насыпей и выемок;
3. рекомендовать мероприятия для укрепления земляного полотна и защиты прилегающей к нему полосы от выдувания песков и песчаных заносов;
4. оценить грунты как основание земляного полотна и как материал для возведения насыпи;
5. выявить месторождения песчано-гравийного материала или связных грунтов;
6. выявить источники водоснабжения для увлажнения песков при возведении насыпей.

*Для решения этих вопросов выполняют:*

- инженерно-геологическую съемку в масштабе 1:2000-1:5000 с использованием аэрометодов на полосе шириной не менее 500 м;
- разведочные буровые и шурфовые работы;
- поиск и разведку месторождений строительных материалов и связных грунтов;
- лабораторные анализы грунтов для определения их строительных свойств.

*В результате проведенных работ представляют следующие материалы:*

- инженерно-геологическую карту с отражением форм песчаного рельефа, контуров закрепленных и подвижных песков;
- розу ветров;
- характерные геолого-литологические разрезы;
- пояснительную записку с обобщенными данными анализов грунтов и воды и с рекомендациями по наиболее рациональным проектным решениям.



**7. Районы распространения вечной мерзлоты.** Для выявления инженерно-геологических (мерзлотно-грунтовых) условий выполняют инженерно-геологическую съемку на ширине полосы обследования 200 м с обязательным использованием аэрометодов. В простых условиях масштаб съемки принимают 1:1000-1:2000, в сложных – 1:1000-1:500.

*Количество выработок принимают:*

- на участках с развитым термокарстовым и мелкобугристым микрорельефом по одной-две на однотипных формах, но не менее трех на 1 км трассы;
- на участках с подземными льдами и сильнольдистыми грунтами (площадной съемкой с применением геофизических методов уточняют границы распространения этих явлений) выработки закладывают через 25-30 м от точки, где было обнаружено данное явление;
- на косогорных участках от трех до пяти выработок на поперечнике. Поперечники закладывают на характерных участках, но не менее трех на 1 км трассы.

*Глубину выработок принимают:*

- на щебенистых, гравелистых, галечниковых и других обломочных грунтах – на 0,5-1,0 м ниже границы сезонно оттаивающего слоя;
- на участках с глинистыми малольдистыми грунтами – на двойную мощность сезонно оттаивающего слоя;
- на участках с подземными льдами, сильнольдистыми грунтами – не менее чем на 15 м (до глубины нулевых годовых амплитуд температуры вечномерзлых грунтов).

**В процессе инженерно-геологических изысканий:**

- определяют физико-механические свойства грунтов по выделенным однородным слоям. Кроме обычных характеристик, дополнительно устанавливают криогенную структуру, суммарную влажность и льдистость;
- в местах образования наледей устанавливают вероятные причины возникновения наледи и ее опасность для проектируемых сооружений, намечают противоналедные мероприятия. Для составления гидрогеологического разреза бурят скважины по оси лога (русла) и на прилегающих склонах (4-8 шт.). Скважины проходят до водоупорного горизонта, но не глубже 4 м;
- на участках искусственных сооружений выполняют инженерно-геологическую съемку в масштабе 1:500-1:2000, в ходе которой наряду с выработками применяют геофизические методы разведки. Количество выработок и точек вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) должно быть достаточным для составления непрерывного мерзлотно-грунтового разреза по оси сооружения.

**В результате работ представляют следующие материалы:**

- мерзлотно-грунтовые карты с нанесением вариантов трассы;
- мерзлотно-грунтовые профили (продольные и поперечные) по трассе;
- характеристики грунтов в талом и мерзлом состоянии с указанием их физико-механических свойств;
- температурный режим грунтов в пределах исследуемой толщи;
- заключение о мерзлотно-грунтовых условиях притрассовой полосы с предложениями по возможным вариантам проектных решений.

**8. Мостовые переходы и путепроводы.** При выборе варианта трассы задача инженерно-геологических изысканий на мостовых переходах состоит в получении данных, необходимых для выбора оптимального варианта перехода, который выбирают с учетом данных инженерно-геологической съемки, которая должна предшествовать разведочным работам.

Основой съемки служат аэрофотоснимки и карты. Съемка захватывает полосу 300 м вверх и 200 м вниз по течению от оси перехода.

*Во время разведочных работ:*

- выполняют буровые работы для получения разреза по оси мостового перехода с инженерно-геологическим опробованием грунтов, включающим полевые методы определения их физико-технических показателей (пенетрация, зондирование и др.);
- на каждом среднем переходе проходят не менее трех скважин (по берегам и в русле), на большом переходе – не менее пяти скважин. Во всех случаях глубина скважин должна быть не менее 15 м. Образцы отбирают из всех слоев грунта для определения гранулометрического состава, пластичности и естественной влажности. Кроме этого, из слоев, которые могут явиться несущими, отбирают монолиты в количестве не менее шести из слоя для

определения угла внутреннего трения и сцепления. Для определения плотности, угла внутреннего трения и модуля деформации грунтов используют пенетрометры и прессиометры;

– в дополнение к буровым скважинам применяют геофизические методы, позволяющие уточнить литологические границы, наличие и степень закарстованности, гидрогеологические условия, влажность и плотность грунтов. Хорошие результаты дают радиометрические методы.

*В результате работ по каждому варианту перехода представляют:*

- инженерно-геологический паспорт, включающий инженерно-геологическую карту;
- геолого-литологический разрез по оси перехода;
- данные анализов и испытаний грунтов;
- пояснительную записку.

На выбранном варианте мостового перехода выполняют подробные инженерно-геологические изыскания в объеме, достаточном для разработки проекта моста.

*Для больших мостовых переходов* составляют пояснительную записку (заключение). К заключению прилагают инженерно-геологическую карту с нанесенными вариантами мостовых переходов, геолого-литологические разрезы и колонки выработок, данные анализов и испытаний грунтов и их расчетные характеристики.

*Задачей инженерно-геологических изысканий мест устройства путепроводов* является выявление инженерно-геологических условий в объеме, достаточном для определения типа и условий сооружения основания опор путепровода, а также для решения вопроса о наиболее целесообразном варианте прохождения трассы поверх пересекаемой дороги или под ней.

*В результате работ представляют:*

- паспорт пересечения, включающий в себя инженерно-геологические карты;
- схему расположения выработок;
- геолого-литологические разрезы;
- данные испытаний грунтов и их расчетные характеристики;
- химические анализы воды с заключением о ее агрессивности по отношению к бетону;
- данные о сейсмичности района строительства.

*При проектировании транспортных развязок* в дополнение к выработкам, заложенным под опоры путепровода, закладывают дополнительно 4-8 выработок в пределах площадки размещения транспортной развязки глубиной 2-4.

На рабочих изысканиях на стадии рабочей документации в местах сооружения постоянных переходов и путепроводов обследуют места заложения каждой опоры. Количество разведочных выработок для каждой опоры назначают в зависимости от ширины фундамента и сложности геологических условий.

В случаях изменения положения моста или его длины выполняют полный комплекс разведочных работ по новому направлению и в пределах сооружения.

Выполняют большинство опытных работ (пробные нагрузки на штампы, статическая пенетрация, опытные откачки воды и нагнетания). Продолжают режимные стационарные наблюдения. При наличии вечной мерзлоты измеряют температуру в разведочных выработках. Отбирают образцы грунтов и воды в тех же объемах, что и на стадии проекта. Для проведения лопастных, штамповых и прессиометрических испытаний, опытных откачек оставляют специальные скважины. Более детально изучаются строительные площадки с заложением скважин по сетке 50х50 м, 50х100 м.

*В результате работ представляют:* уточненный геолого-литологический разрез по оси мостового перехода; поперечные геолого-литологические разрезы основания каждой опоры (устоя); заключение об инженерно-геологических условиях фундирования каждой опоры.

## **9. Малые искусственные сооружения.**

*Целью* инженерно-геологического обследования является:

- выявление условий строительства сооружений;
- выбор типа фундаментов;
- получение необходимых данных для расчета устойчивости их оснований;
- изучение гидрогеологических условий;
- определение агрессивности грунтовых и речных вод по отношению к бетону.

Обследование ведут заложением выработок с отбором образцов грунтов для определения их гранулометрического состава, влажности и плотности.

При работах по выбору вариантов перехода ограничиваются обследованием отдельных характерных мест их устройства.

**10. Площадки зданий дорожной и автотранспортной служб, временных производственных зданий для строительства дороги.** Целью работ является получение данных об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях площадки, необходимых для решения вопросов устройства фундаментов зданий, водоснабжения и проложения коммуникаций.

При выборе варианта трассы специальных обследований площадок не производят, при выборе мест их положения используют данные инженерно-геологической съемки полосы варьирования.

По выбранному варианту направления трассы выполняют инженерно-геологические изыскания на каждой площадке в объеме, достаточном для разработки проекта сооружения. Инженерно-геологическую съемку площадки выполняют в масштабе 1:500-1:1000.

На стадии разработки рабочей документации выполняют дополнительные обследования, целью которых является уточнение инженерно-геологических и гидрогеологических условий для строительства отдельных сооружений. В сложных условиях проводят испытания грунтов и воды. *В результате выполненных работ представляют:*

- пояснительную записку;
- уточненный инженерно-геологический паспорт площадки с данными лабораторных испытаний грунтов и химическими анализами воды;
- разрезы по трассе выноса инженерных коммуникаций.

#### **25.4. Поиск и разведка строительных материалов для дорожной одежды и грунтов для земляного полотна**

При строительстве автомобильной дороги используют притрассовые и базисные месторождения.

*К базисным* относят крупные месторождения каменных материалов (песка и камня), для разработки которых организуют длительно действующие карьеры.

*К притрассовым* относят месторождения, расположенные в притрассовой полосе и разрабатываемых только в период строительства.

*Задача поисково-разведочных работ* – найти месторождение строительных материалов для устройства дорожной одежды и грунтов для отсыпки насыпей, удовлетворяющих по запасам и качеству потребностям строительства дороги.

*Под карьеры* следует выбирать неудобные для сельскохозяйственного использования земли. *Ширина полосы поисков* определяется шириной полосы варьирования и рациональной дальностью возки материалов (грунтов) автомобилями.

*В результате работ представляют на стадии выбора варианта (ТЭО):*

- 1) карту-схему расположения месторождений строительных материалов и грунта;
- 2) ведомость обследования месторождений строительных материалов для устройства дорожной одежды, месторождений грунтов и отходов промышленности;
- 3) пояснительную записку.

*На стадии рабочей документации* при невозможности использования предусмотренных в проекте месторождений (резервов) выполняют *дополнительные поисково-разведочные работы*.



## 26. ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### 26.1. Состав инженерно-гидрометеорологических обоснований проектов

**Основные задачи** инженерно-гидрометеорологических обоснований проектов:

- 1) характеристики гидрометеорологических условий района изысканий для выбора трассы автомобильной дороги;
- 2) выбор типа переходов через водотоки, обоснование их количества и местоположения;
- 3) подготовка исходных данных для обоснования генеральных размеров искусственных сооружений на водотоках, подходов к ним, регуляционных и укрепительных сооружений;
- 4) подготовка исходных данных для проектирования системы поверхностного водоотвода.

**В состав работ**, выполняемых при инженерно-гидрометеорологических обоснованиях проектов автомобильных дорог и мостовых переходов, входят:

- 1) сбор, анализ и обобщение данных о гидрометеорологических условиях района проектирования на основе картографических, фондовых, архивных, литературных данных и материалов изысканий прошлых лет;
- 2) инженерно-гидрологическое обследование малых водосборов, пересекаемых трассой дороги, для проектирования малых водопропускных сооружений;
- 3) инженерно-гидрологическое обследование пересекаемых средних и больших водотоков для проектирования мостовых переходов;
- 4) обследование существующих водопропускных сооружений, расположенных вблизи проектируемого водопропускного сооружения;
- 5) камеральная обработка материалов полевых инженерно-гидрометеорологических обследований;
- 6) гидрологические расчеты малых водопропускных сооружений;
- 7) гидравлические расчеты отверстий малых водопропускных сооружений;
- 8) гидрологические расчеты мостовых переходов;
- 9) морфометрические расчеты мостовых переходов;
- 10) гидравлические и русловые расчеты, обосновывающие генеральные размеры сооружений мостовых переходов;
- 11) подготовка отчетной документации.

В зависимости от типа дорожных сооружений и их конструкции различают **следующие виды инженерно-гидрометеорологических обоснований**:

- 1) малых водопропускных сооружений (труб, малых мостов, переливаемых и фильтрующих сооружений и т. д.), которое заключается главным образом в определении максимальных (расчетных) расходов и объемов стока ливневых и талых вод;
- 2) мостовых переходов, которое сводится к определению основных характеристик водотока: характерных расчетных уровней (высокой воды – РУВВ, наинизшей межени – НУВМ, высокого ледохода – РУВЛ, низкого ледохода – РУНЛ, судоходного – РСУ и т. д.); расчетных расходов воды; уклонов свободной поверхности; скоростей течения на поймах и в русле; распределения расчетного расхода между руслом и поймами; данных о ледовом, ветровом и волновом режимах, карчеходе, русловых процессах, судоходстве и т. д.
- 3) земляного полотна автомобильных дорог на неподтопляемых участках местности, которое заключается главным образом в определении господствующего направления ветров и ожидаемой (расчетной) толщины снегового покрова. Конструкцию земляного полотна на подтопляемых участках назначают на основании данных о расчетных уровнях воды (с учетом подпора), скоростях течения, волнобое, ледоходе и карчеходе;
- 4) системы поверхностного водоотвода автомобильных дорог, которое заключается главным образом в определении максимального стока ливневых вод с поверхностей полотна дороги и прилегающих с верховой стороны участков местности.

## 26.2. Состав и технология инженерно-гидрометеорологических изысканий

Инженерно-гидрологические изыскания для разработки проектов автомобильных дорог и мостовых переходов *осуществляют в три этапа*: подготовительный, полевой и камеральный. Инженерно-гидрологические изыскания проводят с учетом наличия и размещения сети опорных станций и постов Департамента Минприроды Беларуси с использованием материалов многолетних наблюдений.

**В подготовительный период** инженерно-гидрологических изысканий выполняют следующие работы:

1) изучают, анализируют и обобщают материалы гидрометеорологических изысканий, выполненных на предшествующих стадиях проектирования;

2) осуществляют сбор, систематизацию и обработку материалов многолетних наблюдений по станциям и водопостам в районе проектирования объекта, которые могут быть привлечены для гидрометеорологического обоснования проектируемых сооружений. Сбору и обработке подлежат результаты многолетних наблюдений за характерными уровнями, расходами воды, скоростями течения, продольными уклонами свободной поверхности, расходами руслоформирующих наносов, толщинами снега и льда, осадками за различные интервалы времени;

3) осуществляют изучение района изысканий на основе картографических, фондовых, литературных и архивных данных, а также материалов изысканий прошлых лет, выполненных другими организациями.

Независимо от принятой в каждом конкретном случае технологии проектно-изыскательских работ **в полевой период** надлежит выполнять следующие работы:

1) *рекогносцировочные обследования* вдоль оси предполагаемой трассы либо в пределах полосы варьирования. Рекогносцировочные обследования могут быть наземными и аэровизуальными. Использование аэровизуальных обследований является обязательным при изысканиях на полосе варьирования для системного автоматизированного проектирования. *Основными задачами рекогносцировочных обследований является выбор:*

- пригодных мест перехода через большие водотоки;
- конкурентоспособных направлений трассы с учетом гидрометеорологических особенностей района изысканий либо уточнение границ полосы варьирования при автоматизированном проектировании.

В результате рекогносцировочных обследований уточняют программу и состав полевых работ;

2) *обследование малых водосборов* по всем вариантам трассы на пересечениях водотоков. При системном автоматизированном проектировании большую часть необходимой информации о водосборах получают камерально с использованием аэроснимков, крупномасштабных планов и цифровых моделей местности (ЦММ) на полосе варьирования.

*Комплекс работ, выполняемых на этой стадии, следующий:*

- установление мест пересечения логов и малых водотоков;
- определение положений водоразделов и геоморфологических характеристик бассейнов;
- морфометрические работы;
- определение высоких уровней паводков прошлых лет;
- определение уклонов логов на расстоянии размеров ожидаемого распространения пруда и уклонов свободной поверхности на малых водотоках;
- определение характеристик ледохода, карчехода и образования наледей;
- определение характеристик формирования максимального стока на малых водосборах (залесенности, заболоченности, озерности, почвенно-грунтовых условий, искусственной зарегулированности и т. д.);
- выполнение топографических съемок для проектирования малых водопропускных сооружений;
- выявление ожидаемых изменений гидрологических и гидравлических условий в течение расчетного срока службы сооружений в результате антропогенных изменений характеристик водосборов;
- обследование существующих искусственных сооружений;

3) *гидрологические обследования* больших и средних водотоков. В ходе изысканий больших и средних мостовых переходов через водотоки выполняют *следующий комплекс полевых работ*:

- установление рациональных вариантов направления трассы мостовых переходов с учетом судоходства, лесосплава, ледохода и карчехода;
- разбивку и съемку морфостворов и гидростворов, размещаемых, как правило, по оси перехода;
- проведение краткосрочных водомерных наблюдений для установления связи уровней по оси перехода с опорным водопостом;
- измерение уклонов свободной поверхности, скоростей течения и расходов;
- определение высоких уровней исторических паводков по следам на местности и путем опроса старожилов;
- сбор данных по судоходству, лесосплаву, волнообразованию, ледоходу и карчеходу;
- сбор данных по характеристикам руслового процесса;
- выполнение топографических и русловых съемок для проектирования подходов, мостов, регуляционных и укрепительных сооружений;
- выявление ожидаемых изменений гидрологических, гидравлических и русловых условий в течение расчетного срока службы мостового перехода;
- обследование существующих искусственных сооружений, расположенных вблизи проектируемого мостового перехода.

*В камеральный период выполняют следующий комплекс работ:*

- 1) обработка результатов обследования малых водосборов;
- 2) подготовка крупномасштабных планов и ЦММ малых водосборов;
- 3) определение расчетных максимальных расходов и объемов стока ливневых и талых вод, а при автоматизированном проектировании – расчетных гидрографов стока;
- 4) обработка материалов водомерных, морфометрических и гидрометрических работ с построением водомерных графиков, кривых связи уровней и расходов, продольных профилей реки, морфостворов, кривых скоростей и расходов, планов течений и траекторий судов и т. д.;
- 5) определение характерных уровней воды и расходов расчетной вероятности превышения;
- 6) определение характеристик судоходства, лесосплава, волнобоя, ледохода и карчехода;
- 7) определение характеристик руслового процесса (тип руслового процесса, количественные показатели, измеренные расходы наносов и т. д.);
- 8) обработка результатов обследований искусственных сооружений;
- 9) подготовка крупномасштабных планов и ЦММ при автоматизированном проектировании.

### **26.3. Морфометрические работы**

*При изысканиях мостовых переходов* выполняют, как правило, морфометрические работы, дополняя их в необходимых случаях данными гидрометрических работ. Морфометрические работы обычно *выполняют в межпаводочный период*. На основании морфометрических работ *определяют количественные соотношения* между морфометрическими и гидравлическими характеристиками русла и пойм, а также другие необходимые для проектирования данные.

*Морфометрические работы служат* для определения гидрологического режима водотоков и русловых характеристик *и включают в себя*:

- 1) выбор и съемку морфометрических створов (морфостворов);
- 2) определение характерных уровней, скоростей течения и расходов воды;
- 3) построение продольного профиля реки;
- 4) определение типа руслового процесса и его расчетных параметров;
- 5) обследование существующих искусственных сооружений и получение других гидрологических данных о водотоке.



*Предварительно морфостворы* выбирают по крупномасштабным картам или аэро-снимкам, располагая их нормально к направлению руслового и пойменных потоков. Для этого в ряде случаев приходится назначать ломаные створы.

*На обследуемом участке водотока морфостворы разбивают с целью решения следующих задач:*

- 1) определения распределения расчетного расхода между элементами речной долины (руслом и поймами);
- 2) определения уровней, скоростей течения и расходов воды;
- 3) построения профиля свободной поверхности потока при уровне расчетной вероятности превышения.

Во всех случаях *главным является морфоствор*, расположенный непосредственно в месте перехода. Дополнительные морфостворы (если они необходимы) размещают выше и ниже оси перехода.

*Морфостворы обычно снимают* теодолитами методом тригонометрического нивелирования и привязывают их в плановом и высотном отношении к оси перехода. При автоматизированном проектировании морфостворы снимают с использованием аэрометодов либо наземных фототеодолитных съемок. Границами размещения морфостворов являются высоты (отметки) земли, превышающие на 1-3 м наивысшие расчетные уровни воды.

*При съемке морфостворов* снимают прилегающую ситуацию по 100 м в каждую сторону от оси с описанием ситуационно-морфологических особенностей строения русел и пойм, выделяя: пойменные озера, староречья, протоки и т. д.; характеристики пойменной растительности; характеристики грунтов, слагающих русло и поймы; границы участков морфоствора с различными гидравлическими сопротивлениями.

*При определении уровня режима водотока* в районе проектируемого мостового перехода устанавливают высоты и даты появления уровней: расчетного уровня высокой воды (РУВВ); высокого ледохода (РУВЛ); высокой подвижки льда (УВПЛ); низкой подвижки льда (УНПЛ); средней межени (УМВ); низкой межени (РУНМ).

*Характерные уровни воды* устанавливают по данным многолетних наблюдений на ближайших к оси перехода водопостах с перенесением на ось перехода способами, рекомендуемыми СНиП 2.01.14-83, методом аналогии, опросом старожилов и по следам на местности. Наиболее надежными являются данные многолетних наблюдений за уровнями и расходами на водопостах Департамента Минприроды Беларуси, перенос которых осуществляются с использованием кривых связей соответственных уровней и расходов, построенных по результатам краткосрочных водомерных наблюдений и измерений скоростей и расходов воды в створе главного морфоствора, выполняемых в период изысканий.

Чтобы *определить уклоны свободной поверхности*, необходимые при выполнении морфометрических расчетов, снимают продольный профиль по руслу реки. Для этой цели:

- 1) снимают продольный профиль реки по урезным кольям в русле. При изысканиях в период паводков профиль свободной поверхности снимают несколько раз при различных уровнях и на разных фазах паводка;
- 2) промеряют глубины по фарватеру; определяют отметки бровок берегов и пониженных участков современных прирусловых валов;
- 3) на продольный профиль реки наносят: линии свободной поверхности и берегов; точки УВВ, установленные по данным опроса старожилов и по следам на местности; положение створа перехода, морфостворов, водопостов и существующих искусственных сооружений; линию свободной поверхности по точкам УВВ.

*Тип руслового процесса* и его расчетные параметры устанавливают на основе морфометрического обследования русел и пойм рек, данных русловых съемок, материалов аэро-съемок, топографических планов и карт, а также лоцманских карт за разные годы.

**Целью морфометрического обследования** существующих искусственных сооружений (малых мостов и труб, мостовых переходов, некапитальных плотин, переходов коммуникаций и т. д.) являются:

- 1) учет при проектировании опыта эксплуатации существующих мостовых переходов;
- 2) учет взаимодействия проектируемого и существующих сооружений при близком их расположении;

- 3) оценка вредного влияния проектируемого сооружения на другие сооружения и объекты (например, оценка возможного размыва попадающих в зону влияния проектируемого мостового перехода существующих переходов коммуникаций);
- 4) учет экстремальных расчетных условий при проектировании (например, учет последствий прорыва расположенной выше плотины некапитального типа);
- 5) сбор дополнительных данных о гидрологическом режиме водотока, природных деформациях русел, а также данных об общих и местных размывах под существующими мостами и т. д.

Морфометрические обследования существующих искусственных сооружений осуществляют с использованием как традиционных геодезических методов, так и современных методов наземной стереофотограмметрии (что более предпочтительно).

## 26.4. Гидрометрические работы и гидрологические расчеты

Гидрометрические работы на мостовых переходах позволяют получить следующую информацию о водотоке:

- 1) данные об изменениях уровней воды в течение года и за многолетний период;
- 2) данные о скоростях течения и расходах для речного потока в целом и характерных его частей;
- 3) данные о геометрических характеристиках потока (площадах живых сечений, ширине, глубине и уклонах свободной поверхности);
- 4) данные о характеристиках руслового процесса.

В связи с этим гидрометрические работы подразделяют на следующие:

- 1) водомерные наблюдения (измерение уровней воды и уклонов свободной поверхности);
- 2) промеры глубин;
- 3) измерение скоростей, направлений течения и расходов;
- 4) измерение объема твердого стока (расходов наносов).

Водомерные наблюдения ведут на временных водомерных постах, устраиваемых до начала водомерных наблюдений. Гидрометрические работы выполняют во время подробных технических изысканий, предшествующих разработке проекта, особенно, в тех случаях, когда на предшествующих стадиях проектирования не удалось собрать информацию, в достаточной мере характеризующую пересекаемый водоток. Гидрометрические работы обычно приурочивают к периоду прохождения паводков.

На малых водотоках ограничиваются измерением мгновенных уклонов по урезным кольям. Водомерные посты применяют следующих типов (рис. 26.1):

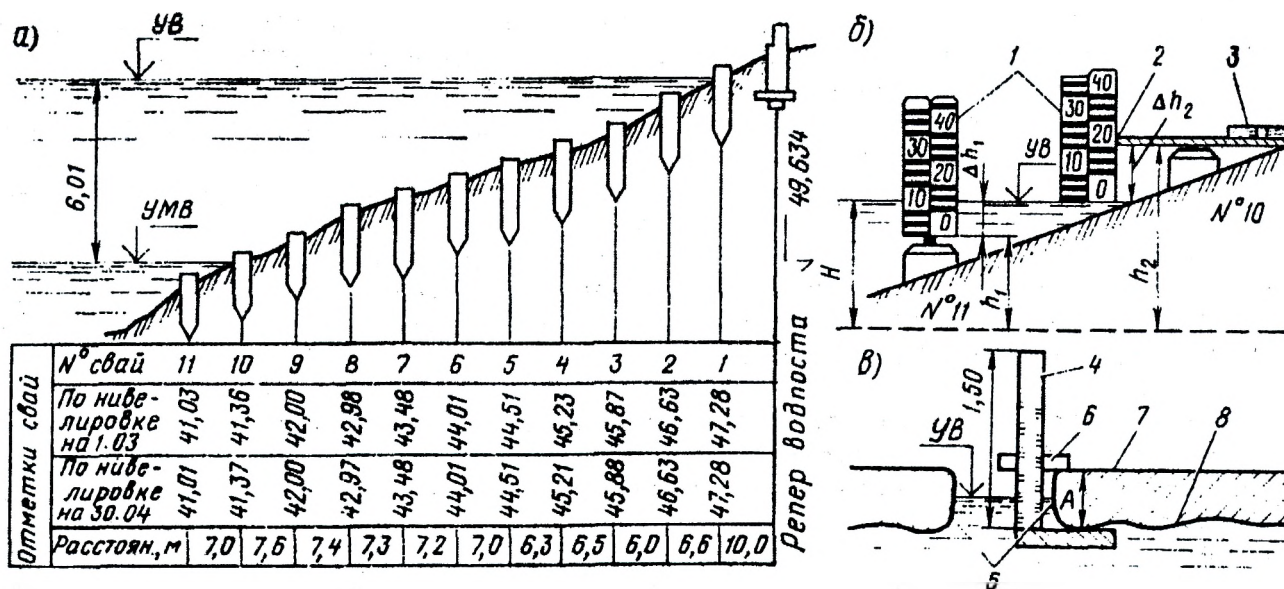


Рис. 26.1. Водомерные посты: а – свайного типа; б – речного типа; в – определение толщины льда; 1 – водомерные рейки; 2 – линейка; 3 – уровень; 4 – льдомерная рейка; 5 – лунка; 6 – индекс; 7 – поверхность льда; 8 – нижняя кромка льда

- свайные на беспойменных, скальных берегах (рис. 26.1а);
- речные на поймах, скальных берегах и устоях существующих мостов (рис. 26.1б);
- свайно-речные на высоких пойменных берегах.

Водомерные посты привязывают двойным нивелированием с погрешностью не более  $20\sqrt{L}$ , мм (где  $L$  – длина хода в км).

При автоматизированном проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов на полосе варьирования конкурирующих направлений трассы наиболее перспективным является применение методов аэрогидрометрии.

При выполнении наземных гидрометрических работ следует применять высокопроизводительное оборудование: эхолоты при ультразвуковом измерении глубин (эхолот «Язь»), самописцы при производстве водомерных наблюдений (самописец «Валдай»), электромагнитные скоростемеры при измерениях скоростей и направлений течения (скоростемер «Зонд»), современные батометры для измерений расходов донных и взвешенных руслоформирующих наносов (батометр «Дон»).

## 26.5. Основы методик гидрологических расчетов

Прогноз максимальных расходов и уровней воды при наличии длительных гидрометрических наблюдений выполняют на основе статистических данных о паводках, прошедших за период наблюдений, предшествующий строительству мостового перехода, с использованием методов теории вероятностей.

На больших и средних реках, как правило, ведутся систематические наблюдения за режимом водотока на водомерных постах. Поэтому установление расчетного уровня с заданной малой вероятностью превышения более высокими уровнями может быть выполнено статистическими приемами.

Статистический аналитический расчет можно вести только по величинам максимальных расходов с переходом к уровню после установления расчетного расхода воды. Статистический расчет непосредственно по уровням, зависящим от конфигурации поперечных сечений долины, может быть выполнен только графически с использованием клетчатки вероятности. Расчет по уровням непригоден для блуждающих рек, протекающих на конусах выноса.

Вероятность превышения расчетного паводка для мостового перехода нормируется техническими условиями проектирования мостов и (1-3%).

В практике гидротехнического проектирования для определения расчетных гидрологических величин в соответствии с требованиями СНиП 2.01.14-83, как правило, применяют трехпараметрические кривые гамма-распределения, а при надлежащем обосновании допускается применять биномиальную кривую распределения.

Детальный ход гидрологических расчетов приведен в Пособии П1-98 к СНиП 2.01.14 «Определение расчетных гидрологических характеристик» и в курсе лекций «Проектирование мостовых переходов».



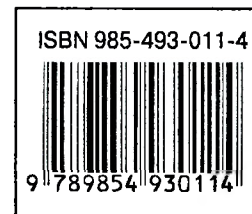
## ЛИТЕРАТУРА

- Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1969. – 168 с.
- 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.
- ГОСТ 21.110-82. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов. – М.: ЦИТП, – 1982. – 56с.
- Закон республики Беларусь «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности» (2 декабря 1994 г. N 3434-XII) в ред. Закона Республики Беларусь от 22.07.2003 N 228-3.
- Ксенодохов В.И. Таблицы для клотоидного проектирования и разбивки плана и профиля автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1981. – 431 с.
- П1-98 к СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 174 с.
- 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.
- Проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера – дорожника / Под ред. Г.А. Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
- СНиП 1.02.01-85. Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – М.: ЦИТП, – 1986. – 58 с.
- СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП, – 1985. – 85 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 2**



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 15.01.2005.  
Подписано к печати 15.02.2005. Бумага «Снегурочка». Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Гарнитура Arial. Усл.п.л. 33,95 Уч.изд.л. 36,50. Тираж 150 экз. Заказ № 621  
Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г.