

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет транспортных коммуникаций

Кафедра «Автомобильные дороги»

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Составитель: Вишняков Н.В.

Минск БНТУ 2021

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ

Электронный учебно-методический комплекс содержит:

1. Теоретический раздел

1.1 Конспект лекций «Изыскания и проектирование автомобильных дорог»

2. Практический раздел

3. Раздел контроля знаний

4. Вспомогательный раздел

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель ЭУМК:

- повышение эффективности образовательного процесса;
- представление студентам специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» возможности дополнительного самообразования по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог»,
- внедрение перспективных технологий хранения и передачи информации в электронном виде.
- обеспечение открытости и доступности образовательных ресурсов путем размещения ЭУМК в локальной сети университета.

Структура ЭУМК содержит теоретический, практический, вспомогательный раздел и раздел по контролю знаний студентов.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

Необходим IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации.

Для расчетов при проведении практических занятий необходимо программное обеспечение: табличный процессор Microsoft Excel офисного пакета приложений Microsoft Office.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Конспект

лекций по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» для специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Раздел I. Основы проектирования дорог	5
Глава 1. Общие сведения об автомобильных дорогах.	5
Глава 2. Закономерности движения транспортных потоков и обоснование требований к элементам автомобильных дорог	9
2.1. Состав транспортного потока на автомобильных дорогах	10
2.2. Основные характеристики движения транспортных потоков	10
2.2.1. Интенсивность движения	10
2.2.2. Скорость движения	11
2.2.3. Плотность транспортного потока.....	12
2.2.4. Пропускная способность.....	12
2.2.5. Коэффициент загрузки дороги	13
2.2.6. Уровни удобства движения	13
2.3. Сопротивления движению автомобиля	15
2.4. Критерии возможности движения автомобиля.....	18
2.5. Динамический фактор и динамическая характеристика автомобиля	20
2.6. Обоснование максимального продольного уклона автомобильной дороги.....	21
2.7. Торможение автомобиля.....	22
2.8. Требования к видимости на автомобильных дорогах	23
2.8.1. Расстояние видимости для остановки.....	23
2.8.2. Боковая видимость	25
2.9. Обоснование параметров вертикальных кривых	25
2.10. Обоснование ширины проезжей части	26
2.11. Уширение проезжей части на кривых	27
2.12. Особенности движения автомобиля по криволинейному участку плана дороги	27
2.13. Обоснование радиусов горизонтальных кривых	28
2.14. Переходные кривые.....	29
Глава 3. Проектирование трассы автомобильной дороги	30
3.1. Общие положения по проектированию трассы автомобильной дороги	30
3.1.1. Технические требования к трассе автомобильной дороги.....	31
3.1.2. Экономические требования	31
3.1.3. Экологические требования	31
3.1.4. Эстетические требования.....	32
3.2. Проектирование закругления по круговым и переходным кривым	33
3.2.1. Проектирование закругления по круговой кривой.....	34
3.2.2. Проектирование закругления с симметричными переходными кривыми	35
3.3. Проектирование плана трассы автомобильной дороги	35
3.3.1. Проектирование плана трассы в локальных системах координат	37
3.3.2. Проектирование плана трассы в общей системе координат.....	37
3.4. Основные элементы продольного профиля	38
3.5. Проектная линия. Общие правила ее проложения	39
3.6. Проектирование вертикальных кривых.....	43
3.7. Проектирование кюветов.....	44
Глава 4. Проектирование поперечного профиля дорожного полотна	44
4.1. Двухскатный поперечный профиль дорожного полотна	44
4.2. Виражи	45
4.3. Проектирование отгона виража на двухполосных дорогах	45
Глава 5. Проектирование земляного полотна	46
5.1. Земляное полотно и общие требования к нему	46
5.2. Деформации земляного полотна	47
5.3. Типовые поперечные профили земляного полотна.....	48

5.3.1. Типовые поперечные профили насыпей, не подверженных длительному действию воды.....	48
5.3.2. Поперечные профили насыпей при пересечении больших водотоков, водоемов.....	50
5.3.3. Типовые поперечные профили выемок.....	51
5.4. Индивидуальное проектирование земляного полотна.....	55
5.5. Укрепление откосов земляного полотна.....	56
5.6. Водно-тепловой режим земляного полотна.....	56
5.7. Зимнее перераспределение влаги в рабочем слое и образование пучин.....	57
5.8. Регулирование водно-теплого режима рабочего слоя земляного полотна.....	58
5.9. Дренажи в земляном полотне.....	59
5.11. Определение объемов земляных работ.....	59
5.11.1. Определение объемов насыпей.....	60
5.11.2. Определение объемов выемок.....	60
5.11.3. Определение объемов присыпных обочин.....	61
Раздел II. Проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог.....	62
Глава 6. Пересечение автомобильных дорог с инженерными коммуникациями.....	62
6.1. Общие положения по проектированию узлов автомобильных дорог.....	63
Глава 7. Схемы пересечений и примыканий автомобильных дорог.....	65
Глава 8. Проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном уровне.....	68
8.1. Общие требования к проектированию пересечений и примыканий.....	68
8.1.1. Обеспечение видимости.....	68
8.1.2. Обеспечение обзорности пересечений.....	69
8.1.3. Понятность пересечений (примыканий) дороги.....	69
8.1.4. Продольный профиль пересекающихся дорог.....	71
8.1.5. Поперечный профиль второстепенной дороги.....	71
8.2. Проектирование простого пересечения.....	71
8.2.1. Сопряжение кромок проезжей части по круговым кривым, по круговым с переходными.....	72
8.2.2. Сопряжения кромок проезжей части по коробовым кривым.....	72
8.2.3. Проектирование отгона поперечного профиля второстепенной дороги.....	75
8.3. Проектирование канализированных пересечений и примыканий.....	78
8.3.1. Дополнительные полосы на канализированных пересечениях и примыканиях.....	79
8.3.1. Проектирование каплевидных направляющих островков.....	79
8.3.2.2. Проектирование каплевидных островков КНО2.....	80
8.3.1. Проектирование островка накопительной полосы.....	80
8.4 Проектирование кольцевых пересечений (примыканий) в одном уровне.....	80
8.4.1 Общие сведения. Классификация кольцевых пересечений.....	80
8.4.2. Центральный островок, проезжая часть кольцевого пересечения.....	81
8.4.3. Въезды, выезды кольцевого пересечения.....	83
8.4.4. Проектирование плана кольцевого пересечения автомобильных дорог.....	84
8.4.5. Разбивка плана кольцевого пересечения.....	85
Глава 9. ТРАНСПОРТНЫЕ РАЗВЯЗКИ.....	87
9.1. Элементы транспортных развязок.....	87
9.2. Классификация и область применения транспортных развязок.....	89
9.3. Основные схемы полных простых транспортных развязок для четырех направлений.....	90
9.5. Многоуровневые транспортные развязки.....	91
9.6. Схемы транспортных развязок для трех направлений.....	92
9.7.1. «Неполный клеверный лист».....	95
Глава 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ «КЛЕВЕРНЫЙ ЛИСТ».....	97
10.1. Элементы транспортной развязки « клеверный лист».....	97
10.1.1 Сквозной распределительный проезд.....	100
10.1.1. Дорожное полотно соединительных ответвлений (съездов развязок).....	101
10.1.2. Общие сведения о путепроводах.....	102
10.2. Определение длины балочного путепровода на транспортной развязке «Клеверный лист».....	104
10.2.1. Определение длины среднего пролета путепровода.....	105
10.2.2. Определение длины путепровода.....	106
10.3. Проектирование продольного профиля пересекающихся дорог.....	107
10.3.2. Проектирование продольного профиля верхней дороги.....	109
10.4. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений.....	109
10.4.2. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 2.....	111
Раздел III. Проектирование дорог в сложных природных условиях.....	113
Глава 11. Проектирование дорог в заболоченных районах.....	113
11.1.1 Типовые и индивидуальные решения и условия их применения при проектировании земляного полотна.....	113
11.1.2 Проектирование земляного полотна на слабых водонасыщенных грунтах.....	114

11.1.3 Особенности изысканий автомобильных дорог на участках залегания слабых грунтов.....	117
11.1.4 Классификация слабых грунтов и их свойства	119
11.1.5 Выделение расчетных участков и расчетных слоев слабой залежи.....	123
Назначение расчетных характеристик слабых грунтов.....	123
11.1.6 Оценка возможности использования болотной залежи в качестве основания насыпи.....	124
11.1.7 Земляное полотно с использованием в основании слабых грунтов	126
Глава 12. Особенности проектирования автомобильных дорог в горной местности.	134
12.1.1. Трассирование дорог в горной местности	135
12.1.2. Профили горных дорог	141
12.1.3. Проложение дороги по участкам осыпей и камнепадов	144
Глава 13. Особенности проектирования дорог в зоне распространения вечной мерзлоты, в зоне подвижных песков, в зоне оврагов, карста.....	146
13.1.1. Проектирование дорог в районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов.	146
13.1.3. Изыскания автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты.....	150
13.1.4. Принципы проектирования и строительства дорог на вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтах.	152
13.1.5. Конструкции земляного полотна дорог в районах вечной мерзлоты.	155
13.2.1. Проектирование дорог в зоне подвижных песков, в зоне оврагов, карста.	157

Раздел I. Основы проектирования дорог

Глава 1. Общие сведения об автомобильных дорогах. Основные элементы автомобильной дороги

Автомобильная дорога по [1] – комплекс инженерных сооружений, предназначенных для движения транспортных средств с установленными скоростями, нагрузками и габаритами.

Автомобильная дорога как комплекс инженерных сооружений включает земляное полотно, дорожную одежду, мосты, путепроводы, технические средства организации дорожного движения, инженерное оборудование и обустройство, защитные сооружения, а также расположенные на ней объекты дорожного сервиса [1]. Поперечный профиль автомобильной дороги с двумя полосами движения представлен на рисунке 1.1. В поперечном профиле (рис. 1.1.) выделяют проезжую часть 2, обочины 3, составляющие вместе с проезжей частью дорожное полотно 9. Проезжая часть предназначена для движения транспортных средств и ограничивается кромками проезжей части 7. Обочины необходимы для вынужденной остановки автомобилей. На обочине для повышения безопасности движения устраиваются укрепленные полосы 4.

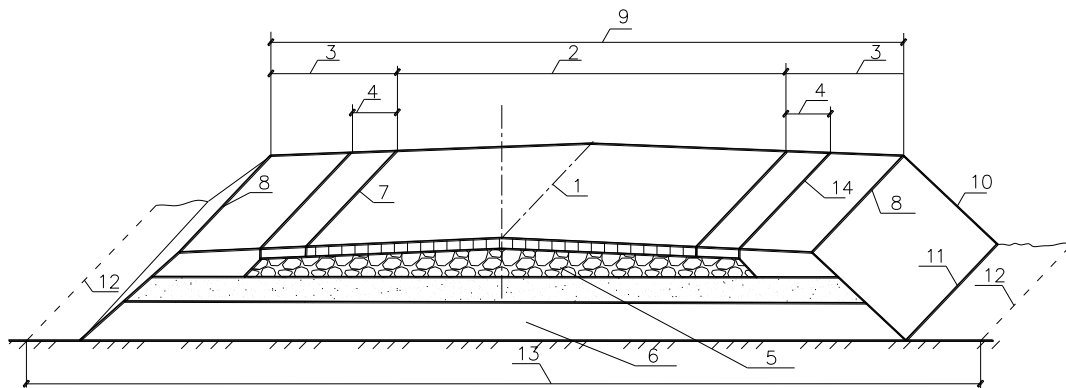


Рис. 1.1. Поперечный профиль автомобильной дороги с двумя полосами движения: 1 – ось дороги; 2 – проезжая часть; 3 – обочина; 4 – укрепленная полоса; 5 – дорожная одежда; 6 – земляное полотно (насыпь); 7 – кромка проезжей части; 8 – бровка обочины; 9 – дорожное полотно; 10 – откос насыпи; 11 – подошва насыпи; 13 – полоса отвода; 14 – кромка укрепленной полосы

На многополосных автомобильных дорогах (рис. 1.2) между проезжими частями 2 встречных направлений движения вводится **разделительная полоса 1**, предназначенная для повышения безопасности движения. На разделительной полосе предусматривают укрепленные полосы 5 шириною по 1,0м. Кроме того, на обочине 3 (рис. 1.2.) могут устраиваться **остановочные полосы 4** шириной 2,50м для аварийной остановки автомобилей.

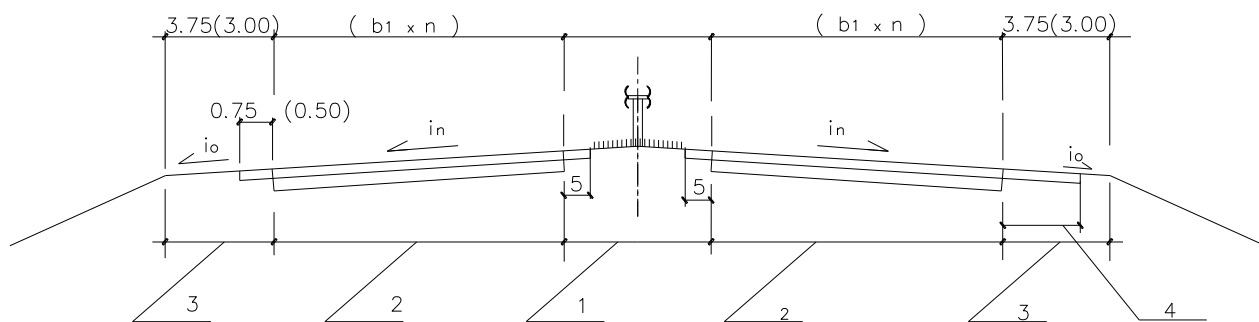


Рис. 1.2. Поперечный профиль автомобильной дороги с многополосной проезжей частью: 1 – разделительная полоса; 2 – проезжая часть; 3 – обочина; 4 – остановочная полоса; 5 – укрепленная полоса

Для размещения автомобильной дороги, объектов дорожного сервиса, а также зданий и сооружений, предназначенных для ее содержания, владельцу автомобильной дороги предоставляется земельный участок, называемый **полосой отвода** (см. 13 на рис. 1.1).

1.1. Классификация автомобильных дорог общего пользования

Автомобильные дороги общего пользования в Республике Беларусь в зависимости от функционального назначения подразделяются на республиканские автомобильные дороги и местные [1].

К **республиканским автомобильным дорогам** относятся автомобильные дороги, включенные в сеть международных автомобильных дорог (например, Е 30), а также автомобильные дороги, обеспечивающие транспортные связи:

- столицы РБ (г. Минск) с административными центрами областей, с Национальным аэропортом “Минск”;
- административные центры областей между собой;
- административные центры областей с административными центрами районов, с аэропортами;
- административные центры районов между собой по одному из направлений;
- пунктов пропуска через границу.

Автомобильные дороги общего пользования должны иметь наименования и номера, а автомобильные дороги необщего пользования – наименования. Номер автомобильной дороги состоит из букв алфавита и группы цифр. Они указываются на дорожных знаках, картах и атласах. Например, республиканская автомобильная дорога Минск-Молодечно-Нарочь имеет номер Р28. Важнейшим республиканским дорогам присвоена буква М. К таким дорогам относятся (рис. 1.3):

номер	Маршрут
M1 E 30	Брест (Козловичи) — Минск — граница Российской Федерации (Редьки);
M2	Минск — Национальный аэропорт Минск
M3	Минск — Витебск ; подъезды к Мемориальному Комплексу Хатынь, г.п. Бешенковичи, г. Логойск, д. Малиновка
M4	Минск — Могилёв ; подъезд к аэропорту Могилев
M5 E 271	Минск — Гомель ; подъезды к городам Осиповичи, Бобруйск и Жлобин
M6 E 28	Минск — Гродно — граница Республики Польша (Брузги); подъезды к городам Лида, Воложин, Гродно, аэропорту Гродно
M7 E 28	Минск — Ошмяны — граница Литовской Республики (Каменный Лог); подъезд к городу Воложин
M8 E 95	Граница Российской Федерации (Езерище) — Витебск — Гомель — граница Украины (Новая Гута);
M9	Кольцевая автомобильная дорога вокруг г. Минска (МКАД). 08.02.2013 года передана в ведение Мингорисполкома (как улица)
M10	Граница Российской Федерации (Селище) — Гомель — Кобрин ; подъезды к городам Пинск, Житковичи, Лунинец, Петриков, Гомель
M11 E 85	Граница Литовской Республики (Бенякони) — Лида — Слоним — Бытень ; подъезд к санаторию Радон



Рис. 1.3. Схема важнейших республиканских дорог Республики Беларусь

Транспортный корридор IX имеет продолжение от границы РФ на Псков, Санкт-Петербург, Хельсинки, Стокгольм; от границы с Украиной на Киев-Одессу, порт Ильичевск; до границы Молдовы, Дубоссары, Кишинев, Унгень, граница Румынии.

К **местным автомобильным дорогам** относят остальные автомобильные дороги общего пользования. Они обеспечивают транспортные связи сельских населенных пунктов с районными центрами между собой (в том числе и дороги, проходящие по территории этих населенных пунктов, садоводческих товариществ) с автомобильными дорогами общего пользования.

По функциональному назначению, по условиям доступа на автомобильные дороги и по обеспечиваемому уровню обслуживания, по загруженности транзитными и местным движением автомобильные дороги делятся на **классы и категории** [2] (таблица 1.1).

Т а б л и ц а 1.1

Класс дороги	Категория	Функциональное назначение дороги	Область применения
Автомагистраль	I–а	Для передвижения интенсивных транспортных потоков на большие расстояния без обслуживания прилегающих территорий	Участки основных республиканских дорог протяженностью не менее 150 км с долей транзита в транспортном потоке более 50%
Скоростные автомобильные дороги	I–б	Для локальных передвижений транспортных потоков с высокой скоростью	Республиканские автомобильные дороги на подходах к крупнейшим городам на расстоянии 40 – 50 км, подъезды к аэропортам I класса, кольцевые дороги вокруг крупнейших городов
Обычные автомобильные дороги	I–в, II, III, IV, V	Дороги общего назначения	Республиканские автомобильные дороги (кроме автомагистралей и скоростных автомобильных дорог) и местные автомобильные дороги (кроме автомобильных дорог низших категорий).
Автомобильные дороги низших категорий	VI–а, VI–б	Обеспечение постоянных подъездов к малым сельским поселениям	Тупиковые дороги с незначительной интенсивностью.

Примечание: В соответствии СНБ 3.01.04, к крупнейшим относятся города с численностью населения на перспективный период, превышающей 1000000 человек, к крупным – превышающий 200000 человек.

Категория автомобильной дороги назначается по расчетной интенсивности движения (таблица 1.2). **Расчетной интенсивностью движения** является количество автомобилей (*ед/сут*), которое будет проходить через поперечное сечение автомобильной дороги (в обоих направлениях) в сутки за последний год перспективного периода, равного 20 лет.

Глава 2. Закономерности движения транспортных потоков и обоснование требований к элементам автомобильных дорог

2.1. Состав транспортного потока на автомобильных дорогах

Транспортный поток на автомобильной дороге общего пользования состоит из движущихся транспортных средств.

Транспортным средством называют устройство, предназначенное для движения по дороге и для перевозки пассажиров, грузов или установленного на нем оборудования [3]. Транспортные средства делятся на механические и гужевые. **Механическое транспортное средство** приводится в движение двигателем, а **гужевое транспортное средство** – мускульной силой животного.

Основными видами механических транспортных средств являются автомобили (легковые и грузовые), автобусы, автопоезда, мотоциклы, мотороллеры, мопеды, колесные трактора. В дальнейшем будем применять термин движение «транспортные средства» (подразумеваются механические транспортные средства).

2.2. Основные характеристики движения транспортных потоков

Транспортный поток на автомобильной дороге состоит из отдельных транспортных средств с различными динамическими характеристиками. Автомобилями управляют водители, имеющие большую разницу в квалификации, в способности к восприятию и оценке дорожных условий. Поэтому закономерности движения транспортных потоков основываются на статистической обработке результатов наблюдений.

Основные характеристики движения транспортных потоков количественно описываются интенсивностью движения, скоростью движения плотностью потока. Кроме того, используется понятия “коэффициент загрузки движением”.

2.2.1. Интенсивность движения

Интенсивность движения N определяется числом автомобилей, проходящих через некоторое сечение дороги в единицу времени (сутки, час).

Различают суточную и часовую интенсивность движения.

Интенсивность движения изменяется в течение года (месяца, дней недели) и в течении суток.

Поэтому различают среднюю часовую интенсивность движения в течении суток, среднюю суточную интенсивность движения в течение месяца и среднюю суточную интенсивность движения в течение года.

Во время “пиковых” периодов интенсивность движения может изменяться по направлениям движения (рис. 2.3, кривые 2 и 3). Различие в интенсивности движения по направлениям оценивают **коэффициентами неравномерности движения по направлениям**, равным отношению интенсивности движения по данному направлению к общей интенсивности движения. Если коэффициент неравномерности 0,75 и более, то категорию дороги

назначают по интенсивности движения на более загруженном направлении (табл. 1.3).

2.2.2. Скорость движения

Скорость движения является качественной характеристикой движения транспортного потока. Различают скорости движения отдельных автомобилей, среднюю скорость движения потока, критическую скорость транспортного потока, расчетную скорость.

Скорость движения отдельного автомобиля определяется известным соотношением.

$$V_i = 3,6 l_i / t_i, \quad (2.3)$$

где V_i – скорость движения отдельного автомобиля, км/ч;

l_i - пройденное расстояние, м;

t_i - время поездки, с.

На скорость движения отдельного автомобиля влияют многие факторы, которые удобно всели к следующим категориям: водитель, автомобиль, дорога, транспортный поток и окружающая среда.

Среди различных факторов, влияющих на скорость отдельного автомобиля, наиболее существенным фактором является тип автомобиля (легковой, грузовой, автомобиль без прицепа, с прицепом, автобус), а также его техническое состояние.

На выбор скорости движения водителем влияют технические параметры автомобильной дороги (радиусы кривых, уклоны, число полос движения, тип покрытия) и ее состояние.

Скорости движения отдельных автомобилей на участке автомобильной дороги изменяются в сравнительно широком интервале, но для основного количества автомобилей располагаются вблизи некоторого среднего значения и соответствуют закону нормального распределения.

Расчетная скорость движения зависит от категории автомобильной дороги и принимается по таблице 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Расчетная скорость, км/ч	Категория дороги								
	I-а	I-б	I-в	II	III	IV	V	VI-а	VI-б
основная	140	120	120	120	100	80	60	40	30
допускаемая	120	100	100	100	80	60	40	-	-

Допускаемые расчетные скорости, приведенные в таблице 2.1, применяются для проектирования отдельных участков дороги, расположенных в холмистой местности, в стесненных условиях или при реконструкции существующей автомобильной дороги.

К холмистой местности относят рельеф с разницей отметок долин и водоразделов 50 м и более на расстоянии до 0,5 км.

Стесненные условия определяются наличием вдоль дороги, проектируемой в пригородной зоне, капитальных сооружений, лесных массивов, важных инженерных коммуникаций (корридоров высоковольтных линий электропередач, магистральных трубопроводов), природоохранных территорий, глубоких (более 5 м) болот.

2.2.3. Плотность транспортного потока

Плотность транспортного потока – количество автомобилей, приходящихся на единицу длины (1 км) однородного участка дороги.

$$q = N/v, \text{ авт/км};$$

(2.4)

где N – интенсивность движения, *авт/ч*;

V – скорость движения, *км/ч*.

С увеличением плотности транспортного потока уменьшается средняя скорость движения транспортного потока

Продольное расположение транспортного потока характеризуется расстоянием между автомобилями (**дистанцией**). Средняя дистанция обратно пропорциональна плотности потока.

2.2.4. Пропускная способность

Пропускная способность – количество автомобилей, которое может проехать через поперечное сечение дороги в единицу времени с максимальной скоростью, обеспечивающей безопасность движения. Эта скорость зависит от состояния проезжей части дороги, плотности транспортного потока и дорожных условий. Поэтому и пропускная способность зависит от дорожных условий. Различают идеальные и фактические дорожные условия.

В качестве идеальных условий принимают следующие:

- непрерывный поток только легковых автомобилей;
- геометрические элементы дороги обеспечивают видимость и движение автомобиля со скоростью 120 км/ч;
- ширина полосы движения 3,6 м, обочины укреплены.

По данным наблюдениям (США) пропускная способность двухполосной дороги в идеальных дорожных условиях составляет 2000 *авт/ч*.

В дорожных условиях, отличающихся от идеальных, пропускная способность дороги (полосы дороги) уменьшается.

2.2.5. Коэффициент загрузки дороги

Коэффициент загрузки дороги движением определяется как отношение интенсивности движения N к пропускной способности P , т.е.

$$z = N/P \quad (0 \leq z \leq 1,0) \quad (2.5)$$

2.2.6. Уровни удобства движения

Удобство, безопасность и экономичность движения по автомобильным дорогам в значительной мере определяется степенью загрузки дороги транспортом, т.е. зависит от величины коэффициента загрузки дороги. Чрезмерное увеличение интенсивности движения приводит к нарушению равномерности движения потока автомобилей, снижению скорости, увеличению количества дорожно-транспортных происшествий и снижению экономической эффективности автомобильных перевозок.

Для характеристики условий движения используют показатель уровня удобства движения. В некоторых странах этот показатель называется уровень обслуживания (США), уровень свободы движения (Польша).

Под **уровнем удобства (обслуживания) движения** понимают определенное качественное состояние транспортного потока, при котором устанавливаются характерные условия труда водителей, а также определенный уровень аварийности.

На двухполосных дорогах (по В.В.Сильянову, РФ) различают четыре уровня удобства (А, Б, В и Г), а на многополосных дорогах (по Д.Дрю, США) выделяют шесть уровней обслуживания А, В, С, D, Е, F в порядке убывания от лучшего к худшему.

Водитель автомобиля субъективно оценивает уровень удобства (обслуживания или свободы движения) возможностью выбора траектории и скорости движения, простотой или сложностью маневрирования, чувством опасности движения (как правило, неосознанным), комфортом.

Рассмотрим уровни удобства на двухполосных дорогах по В.В.Сильянову (РФ).

Уровень удобства А характеризуется коэффициентом загрузки дороги движения $z \leq 0,2$, коэффициентом скорости $c \geq 0,9$. Водители выдерживают желаемую скорость движения. Поток при уровне удобства А называют **свободным**.

Уровень удобства Б характеризуется уровнем загрузки $0,2 < z \leq 0,45$ и коэффициентом скорости $0,9 > c \geq 0,7$. Наблюдается большее количество обгонов. Движение происходит в виде групп автомобилей. Передний автомобиль в группе движется медленно, задерживая задние. Водители их ожидают удобного момента для совершения обгона с выездом на встречную полосу двухполосных дорог или для опережения с выездом на попутную полосу многополосных дорог. После обгона или опережения водители могут продолжать движение с режимом одиночного автомобиля, пока не нагонят следующую группу. Обгон при коэффициенте загрузки дороги движением $z = 0,45$ практически невозможен. Эмоциональная напряженность водителя растет, а комфортабельность движения снижается. Транспортный поток при уровне загрузки Б называют **устойчивым**.

Уровень удобства В будет при уровне загрузки дороги движением $0,45 < z \leq 0,7$. Наблюдается дальнейшее снижение скоростей движения ($0,7 > c \geq 0,55$). Эмоциональная напряженность водителя достигает наивысшего уровня. Поток состоит из больших групп и пачек, которые быстро распадаются при появлении редкой возможности совершения маневра обгона. Транспортный поток при уровне В называют **неустойчивым**.

Уровень удобства Г характеризуется параметрами: $0,7 < z \leq 1,0$; $0,55 > c \geq 0,40$. Состояние потока близко к затору, движение автомобилей происходит с остановками. Обгоны исключены. Эмоциональная напряженность водителей снижается вследствие низких скоростей. Движение происходит с малыми скоростями в колонном режиме. Транспортный поток при уровне удобства называют **плотным (насыщенным)**.

Рассмотрим уровни обслуживания (свободы движения) на многополосных дорогах.

Представление об уровнях обслуживания (свободы движения) по Д.Дрю (США) дает зависимость. Эта зависимость построена для непрерывного транспортного потока (без задержек на пересеченных).

Рис. 2.6. Зависимость уровня удобства движения (А, В, С, D, Е, F) от коэффициента загрузки дороги.

Уровень обслуживания (свободы движения) А характеризуется коэффициентом загрузки $z \leq 0,35$ и коэффициентом скорости $c \geq 0,9$. Плотность транспортного потока одной полосы составляет примерно 6 *авт/км*. Водители выдерживают желаемую скорость движения, обгоны практически отсутствуют. Поток при уровне обслуживания А называют **свободным**.

Поскольку при данном уровне скорость движения автомобилей высокая, а плотность потока малая (рис.2.6), то частота дорожно-транспортных происшествий некоторых видов может быть выше, чем при других уровнях удобства. Суммарные затраты на поддержание уровня обслуживания А могут быть чрезмерными.

Уровень обслуживания (свободы движения) В характеризует движение устойчивого потока автомобилей. Коэффициенты загрузки дороги движением имеют величины, $0,35 < z < 0,55$, а коэффициентом скорости движения $0,9 > c \geq 0,83$. Плотность потока по одной полосе увеличивается до 12 авт/км . При уровне обслуживания В максимальная скорость движения автомобилей уменьшается, увеличивается число обгонов с выездом на попутную полосу (опережений по [3]), образуются “пачки” автомобилей. Данный уровень обслуживания является типичным для многополосных автомобильных дорог.

Уровень обслуживания свободы движения С ($0,55 < z < 0,75$) все еще характеризуется устойчивым потоком. Плотность транспортного потока достигается до 22 авт/км на полосу движений. Практически все водители вынуждены ограничивать скорость движения ($0,83 > c \geq 0,75$) и переходы с одной полосы на другую.

Уровень обслуживания D ($0,75 \leq z < 0,90$) характеризуется потоком автомобилей, который приближается к неустойчивому. Скорость движения ($0,75 > c \geq 0,67$) сохраняется в среднем на приемлемом уровне, но иногда внезапно и резко изменяется. Свобода маневрирования и возможность нормальной езды находятся на низком уровне, поскольку плотность движения на полосу достигает $28 - 31 \text{ авт/км}$, а вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий возрастает. Почти все водители автомобилей считают этот уровень обслуживания неудовлетворительным.

Уровень обслуживания (свободы движения) E характеризуется коэффициентом загрузки дороги движением $0,9 < z \leq 1$ и неустойчивым потоком движения автомобилей. Верхний предел уровня обслуживания E – это пропускная способность дороги. Движение нестабильно: скорость движения постоянно изменяется, независимый выбор скорости движения или маневра водителем практически невозможен ($0,67 > c \geq 0,33$). Плотность потока на полосу достигает $43 - 47 \text{ авт/км}$. Из-за малой величины интервала между автомобилями и резкого изменения скорости, водители испытывают серьезные трудности в управлении автомобилем, а вероятность ДТП очень высока.

Уровень обслуживания (свободы движения) F характеризует функционирование многополосной дороги при плотности потока выше $43 - 47 \text{ авт/км}$. Скорость движения ниже, чем при уровне удобства E, ($c < 0,33$), а в короткие промежутки времени она может падать до нуля (остановки потока).

2.3. Сопротивления движению автомобиля

При своем движении автомобиль преодолевает силу сопротивления качению, силу сопротивления воздуха, силу сопротивления подъему и силу инерции.

Сила сопротивления качению складывается из сил трения, возникающих между поверхностью шины и дорожным покрытием, сил сопротивления неровностям и сил трения в подшипниках колес

$$P_f = f \cdot G, \text{ н,} \quad (2.6)$$

где f – коэффициент сопротивления качению; зависит от типа покрытия и скорости движения автомобиля;

G – полный вес автомобиля, н.

Коэффициент сопротивления качению при движении легкового автомобиля по усовершенствованному покрытию со скоростью до 95 км/ч примерно постоянен и составляет 0,0135. Для более высоких скоростей движения это коэффициент f будет увеличиваться на 10% при каждом увеличении скорости на 15 км/ч выше значения 95 км/ч.

Сила сопротивления воздуха в основном складывается из сил лобового сопротивления, которое вызвано разностью давления воздуха спереди и сзади движущегося автомобиля, сил сопротивления, создаваемого выступающими частями автомобиля, и сил трения наружных поверхностей автомобиля о ближайшие слои воздуха.

Сила инерции движения представляет собой силу, которую необходимо преодолеть, чтобы изменить скорость движения автомобиля. Она зависит от массы автомобиля, величины ускорения (замедления)

Коэффициент сцепления ϕ называют отношение максимального тягового усилия к вертикальной нагрузке на покрытие $G_{сц}$, при превышении которого начинается пробуксовывание ведущего колеса или проскальзывание заторможенного.

Величина коэффициента сцепления зависит от состояния покрытия дороги и протектора шины, от скорости движения. В таблице 2.2 приведены данные о средних значениях коэффициенты сцепления при заносе легкового автомобиля на асфальтобетонном покрытии.

Т а б л и ц а 2.2.

Скорость движения, км/ч	Значение коэффициента сцепления		
	Сухая поверхность покрытия		Влажная поверхность
	Новые стандартные шины	Сильно изношенные шины	

18	0,74	0,61	-
32	0,76	0,60	0,40
48	0,74	0,57	0,36
64	0,75	0,48	0,33
80	-	-	0,31
96	-	-	0,30
113	-	-	0,24
130	-	-	0,27

Динамический фактор автомобиля – удельное тяговое усилие, затрачиваемое на преодоление дорожных сопротивлений. Сила тяги и сила сопротивления воздуха зависят от скорости. Поэтому и динамический фактор автомобиля изменяется при изменении скорости.

График зависимости динамического фактора от скорости движения при полной нагрузке на автомобиль называют **динамической характеристикой** автомобиля (рис.2.9). Скорость, при которой динамический фактор автомобиля на данной передаче является максимальным, называется критической $V_{кр}$ для данной передачи.

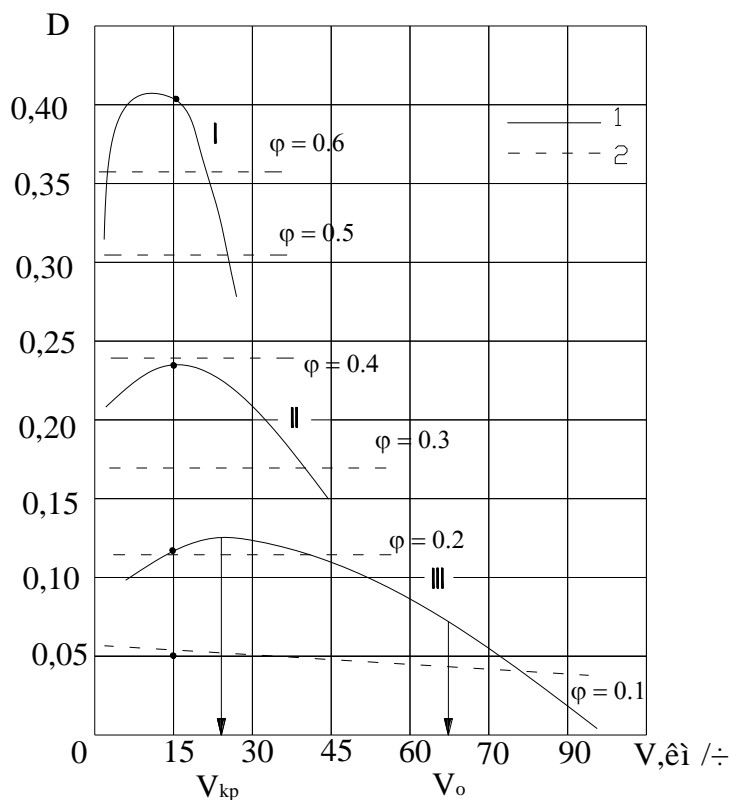


Рис. 2.9. Динамическая характеристика автомобиля со ступенчатой коробкой передач: 1 – по тяге; 2 – по сцеплению

Транспортный поток состоит из автомобилей разных типов и может изменяться в процессе службы дороги. Величина продольного уклона оказывает влияние на среднюю скорость движения всего потока и очень ощутимо на скорость движения грузовых автомобилей, на расход топлива. Увеличение продольного уклона приводит к росту эксплуатационных затрат автомобильного транспорта. Однако уменьшение величины продольного уклона участка автомобильной дороги приводит к увеличению объемов земляных работ и стоимости строительства. Суммарные затраты имеют минимум, соответствующий оптимальному значению продольного уклона. Поэтому величина продольного уклона нормируется в зависимости от расчетной интенсивности движения автомобильного транспорта, по которой назначается категория автомобильной дороги и расчетная скорость. Максимальный продольный уклон автомобильной дороги приведен в таблице 2.2 в зависимости от расчетной скорости (категории дороги).

Т а б л и ц а 2.2

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60	40
Наибольший продольный уклон, ‰	40	40	50	60	70	90

2.4. Критерии возможности движения автомобиля

На ведущие колеса автомобиля от двигателя передается вращающий момент $M_{вр}$. Он вызывает появление пары сил P_a и R_k (рис. 2.8). ($|P_a| = |R_k|$). Сила P_a передается на раму автомобиля и вызывает движение автомобиля. Она называется силой тяги.

$$P_a = M_{вр} / z_k,$$

где z_k — радиус качения колеса.

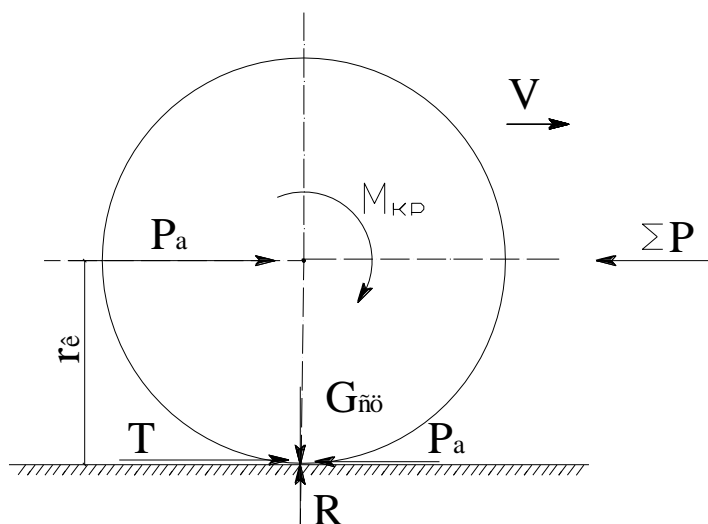


Рис.2.8. Схема сил, действующих на ведущие колеса автомобиля.

На действие силы R_k в плоскости контакта шины с покрытием возникает горизонтальная реакция T , равная по абсолютной величине силе R_k , т.е.

$$|T| = |R_k|$$

Максимальная величина горизонтальной реакции T зависит от состояния покрытия и называется силой сцепления: $T_{\max} = T_{\text{сц}}$. Сила сцепления колеса автомобилем с покрытием определяется по формуле

$$T_{\text{сц}} = \varphi \cdot G_{\text{сц}}, \text{ Н} \quad (2.11)$$

где φ – коэффициент сцепления;

$G_{\text{сц}}$ – вес, приходящийся на ведущие колеса автомобиля (сцепной вес), н.

Коэффициент сцепления φ называют отношением максимального тягового усилия к вертикальной нагрузке на покрытие $G_{\text{сц}}$, при превышении которого начинается пробуксовывание ведущего колеса или проскальзывание заторможенного.

Величина коэффициента сцепления зависит от состояния покрытия дороги и протектора шины, от скорости движения. В таблице 2.2 приведены данные о средних значениях коэффициенты сцепления при заносе легкового автомобиля на асфальтобетонном покрытии.

Т а б л и ц а 2.2.

Скорость движения, км/ч	Значение коэффициента сцепления		
	Сухая поверхность покрытия		Влажная поверхность
	Новые стандартные шины	Сильно изношенные шины	
18	0,74	0,61	-
32	0,76	0,60	0,40
48	0,74	0,57	0,36
64	0,75	0,48	0,33
80	-	-	0,31
96	-	-	0,30
113	-	-	0,24
130	-	-	0,27

Таким образом, для преодоления суммарного сопротивления $\sum P$ (см. рисунок 2.8), определяемого формулой (2.10), без буксования автомобиля необходимо, чтобы

$$P_a \geq \sum P, \quad (2.12, a)$$

$$P_a \leq T_{сц}, \quad (2.12, б)$$

Условия (2.12) являются критериями возможности движения автомобиля по тяге (2.12, а) и по сцеплению (2.12, б)

2.5. Динамический фактор и динамическая характеристика автомобиля

Критерий возможности движения автомобиля (2.12, а) определяется выражением

$$P_a = P_f + P_W \pm P_i \pm P_j \quad (2.13)$$

Зависимость (2.13) называется **уравнением движения автомобиля**. Для равномерного движения ($P_j = 0$) это уравнение примет вид

$$P_a = f G + P_W \pm i G; \quad P_a - P_W = G(f \pm i);$$

$$(P_a - P_W)/G = D = f \pm i; \quad (2.14)$$

где D – динамический фактор автомобиля.

Динамический фактор автомобиля – удельное тяговое усилие, затрачиваемое на преодоление дорожных сопротивлений. Сила тяги и сила сопротивления воздуха зависят от скорости. Поэтому и динамический фактор автомобиля изменяется при изменении скорости.

График зависимости динамического фактора от скорости движения при полной нагрузке на автомобиль называют **динамической характеристикой** автомобиля (рис.2.9). Скорость, при которой динамический фактор автомобиля на данной передаче является максимальным, называется критической $V_{кр}$ для данной передачи.

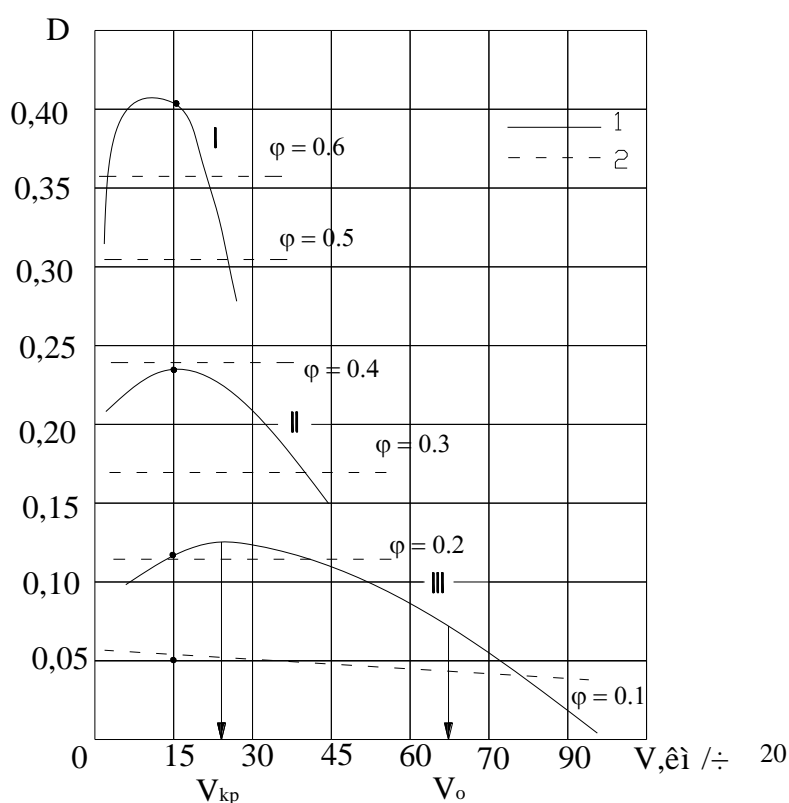


Рис. 2.9. Динамическая характеристика автомобиля со ступенчатой коробкой передач: 1 – по тяге; 2 – по сцеплению

Для предотвращения буксования автомобиля необходимо выполнить критерий (2.12, б). Этот критерий для равномерного движения с учетом условия (2.10) и (2.11) дает выражение

$$T_{\text{сц}} = f G + P_W \pm i G$$

Из этого выражения получим формулу динамической характеристики по сцеплению

$$(\varphi \cdot G_{\text{сц}} - P_W)/G = D_{\text{сц}} = f \pm i \quad (2.15)$$

График динамических характеристик по условиям сцепления показаны на рисунке 2.9.

2.6. Обоснование максимального продольного уклона автомобильной дороги

При движении автомобиля с постоянной скоростью максимальный продольный уклон дороги можно определить исходя из зависимостей (2.14) и (2.15):

$$\text{по тяге} \quad i_{\text{max}} = D - f \quad (2.16, \text{а})$$

$$\text{по сцеплению} \quad i_{\text{max, сц}} = D_{\text{сц}} - f \quad (2.16, \text{б})$$

На коротких участках автомобильной дороги с крутыми подъемами можно допустить уменьшение скорости движения от V_0 автомобиля до критической скорости $V_{\text{кр}}$ на данной передаче (рис. 2.9). При передвижении автомобиля весом G на таком участке дороги длиной ℓ высвобождаемая кинетическая энергия за счет уменьшения скорости движения от V_0 до $V_{\text{кр}}$ затрачивается на работу по преодолению дополнительного уклона i_d на участке длиной ℓ .

$$\frac{G}{2g} \left(\frac{V_0^2 - V_{\text{кр}}^2}{13} \right) = G \cdot i_d \ell$$

Дополнительный продольный уклон на крутом подъеме, преодолеваемый автомобилем

$$i_d = (V_0^2 - V_{\text{кр}}^2) / (254 \ell)$$

где V_0 – скорость автомобиля (км/ч) при подходе к подъему;

$V_{кр}$ - критическая скорость на данной передаче;

ℓ -длина подъема.

Общий уклон i_k короткого участка дороги с крутым подъемом равен

$$i_k = i_{\max} + i_d \quad (2.17)$$

где i_{\max} - максимальный уклон, преодолеваемый автомобилем при движении с постоянной скоростью.

Транспортный поток состоит из автомобилей разных типов и может изменяться в процессе службы дороги. Поэтому продольный уклон, полученный по формулам (2.16), (2.17) для какого-либо одного типа автомобиля, нельзя нормировать для всего потока автомобилей. Величина продольного уклона оказывает влияние на среднюю скорость движения всего потока и очень ощутимо на скорость движения грузовых автомобилей, на расход топлива. Увеличение продольного уклона приводит к росту эксплуатационных затрат автомобильного транспорта. Однако уменьшение величины продольного уклона участка автомобильной дороги приводит к увеличению объемов земляных работ и стоимости строительства. Суммарные затраты имеют минимум, соответствующий оптимальному значению продольного уклона. Поэтому величина продольного уклона нормируется в зависимости от расчетной интенсивности движения автомобильного транспорта, по которой назначается категория автомобильной дороги и расчетная скорость. По ТКП 45-3.03-19-2006 (02250) максимальный продольный уклон автомобильной дороги приведен в таблице 2.2 в зависимости от расчетной скорости (категории дороги).

Т а б л и ц а 2.2

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60	40
Наибольший продольный уклон, ‰	40	40	50	60	70	90

2.7. Торможение автомобиля

Условно рассмотрим автомобиль в виде колеса с вертикальной нагрузкой G , равной полному весу автомобиля (рис.2.10).

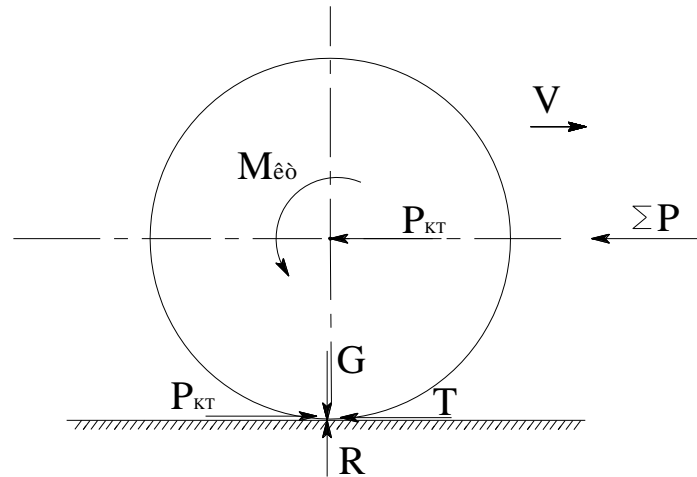


Рисунок 2.10. Схема сил, действующих на автомобиль при торможении

При экстренном торможении в аварийной ситуации с выключенным сцеплением на всех колесах автомобиля возникает суммарный тормозной момент $M_{\text{КТ}}$ и соответствующая ему пара сил $P_{\text{КТ}}$

2.8. Требования к видимости на автомобильных дорогах

Расстояние, на котором водитель автомобиля должен видеть впереди себя дорогу, чтобы остановить автомобиль перед препятствием или объехать его, называют **расчетным расстоянием видимости**.

Препятствия бывают неподвижными (предметы на проезжей части, пешеходы, животные) и подвижными (автомобили, пешеходы, животные).

Различают расчетные расстояния видимости для остановки автомобиля перед неподвижным препятствием, для обгона тихоходного автомобиля и боковой видимости.

2.8.1. Расстояние видимости для остановки

Расчетное расстояние видимости для остановки перед неподвижным препятствием равно сумме трех расстояний: расстоянию, пройденному автомобилем без торможения после того, как водитель обнаружил препятствие; тормозному пути $S_{\text{т}}$, зазору безопасности между остановившимся автомобилем и препятствием.

$$S_1 = \frac{V}{3,6} t_p + \frac{K_{\text{Э}} V^2}{254(\varphi \pm i)} + l_0, \text{ м},$$

(2.22)

где V – расчетная скорость движения; км/ч;

t_p – время реакции водителя и запаздывания действия тормозов ($t_p = 2,6$);

$K_{\text{Э}}$ – коэффициент эффективности торможения ($K_{\text{Э}} = 1,4$);

φ – коэффициент сцепления;

i – продольный уклон в долях единицы;

l_0 – зазор безопасности между автомобилем и препятствием, принимаемый равным длине автомобиля.

Расчетное расстояние видимости при обгоне определяется для двухполосных дорог с двухсторонним движением. Схема определения этого расстояния по М.С.Замахаеву приведена на рисунке 2.11.

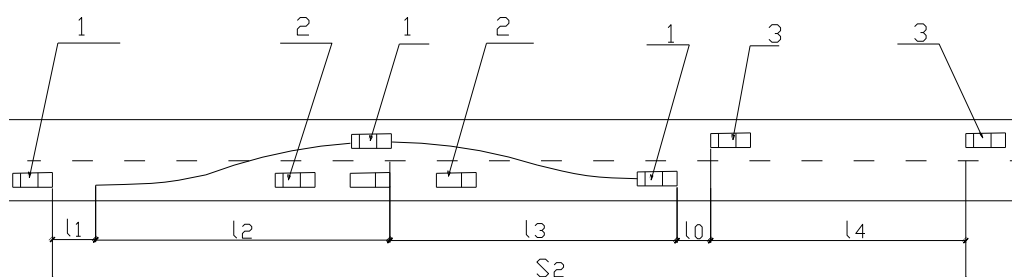


Рис. 2.11. Схема определения расчетного расстояния видимости при обгоне по М.С.Замахаеву

По этой схеме началом обгона считается момент, когда обгоняющий автомобиль 1 приблизится к обгоняемому автомобилю 2 на расстояние, равное разности их тормозных путей S_1 и S_2 ,

Рассмотренная схема обгона имеет допущение о постоянной скорости движения обгоняющего автомобиля, о величине дистанции между обгоняющим и обгоняемым автомобилем. Транспортный поток состоит из автомобилей с различными динамическими характеристиками. Поэтому величина расчетного расстояния видимости при обгоне в отдельных странах различна.

Для повышения безопасности движения в ряде стран нормируется минимальный процент участков автомобильной дороги, на которых возможен обгон.

Так, в Польше при проектировании автомобильной дороги необходимо обеспечить минимальное протяжение участков дороги с возможностью обгона, равное 55, 50, 35 и 25% на категориях дороги соответственно II, III, IV и V.

2.8.2. Боковая видимость

На участках автомобильных дорог, где возможно попадание с придорожной полосы на проезжую часть пешеходов, животных следует обеспечить водителю боковую видимость.

2.9. Обоснование параметров вертикальных кривых

Высотное положение автомобильной дороги определяет проектная линия. В случае автомобильных дорог II – VI категорий **проектной линией** является высотное положение оси дороги, а в случае дорог I-а, I-б, I-в категорий - ось проезжей части каждого направления.

Проектная линия может состоять из прямолинейных и криволинейных участков. Криволинейные участки описывают кривыми постоянной или переменной кривизны. Постоянную кривизну имеют круговые кривые.

Круговые кривые рассчитывают по уравнению квадратной параболы

$$y = x^2/(2R) \quad (2.24)$$

где x – расстояние от начала кривой до рассматриваемой точки на кривой;

y – отклонение кривой от прямой, касательной к кривой в начале координат (отклонение от оси x)

R – радиус кривизны в начале координат (радиус кривой).

Различают выпуклые и вогнутые вертикальные кривые. При проектировании вертикальных кривых назначают радиусы – минимальные и основные.

Минимальный радиус выпуклой кривой нормируется исходя из необходимости обеспечения расчетного расстояния видимости для остановки автомобиля перед неподвижным препятствием.

Рекомендуемый (основной) радиус выпуклой вертикальной кривой рекомендуется назначать из условия обеспечения видимости при обгоне.

Наименьшие радиусы вогнутых вертикальных кривых определяют исходя из обеспечения расчетного расстояния видимости для остановки ночью (рис. 2.15).

Наименьший радиус вогнутой кривой, при котором обеспечивается ночью видимость для остановки

В Республике Беларусь рекомендуется в качестве основных параметров следует принимать:

- радиусы кривизны выпуклых кривых не менее 70000 м на дорогах I-а категории, не менее 25000 м на дорогах I-б, I-в, II, III и IV категорий;
- радиусы кривизны вогнутых вертикальных кривых не менее 8000 м.
- длины вертикальных кривых непрерывно выпуклых не менее 300 м, непрерывно вогнутых не менее 100 м.

Если по условиям местности не представляется возможным обеспечить приведенные выше основные рекомендуемые параметры или их выполнение связано со значительными объемами работ и стоимостью строительства, при соответствующем обосновании допускается снижение норм проектирования вертикальных кривых до предельно допустимых. Для Республики Беларусь эти предельно допустимые нормы по приведены в таблице 2.6.

Т а б л и ц а 2.6

Расчетная скорость, км/ч		140	120	100	80	60	40
Наименьшие радиусы кривых, м	выпуклых	25000	15000	8000	4000	1500	1000
	вогнутых	8000	6000	4000	2500	1500	1000

Переломы проектной линии допускается не сопрягать вертикальными кривыми при алгебраической разности уклонов соседних прямых 2‰ и менее на дорогах I-а, I-б, I-в и II категории, 5‰ и менее на дорогах III, IV и V категорий с усовершенствованными дорожными одеждами, 20‰ и менее на дорогах IV, V категорий и низшими типами дорожных одежд. При этом длина прямой должна составлять не менее 150 м.

2.10. Обоснование ширины проезжей части

Ширина проезжей части определяется количеством полос движения, шириной полосы.

Количество полос движения зависит от расчетной интенсивности движения на проектируемой автомобильной дороге, от пропускной способности одной полосы движения и уровня загрузки дороги движением

$$n = \frac{N \cdot E}{z N_{np}},$$

где N – расчетная интенсивность движения, *авт/ч*;

E – коэффициент сезонной неравномерности движения;

z – коэффициент загрузки, соответствующий необходимому для данной дороги уровню свободы движения;

N_{np} – типичная пропускная способность дороги данной категории.

В Республике Беларусь на дорогах II, III, IV и V категории предусматривается две полосы движения, на дорогах VI категории одна полоса. На дорогах I категории проектируют 4, 6 полос движения и более. По ТКП [2] шесть полос движения следует предусматривать:

- на дорогах I-а категории при расчетной интенсивности движения свыше 30000 *ед/сут* и более;
- на дорогах I-б и I-в категории свыше 40000 *ед/сут*;
- на участках дорог I-б и I-в категорий в зоне влияния крупных и крупнейших городов при расчетной интенсивности движения 7000 *прив. ед./ч* и более в обоих направлениях или 3500 *прив. ед./ч* и более в наиболее загруженном направлении.

На многополосных дорогах I технической категории возможны такие разновидности полос движения:

- крайняя (у обочины или у разделительной полосы) полоса при наличии на соседней попутного движения;
- промежуточная полоса, при наличии на соседних полосах попутного движения.

Ширина полос движения приведена в таблице 2.7.

Т а б л и ц а 2.7

Категория дороги	I-а	I-б, I-в, II, III	IV	V
Ширина полосы движения, м	2,75	3,50	3,0	2,75

2.11. Уширение проезжей части на кривых

При движении автомобиля на закруглении автомобиля траектории движется передних и задних колес не совпадают и ширина полосы проезжей части, занимаемой автомобилем на кривой, увеличивается по сравнению с прямолинейным в плане участком дороги.

Уширение проезжей части необходимо предусматривать при радиусах кривизны закругления 500м и менее за счет внутренней обочины. При этом ширина обочины должна быть не менее 1,5 м для дорог I-а, I-б, I-в, II категории и не менее 1,0 м для остальных категорий. Отгон уширения равен 20 м. Величина уширения принимается по таблице 2.8.

Т а б л и ц а 2.8

Категория дороги	Уширение полосы движения, м при радиусах									
	500	400	300	200	150	100	60	50	40	30
I – IV	0,40	0,45	0,55	0,75	1,00	1,50	1,90	2,00	2,20	2,50
V	0,25	0,25	0,30	0,40	0,45	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00

2.12. Особенности движения автомобиля по криволинейному участку плана дороги

На автомобиль, движущийся с постоянной скоростью по криволинейному участку дороги, действуют силы:

- сила тяги P_a , по направлению движения автомобиля;
- вес автомобиля G , по направлению, перпендикулярному к горизонтальной плоскости;
- центробежная сила C , направленная по радиусу кривизны закругления от его центра.

Устойчивость автомобиля против заноса является важнейшим условием безопасного движения автомобиля по криволинейной троектории. Смещению автомобиля с проезжей части к внешней обочине под действием поперечной силы препятствует сцепление шин с покрытием.

Критическим для устойчивости автомобиля против заноса является случай интенсивного торможения, когда работа сил сцепления шины с покрытием почти полностью используется для погашения кинетической энергии поступательного движения автомобиля и лишь малая ее доля остается на сопротивление смещению автомобиля.

Устойчивость автомобиля против опрокидывания обеспечивается превышением удерживающего момента $G * c_k$ над опрокидывающим Yh :

Для современных автомобилей устойчивость против опрокидывания обеспечена, если коэффициент поперечной силы по условию (2.39) не превышает 0,6.

Удобство проезда кривой обеспечивается тем, что действующая сила на водителя и пассажира не превышает значения, при котором проезд по кривой становится неудобным.

2.13. Обоснование радиусов горизонтальных кривых

Для безопасности, удобства и экономичности движения автомобиля с расчетной скоростью следует назначать радиусы кривизны закруглений дорог в плане, обеспечивающее меньшие значения коэффициента поперечной силы μ .

При двухскатном поперечном профиле на закруглении дороги величина поперечной силы, на внешней полосе движения большая, чем на внутренней. Поэтому рекомендуемый радиус кривизны закругления определяется исходя из формулы (2.36) для случая движения автомобиля на внешней полосе

$$R_{рек} = \frac{V^2}{127(\mu - i_n)}, \quad (2.41)$$

где V – расчетная скорость движения автомобиля, км/ч;

μ – коэффициент поперечной силы, определяется по условиям удобства проезда закругления;

i_n – поперечный уклон внешней полосы движения.

Для уменьшения величины поперечной силы на внешней полосе движения может предусматриваться односкатный поперечный профиль (вираж).

На кривых малых радиусов необходимо также обеспечить видимость проезжей части в ночное время. Оптические устройства фар концентрируют лучи света в виде эллиптической фигуры, которая характеризуется пучком света фар с отклонением по горизонтали на угол α , который для современных автомобилей примерно равен 2° .

Рекомендуется в качестве основных принимать радиусы кривизны в плане не менее 3000 м на дорогах I-а категории, не менее 2000 м на дорогах I-б, I-в и II категории, не менее 1200 м на дорогах III и IV категорий.

2.14. Переходные кривые

При въезде автомобиля с прямого участка на кривую в плане возникает центробежная сила, определяемая формулой (2.34). Для постепенного нарастания величины центробежной силы C между прямой и круговой кривой вводится переходная кривая L (рис. 2.34) с переменным радиусом кривизны



p.

Рис. 2.22. Схема к обоснованию понятия «переходная кривая»: 1 – прямая; 2 – переходная кривая; 3 – круговая кривая.

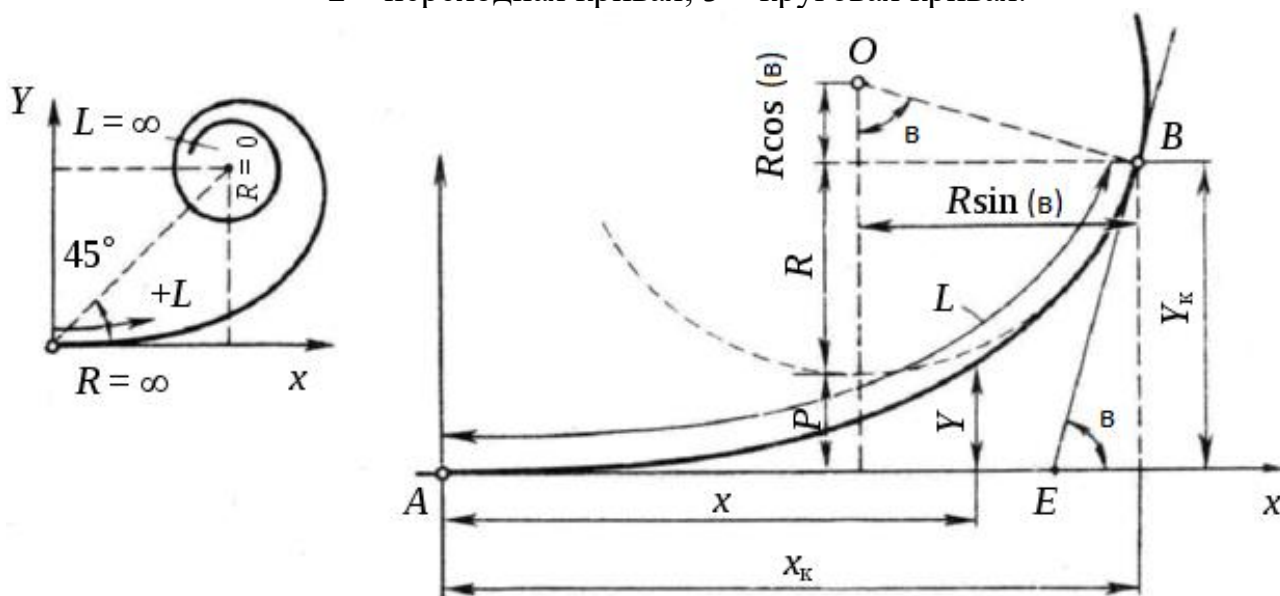


Рис. 2.23. Схема кривой типа «клотоида»

Наименьшие длины полных переходных кривых следует принимать по таблице 2.9.

Т а б л и ц а 2.9

Радиус круговой кривой, м	Наименьшая длина полной переходной кривой (м) для дорог катего- рий			
	I-а	I-б, I-в, II, III	с дорожной одеждой	
			усовершенствованно й	переходной
2000	200	200	100	
1500	150	150	100	
1200	160	120	100	
1000	170	120	100	
800	150	150	100	
600	-	170	120	60
500	-	130	140	70
400	-	-	150	90
300	-	-	130	120
250	-	-	100	100
200	-	-	90	90
150	-	-	80	80
100	-	-	70	70

Глава 3. Проектирование трассы автомобильной дороги

3.1. Общие положения по проектированию трассы автомобильной дороги

Трассой автомобильной дороги называют положение оси дороги на местности в виде прямых и кривых.

Различают две проекции оси дороги – горизонтальную (**план трассы**) и вертикальную (**проектная линия**).

План трассы характеризуется прямыми и горизонтальными кривыми, а проектная линия – прямыми с продольными уклонами и вертикальными кривыми.

Различают контурные и высотные препятствия.

К **контурным препятствиям** относятся населенные пункты, водоемы, болота, заповедники, ценные сельхозугодья. К **высотным препятствиям** относятся отдельные возвышенности, глубокие и широкие котловины.

Отклонение трассы от воздушной линии вызывается также необходимостью проложения ее через промежуточные **контрольные точки**: согласо-

ванные места пересечения трассы с автомобильными и железными дорогами, места строительства больших мостов на пересечениях рек, используемые участки существующих дорог.

При проложении трассы автомобильной дороги следует на местности необходимо учесть требования к ней с целью обеспечения удобного, безопасного и экономичного движения автомобильного транспорта с расчетными скоростями.

В целом требования к трассе автомобильной дороге можно разделить на группы:

- технические;
- экономические;
- экологические;
- эстетические.

3.1.1. Технические требования к трассе автомобильной дороги

В задании на проектирование назначена категория автомобильной дороги. Она определяет такие нормативы трассы, как радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, продольный уклон, параметры поперечного профиля, тип дорожной одежды, габариты мостов и путепроводов, типы характеристики пересечений с автомобильными и железными дорогами (в одном или разных уровнях).

3.1.2. Экономические требования

Экономические требования заключаются в обеспечении минимума расходов на строительство автомобильной дороги и минимум эксплуатационных (транспортных и дорожных) расходов. Для этих целей осуществляется вариантное проектирование трассы автомобильной дороги, когда наиболее целесообразное решение не очевидно, а требует доказательства.

3.1.3. Экологические требования

Постройка автомобильной дороги вносит большие изменения в хозяйственную деятельность района тяготения, в экологическое равновесие природы. Возможны негативные последствия:

- изъятие ценных земель, нарушение границ угодий;
- загрязнение воздушного бассейна и прилегающей полосы местности отработанными газами, остатками масла, растворами солей, применяемых для борьбы с гололедцей;
- шум и вибрация от проходящих автомобилей;
- нарушение путей прохода домашних и диких животных.

Ценные угодья (мелиорированные земли, сады, пашни) следует обходить, а при невозможности проходить по границам угодий. Не допускается проложение автомобильной дороги по заповедникам, заказникам.

На дорогах, проходящих в водоохранной зоне озер и рек, артезианских скважин следует предусматривать сбор воды с поверхности проезжей части с последующей ее очисткой или отводом в места, исключаящие загрязнение источников водоснабжения.

Санитарные нормы допустимого шума на территории жилых кварталов 50 – 60*dB*. Уровень шума зависит от интенсивности и состава движения, типов шин и шероховатости покрытия.

По мере удаления от дороги уровень шума уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния.

Наиболее рациональный способ предотвращения влияния шума на среду обитания человека – проложение дороги на таком расстоянии жилой застройки, при котором транспортный шум не превышает допустимых норм. Это расстояние равно 300 м в случае дорог I-а категории, 200 м для I-б, I-в, II, 100 м – III, IV.

При невозможности такого удаления между автомобильной дорогой и жилой застройкой проектируют шумозащитные экраны, земляные валы, нежилые здания, автомобильную дорогу располагают в выемке.

Пути прохода домашних животных, например, между фермой и пастбищем восстанавливают путем устройства в теле насыпи скотопрогонов шириной 5 м и высотой 2,5 м.

Для обеспечения перемещения диких животных при прохождении автомобильной дороги через лесной массив взамен высоких насыпей проектируют эстакады. При реконструкции автомобильной дороги МЗ Минск – Витебск на участке Березинского биосферного заповедника на участие сезонной миграции лягушек запроектировали водопропускные трубы совместно с бетонными стенками высотой 0,7 м, устанавливаемые на обочине вдоль ее бровки.

По экологическим требованиям в строительных проектах обязательно предусматривается снятие плодородного слоя почвы с земель, занимаемых под дорогу, и использование его для укрепления откосов или повышение плодородия земель.

3.1.4. Эстетические требования

Автомобильная дорога является местом работы и отдыха людей. Автомобильная дорога должна обеспечить удобное, комфортное движение, оставлять удовольствие у водителей и пассажиров от внешнего вида дороги, от окружающей обстановки. Это достигается:

- ландшафтным проектированием;
 - обеспечением пространственной плавности автомобильной дороги.
- Ландшафтное проектирование включает:
- согласование трассы автомобильной дороги с ландшафтом;
 - раскрывшие красоты окружающей местности (разрывы в посадках, уборка мелкоколесья);

– сокрытие некрасивых мест с помощью защитных посадок.

Ландшафт местности определяется рельефом, лесными массивами, озерами, реками.

Трассу автомобильной дороги следует прокладывать по граничной зоне элементов ландшафта (у подножья холмов, по опушкам леса, вдоль естественной оси ландшафта). Вход в лес (выход из леса) целесообразно устраивать на кривой в плане. Некрасиво отсекать узкую полосу леса от лесного массива.

В горной местности возможно согласование с рельефом только дорог низких категорий. Дороги высоких категорий сами являются ландшафтообразующим элементом выделяясь, плавностью форм на фоне бессистемного горного ландшафта.

Пространственная плавность трассы зависит от сочетания элементов плана трассы (прямые участки и горизонтальные кривые) и проектной линии (прямые участки и вертикальные кривые). Водитель (пассажир) просматривают элементы автомобильной дороги с точки зрения, расположенной выше покрытия на 1,0 (1,2 м) и правее оси дороги. Видимые участки автомобильной дороги могут иметь пространственное изображение элементов дорожного полотна (ось, кромки проезжей части и др.) в виде:

- прямых, когда план трассы и проектная линия прямые;
- плоских кривых, когда план трассы – прямая, а проектная линия – кривая или наоборот, когда план трассы – горизонтальная кривая, а проектная линия – прямая;
- пространственных кривых, когда план трассы и проектная линия – кривые.

Для оценки пространственной плавности трассы используются программы визуализации. Эти программы рассчитывают перспективные изображения автомобильной дороги и расположенной рядом полосы местности с точек зрения, расположенных через заданный интервал. Эти изображения создают видеофильм движения по запроектированной автомобильной дороге. При просмотре его экспертной комиссией выявляются места с необеспеченной пространственной плавностью трассы. На основе заключения экспертной комиссии в проект строительства автомобильной дороги вносят коррективы.

3.2. Проектирование закругления по круговым и переходным кривым

План трассы может состоять из прямолинейных и криволинейных участков.

Криволинейные участки могут проектироваться по круговым кривым, по круговым совместно с переходными кривыми, с помощью силайнов.

3.2.1. Проектирование закругления по круговой кривой

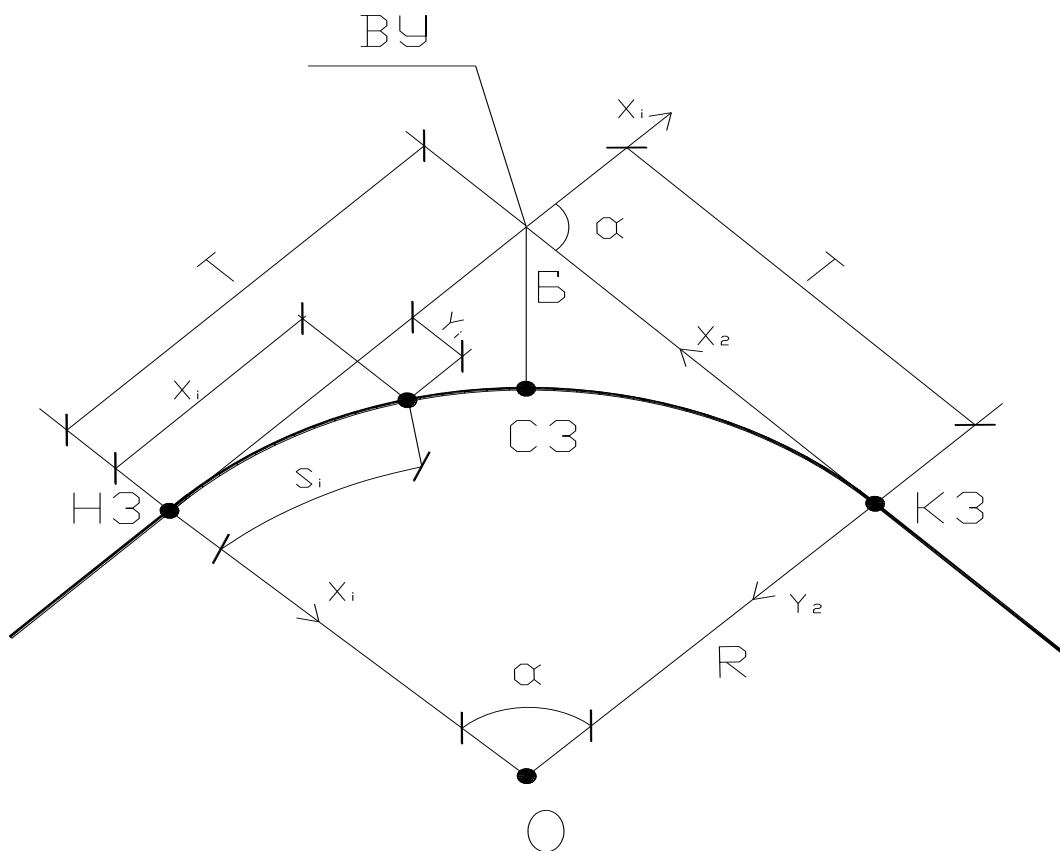


Рис.3.6. Схема закругления по круговой кривой

Основными параметрами закругления по круговой кривой (рис.3.6) являются: тангенс T , биссектриса B , кривая K и домер D .

3.2.2. Проектирование закругления с симметричными переходными кривыми

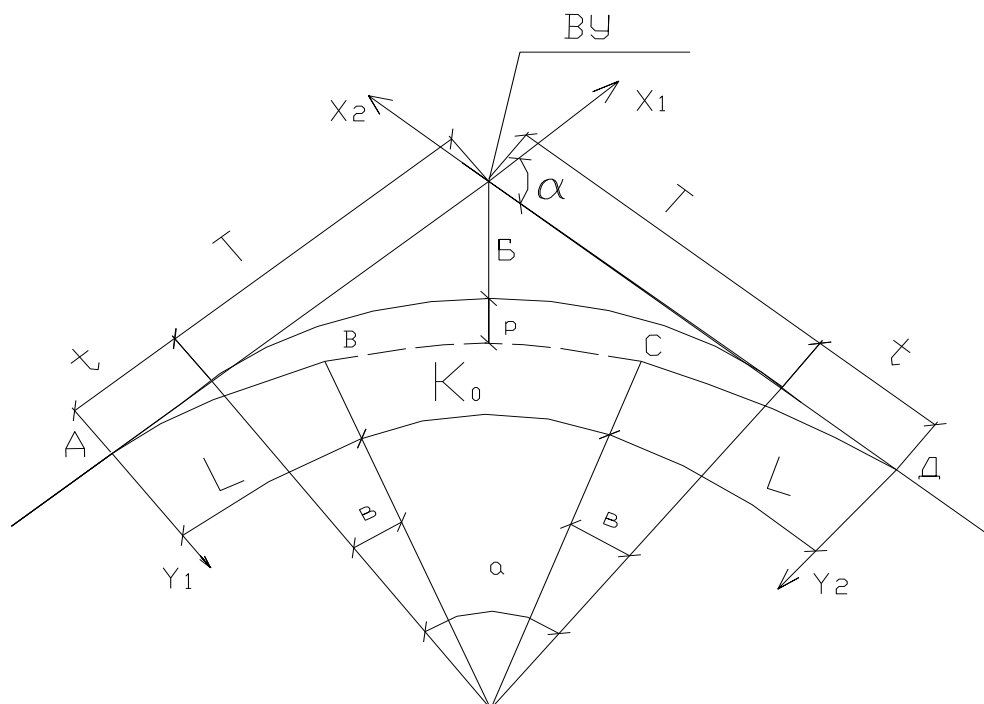


Рис.3.7. Элементы закругления с симметричными переходными кривыми

Проектирование плана закругления с симметричными переходными кривыми ведут в такой последовательности.

При введении переходной кривой длиной L (рис.3.7) начало закругления начинается и заканчивается дальше от $ВУ$ по сравнению с закруглением по круговой кривой (рис.3.6) на величину смещения t . Кроме того при введении переходной кривой круговая кривая смещается к центру на величину сдвижки p (рис.3.7).

3.3. Проектирование плана трассы автомобильной дороги

План трассы автомобильной дороги проектируют по планам в горизонталях масштаба $1 : 5000$ или $1 : 2000$. Вначале на карте намечают контрольные точки, через которые нужно провести трассу с учетом согласования с ландшафтом данной местности. Для этого рекомендуется использовать метод «гибкой линейки». С помощью гибкой линейки или от руки через эти контрольные точки проводят плавную линию, являющуюся в первом приближении планом трассы автомобильной дороги (рис. 3.11).

Описание и расчет параметров с помощью гибкой линейки криволинейной трасса возможен двумя способами: в локальных системах координат и в общей системе координат.

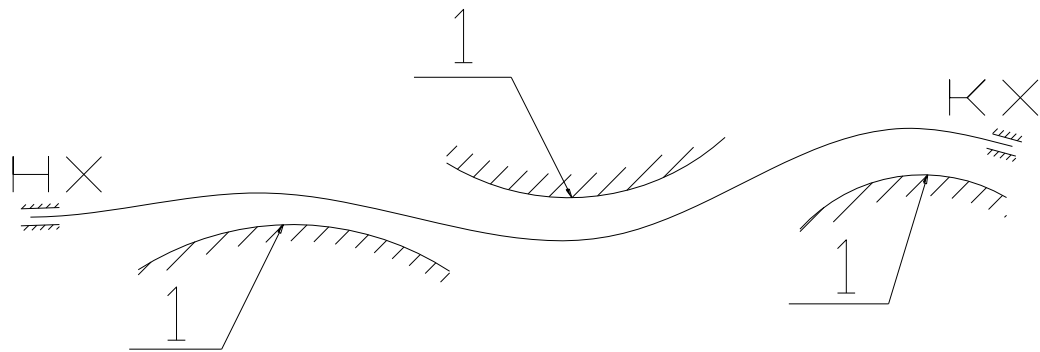


Рис. 3.11. Схема проложения плана трассы с помощью гибкой линейки 1.

В первом случае криволинейная трасса на каждом закруглении описывается и разбивается относительно ломаной прямой в частных координатах x_i y_i (рис. 3.12). Начало координат размещается в начало и конец каждого закругления. Основой плана трассы является ломаная прямая НХ – ВУ1 – ВУ2 – ВУ3 – КХ.

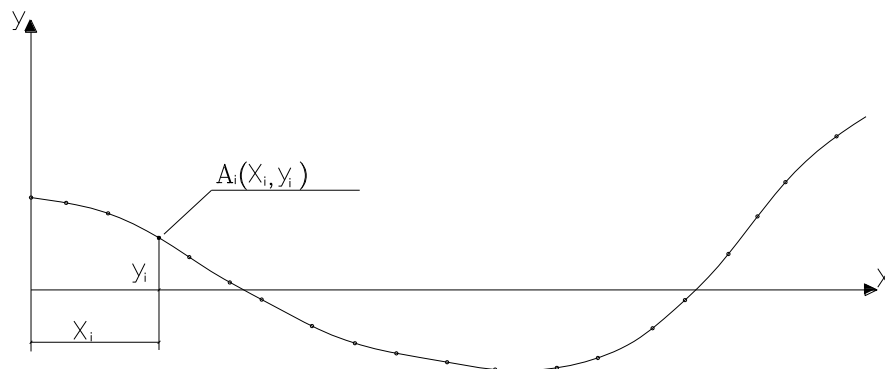


Рис. 3.12. Схема плана трассы в локальных системах координат

Во втором случае используется общая система декартовых координат xu (рис. 3.13) и трасса описывается с помощью кубического сплайна (отрезков полинома третьей степени).

Рис. 3.13. Общая система декартовых координат для описания плана трассы автомобильной дороги

3.3.1. Проектирование плана трассы в локальных системах координат

Полученную криволинейную трассу заменяют ломаной прямой (рис. 3.14).

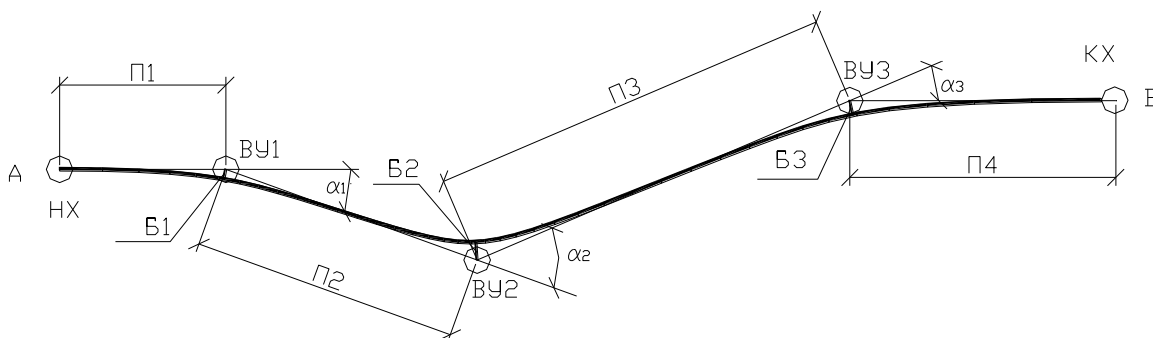


Рис. 3.14. Схема разбивки плана трассы в частных системах координат.

3.3.2. Проектирование плана трассы в общей системе координат

С помощью принципа «гибкой линейки» получают эскизное положение трассы. Для получения аналитического описания трассы применяют метод «сглаживания эскизной линии трассы», разработанный в США.

По методу «сглаживания эскизной линии трассы» трассу задают координатами последовательных точек x_i , y_i с шагом 40 – 400м (в зависимости от извилистости трассы). Координаты снимают графически с эскизной трассы. В отдельных точках (начало трассы, места пересечения дорог) задают фиксированное положение точек и направление трассы.

Аналитическое описание эскизной трассы, заданной последовательностью точек, осуществляют с помощью алгебраических полиномов высоких степеней (обычно третьей) или кубических сплайнов.

Алгебраический полином третьей степени имеет вид

$$y = a_1x^3 + a_2x^2 + a_3x + a_4, \quad (3.20)$$

где a_1 , a_4 – коэффициенты, аппроксимирующие отрезки кривых, эскизной трассы.

Величины коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 и a_4 получают, решая систему n уравнений. Так, при прохождении эскизной трассы через три точки с координатами (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , причем в первой точке дополнительно задано направление (тангенс угла наклона трассы к оси x , т.е. первая производная полинома), то система уравнений имеет вид.

Программно на ЭВМ вычисляются радиусы круговых кривых, длины переходных кривых, круговых и оставшихся прямолинейных участков плана трассы. Полученные данные сопоставляются с требованиями норм к трассе автомобильной дороги данной категории. При необходимости вносятся коррективы плана трассы путем корректировки диаграммы кривизны. Если при этом требования к трассе не выполняются, то повторно с помощью гибкой линейки прокладывают трассу и описывают ее с помощью силайна.

3.4. Основные элементы продольного профиля

Продольный профиль автомобильной дороги - это чертеж установленного образца (рис. 3.19).

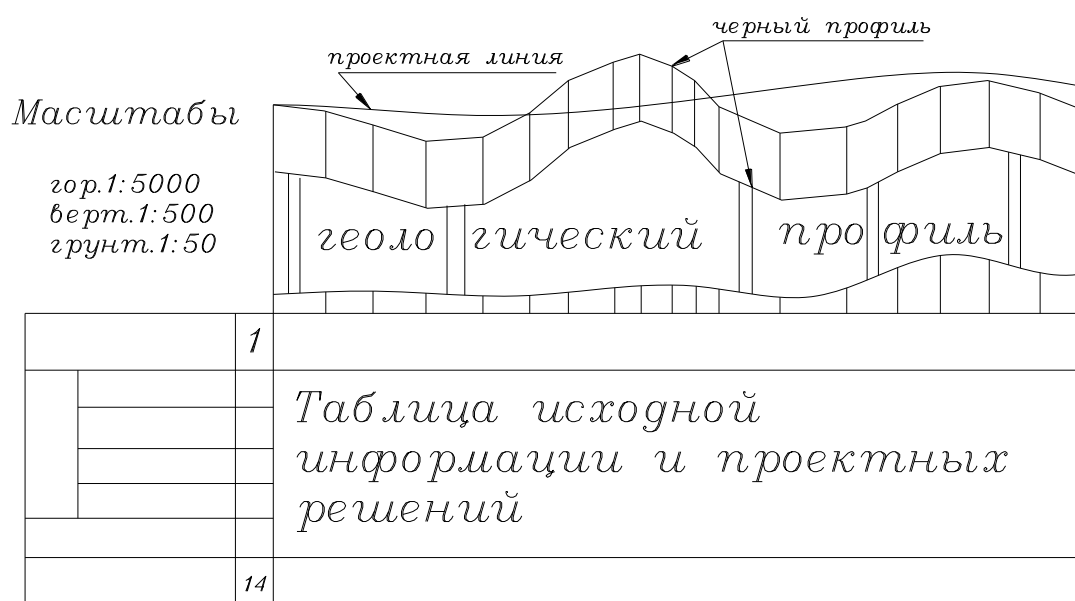


Рис. 3.19. Схема чертежа «Продольный профиль».

Продольный профиль включает черный профиль, проектную линию, геологический профиль, таблицу исходной информации и проектных решений.

Черный профиль – продольный разрез поверхности земли по оси дорог II – VI категории или по оси проезжей части одного направления дорог I категории.

Проектная линия – ось дорог II – VI категории или ось полосы проезжей части одного направления дорог I-а, I-б, I-в категорий.

Различают черные, проектные и рабочие отметки.

Черные отметки – отметки черного профиля.

Проектные отметки – отметки проектной линии.

Рабочие отметки – разность проектных и черных отметок.

Геологический профиль содержит информацию о залегании грунтов по трассе, их разновидности, о наличии грунтовых вод.

В таблице исходной информации и проектных решений приводятся отметки черного профиля (черные отметки) на пикетах и плюсовых точках, данные о плане трассы, развернутый план дороги.

После расчета проектной линии в эту таблицу вносятся данные о ее элементах и значения проектных отметок. Приводятся данные о запроектированных кюветах.

В случае, если проектная линия расположена выше черного профиля, автомобильная дорога проходит в **насыпи**, если ниже, то в **выемке**.

На продольном профиле приводят данные о пересекаемых коммуникациях, транспортных развязках, водопропускных сооружениях, временных реперах.

3.5. Проектная линия. Общие правила ее проложения

Проектная линия задает высотное положение автомобильной дороги. Определение положения проектной линии продольного профиля является одним из наиболее ответственных, сложных и трудоемких этапов проектирования автомобильной дороги. На положение проектной линии влияют рельеф, условие увлажнения поверхностными и грунтовыми водами, ситуационные особенности проложения трассы (пересечение водотоков, автомобильных и железных дорог), категория проектируемой дороге.

В зависимости от рельефа, почвенно-грунтовых, геологических и гидрологических условий **выделяют участки местности по характеру и степени увлажнения**, делящиеся на три типа:

- 1 - сухие участки;
- 2 - сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды года;
- 3 - мокрые участки с постоянным избыточным увлажнением.

Характеристика выделенных участков приведена в таблице 3.5.

Т а б л и ц а 3.5

Тип местности	Источники увлажнения	Характерные признаки
1 (сухие места)	Атмосферные осадки	Поверхностный сток обеспечен. Подземные воды не оказывают влияние на увлажнение грунтов. Почвы без признаков заболачивания.
2 (сухие места)	Кратковременно стоящие (до 30 сут.) поверхностные воды; атмосферные осадки	Поверхностный сток не обеспечен. Рельеф местности равнинный. Весной и осенью возможен застой воды на поверхности. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов. Почва с признаками забо-

		лачивания.
3 (мокрые места)	Грунтовые или длительные (более 30 сут.) поверхностные воды; атмосферные осадки	Источники увлажнения оказывают влияние на увлажнение почв и грунтов независимо от условий поверхностного стока. Почвы заболоченны.
Примечания: 1. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов в случае, если их уровень в предморозный период залегает ниже глубины промерзания не менее, чем на 2,0 м при глинах, суглинках тяжелых пылеватых и тяжелых на 1,5 м – в суглинках легких пылеватых и легких супесях тяжелых пылеватых и пылеватых; на 1,0 м в супесях легких, легких крупных и песках пылеватых. 2. Поверхностный сток считается обеспеченным при уклонах поверхности грунта в пределах полосы отвода более 2‰.		

При проектировании по обертывающей положение проектной линии определяется руководящими рабочими отметками, ограничивающими и фиксированными точками.

Фиксированные точки требуют обязательного прохождения проектной линии через них. К таким точкам можно отнести начало и конец трассы при их примыкании к существующим или заранее запроектированным участкам дорог, места пересечений с железными и автомобильными дорогами в одном уровне.

Руководящие рабочие отметки (минимальная высота насыпи) назначают в зависимости от типа местности по увлажнению поверхностными и грунтовыми водами.

Кроме того, на участках 2-го и 3-го типов местности необходимо обеспечить снегозаносимость дороги снегом.

Т а б л и ц а 3.6

Грунт рабочего слоя	Необходимо возвышение низа дорожной одежды для типов местности, м	
	2	3
Песок средней крупности, мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	0,5	0,7
Песок пылеватый, суглинок легкий	0,6	1,2
Супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглиной легкий пылеватый, тяжелый и тяжелый пылеватый	0,8	1,9

Ограничивающими точками являются пересечения автомобильных и железных дорог в разных уровнях, пересечения малых и больших водотоков с устройством труб, мостов, подходы к мостам на пересечении рек. В

этих точках исключается расположение проектной линии ниже отметок этих точек, т.е. отметки ограничивающих точек являются минимальными для проектной линии.

На участках холмистого рельефа местности при нанесении проектной линии по обертывающей могут быть не обеспечены технические требования к проектной линии (максимальные продольные уклоны, радиусы кривизны вертикальных кривых), особенно в случае дорог высоких технических категорий. Проектную линию с целью выполнения технических требований прокладывают секущей (рис. 3.21).

При **проектировании по секущей** положение проектной линии определяется требованиями к ее параметрам в соответствии с категорией автомобильной дороги, фиксированными отметками и ограничивающими контурами.

Контурные ограничения используются в выемках, когда автор проекта принимает решение о прохождении проектной линии выше уровня грунтовых вод с необходимым возвышением низа дорожной одежды (табл. 3.6) без устройства подкюветного дренажа. Контурные ограничения используются также на участках пересечений железных и автомобильных дорог в одном уровне.

Так, по нормам [2] на пересечении железной дороги проектная линия на протяжении не менее 2 м от крайнего рельса должна иметь в продольном профиле горизонтальную площадку, кривую радиуса более 5000 м или уклон, обусловленный превышением одного рельса над другим, когда пересечение располагается в месте закругления железной дороги.

Подходы автомобильной дороги к проезду на протяжении 50 м следует проектировать с продольным уклоном не более 30%.

На пересечениях примыканиях автомобильных дорог в одном уровне проектная линия на расстоянии видимости для остановки (таблица 2.3) от пересечения должна иметь уклон не более 40%. Расстояние видимости для остановки на примыканиях равно 30 м.

Проектная линия может состоять из прямолинейных и криволинейных участков.

При пересечении двух прямолинейных участков образуется перелом проектной линии, равный алгебраической разности соседних уклонов (рис. 3.22).

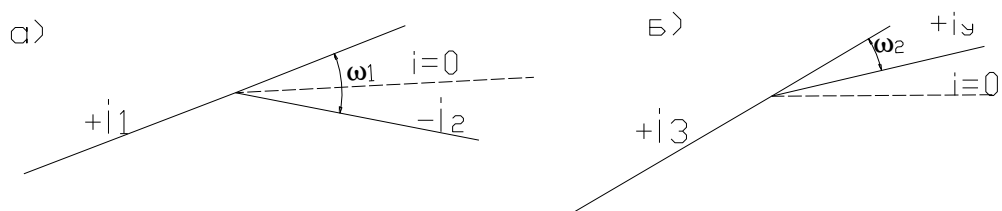


Рис. 3.22. Схема к расчету перелома проектной линии.

$$\omega_1 = i_1 - (-i_2); \quad \omega_2 = i_3 - i_4$$

(3.33)

Криволинейные участки проектной линии описываются вертикальными кривыми постоянной кривизны при традиционной технологии или переменной кривизны при проектировании продольного профиля по различным программным продуктам при автоматизированном проектировании продольного профиля. Методика расчета проектной линии на ЭВМ рассматривается в дисциплине «Системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог».

При традиционном ручном проектировании продольного профиля проектная линия наносится на черный профиль в виде прямых и плавных кривых с учетом руководящих рабочих отметок, с учетом контрольных отметок фиксированных точек и минимальных отметок ограничивающих точек (рис.3.23).

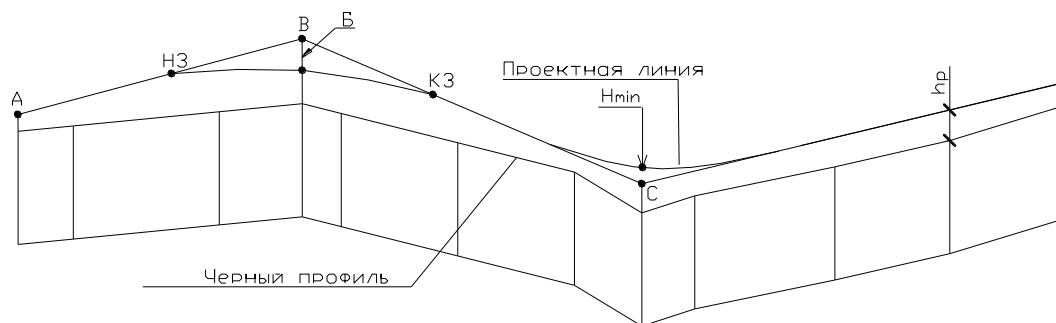


Рис. 3.23. Схема к нанесению проектной линии.

При нанесении положения проектной линии используют шаблоны вертикальных кривых, гибкую линейку. Полученное ориентировочное положение проектной линии заменяют ломаной прямой. Графически определяют пикетное положение точек перелома, их отметки. По этим данным вычисляют уклоны прямых, округляют их до целого значения промилле и корректи-

руют отметки точек. По формуле (3.33) вычисляют перелом прямолинейных участков проектной линии. В переломы проектной линии вписывают вертикальные кривые постоянной кривизны.

Переломы проектной линии допускается не сопрягать вертикальными кривыми при алгебраической разности уклонов 2‰ и менее на дорогах I-а, I-б, I-в и II категорий, 5‰ и менее на дорогах III, IV, V категорий с усовершенствованными покрытиями и 20‰ и менее на дорогах IV, V категорий с гравийными покрытиями. При этом длина прямого участка проектной линии должна быть не менее 150 м.

3.6. Проектирование вертикальных кривых

Переломы прямолинейных участков проектной линии образуют малый угол поворота прямых, радиусы вертикальных кривых имеют большую величину, домер таких закруглений менее 0,01 м. Поэтому при проектировании вертикальных кривых (рис.3.25).

$$(3.35) \quad D = 2T - K = 0 \quad \text{и} \quad T = 0,5K$$

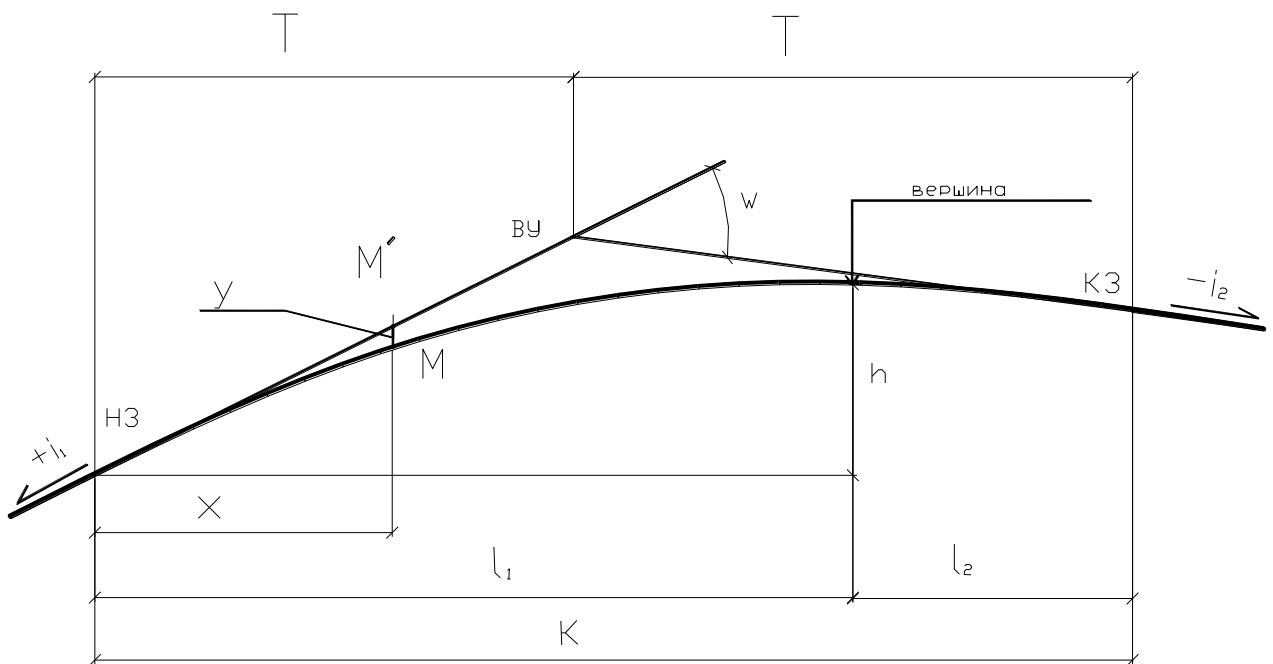


Рис. 3.24. Схема к расчету вертикальной кривой

Длину вертикальной кривой K радиуса R и определяют по формулам (рис. 3.24)

$$K = \omega \cdot R = [i_1 - (-i_2)] \cdot R; \quad (3.36)$$

Пикетное положение начала и конца кривой

$$НЗ = ВУ - Т; КЗ = ВУ + Т. \quad (3.37)$$

Отметки начала и конца закругления

$$Н_{НЗ} = Н_{ВУ} - T i_1 ; \quad Н_{КЗ} = Н_{ВУ} + T(-i_2). \quad (3.38)$$

3.7. Проектирование кюветов

Кюветы – боковые канавы. Они предназначены для сбора и отвода воды, стекающей с проезжей части обочин и откосов земляного полотна при проложении проектной линии в выемках, на участках низких насыпей и нулевых отметок.

Требуемую глубину кюветов (расстояние от бровки обочины до дна кювета) назначают в зависимости от вида грунта, конструкции дорожной одежды и продольного уклона. При наличии в дорожной одежде дренирующего слоя глубина кювета должна быть такой, чтобы низ дренирующего слоя дорожной одежды был выше дна кювета на 0,1 – 0,2 м. При отсутствии дренирующего слоя глубина кювета должна быть не менее 0,3 м в непылеватых песках, 0,6 м в супесях непылеватых, 0,8 м в суглинках и глинах, 0,9 м в пылеватых грунтах. Минимальный уклон дна кювета - 5‰, в исключительных случаях 3‰.

Проектирование кюветов включает проектирование продольного профиля дна кюветов, назначение укрепления кюветов.

При проектировании продольного профиля дна кювета возможны два случая:

- уклон проектной линии на участке дороги, где необходим кювет, не менее 5‰.
- уклон проектной линии менее 5‰;

Глава 4. Проектирование поперечного профиля дорожного полотна

4.1. Двухскатный поперечный профиль дорожного полотна

Дорожное полотно включает проезжую часть и обочины на двухполосной дороге (рис. 1.1). На дорогах I-а, I-б, и I-в категорий дополнительно в дорожное полотно входит и разделительная полоса (рис. 1.2).

Для отвода поверхностной воды поперечному профилю дорожного полотна на прямых участках дорог и на закруглениях большого радиуса придают выпуклое очертание. Величина поперечного уклона, придаваемого поверхности проезжей части, зависит от типа покрытия. Чем больше шерохова-

тость поверхности, тем больше сопротивление стеканию воды, возможно застаивание ее в неровностях. С увеличением ширины проезжей части многополосных дорог поперечный уклон полос движения по направлению к обочине должен увеличиваться, так как увеличивается слой стекающей воды.

4.2. Виражи

На кривых в плане, минимальные радиусы которых меньше значений, приведенных в таблице 4.1, по ТКП [2] следует предусматривать устройство проезжей части с однокатным поперечным профилем (виражем) с целью уменьшения поперечной силы, действующей на автомобиль.

Максимальная величина уклона виража ограничивается из условия недопущения сползания медленно-движущихся транспортных средств под действием горизонтальной составляющей собственного веса автомобилей на встречную полосу двухполосной дороги.

4.3. Проектирование отгона виража на двухполосных дорогах

Отгон виража – переход от двухскатного поперечного профиля проезжей части к однокатному. Он осуществляется путем вращения внешней полосы дорожного полотна вокруг его оси до получения однокатного поперечного профиля с уклоном i_n . Если уклон виража $i_v > 20\%$, то дальнейшее вращение полученного однокатного поперечного профиля производится вокруг оси проезжей части до уклона i_v .

На закруглении плана трассы проектируют два отгона виража. Первый отгон размещается на переходной кривой, следующей от начала закругления, а второй на переходной кривой, следующей от конца закругления к началу (рис. 4.5).

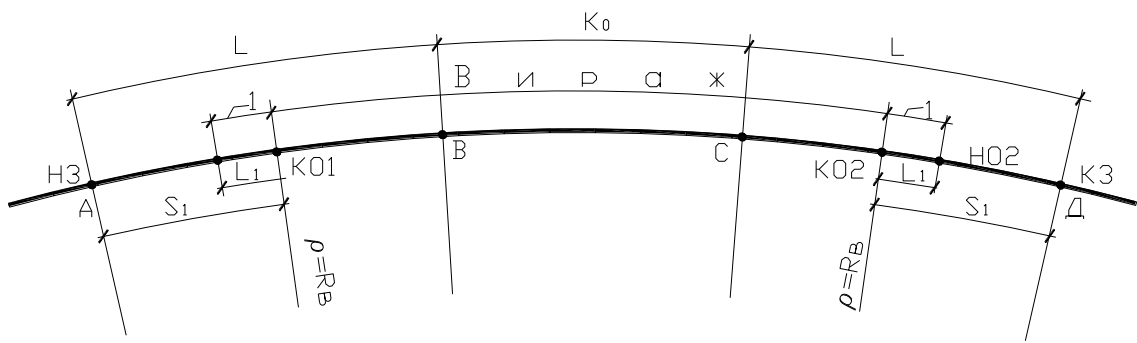


Рис. 4.5. Схема размещения отгонов виража на закруглении с переходной кривой в случае $i_B = i_n$: 1 – первый отгон виража; 2 – второй отгон виража.

В зависимости от величины уклона виража i_B и радиуса круговой кривой R возможны два случая проектирования отгона виража:

- 1) $i_B = i_n$;
- 2) $i_B > i_n$.

В первом случае радиус круговой кривой (см. табл. 4.2) не менее 850 м на дорогах II, III и IV категории, но не менее 540 м на дорогах V категории с усовершенствованным покрытием. Уширение проезжей части не производится.

Во втором случае уклон виража $i_B > i_n$ и радиус круговой кривой R менее 850 м на дорогах II, III, IV категорий и менее 540 м на дорогах V категории с усовершенствованным покрытием. При радиусах 500 м и менее необходимо уширение проезжей части.

Глава 5. Проектирование земляного полотна

5.1. Земляное полотно и общие требования к нему

Земляным полотном называют массив грунта, предназначенный для размещения элементов автомобильной дороги.

Земляное полотно проектируют в виде насыпей и выемок (рис. 5.1).

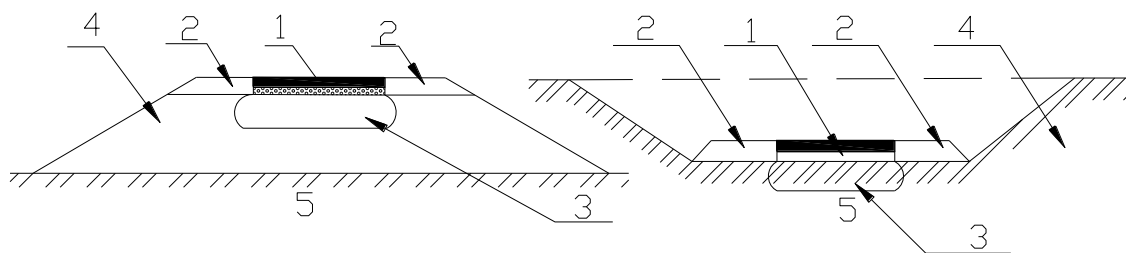


Рис. 5.1. Элементы земляного полотна: а) в насыпи; б) в выемке: 1 – дорожная одежда; 2 – обочина; 3 – рабочий слой земляного полотна; 4 – откосные части земляного полотна; 5 – основание насыпи или выемки; 6 – кювет

В земляном полотне выделяют (рис. 5.1) рабочий слой 3 и откосные части 4 насыпи или выемки. Ниже подошвы насыпи располагается основание насыпи 5, ниже рабочего слоя выемки 3 располагается основание выемки 5.

Рабочим слоем земляного полотна называют верхнюю часть земляного полотна, расположенную под дорожной одеждой 1, в которой возникает заметное напряженное состояние от действия транспортной нагрузки G (рис. 5.2).

На земляное полотна воздействуют нагрузки (транспортные, собственный вес) и природные факторы (изменение влажности и температуры, действие воды, льда, ветра).

К земляному полотну предъявляются следующие общие требования:

- устойчивость;
- прочность;
- снегонезаносимость;
- безопасность движения;
- экономичность.

Устойчивость земляного полотна – способность воспринимать действие собственного веса и транспортной нагрузки без образования макродеформаций, изменяющих положение земполотна в пространстве.

Прочность земляного полотна – способность воспринимать действие транспортных нагрузок без образования микродеформаций, снижающих прочность и ровность дорожной одежды.

Требование прочности относится к рабочему слою, а требования устойчивости к всему земляному полотну и к основанию насыпи или выемки.

5.2. Деформации земляного полотна

С потерей устойчивости земляного полотна связаны макродеформации: сплывы, оползни, выдувание откосов, просадка насыпи, сдвиг насыпи по основанию, расползание насыпи.

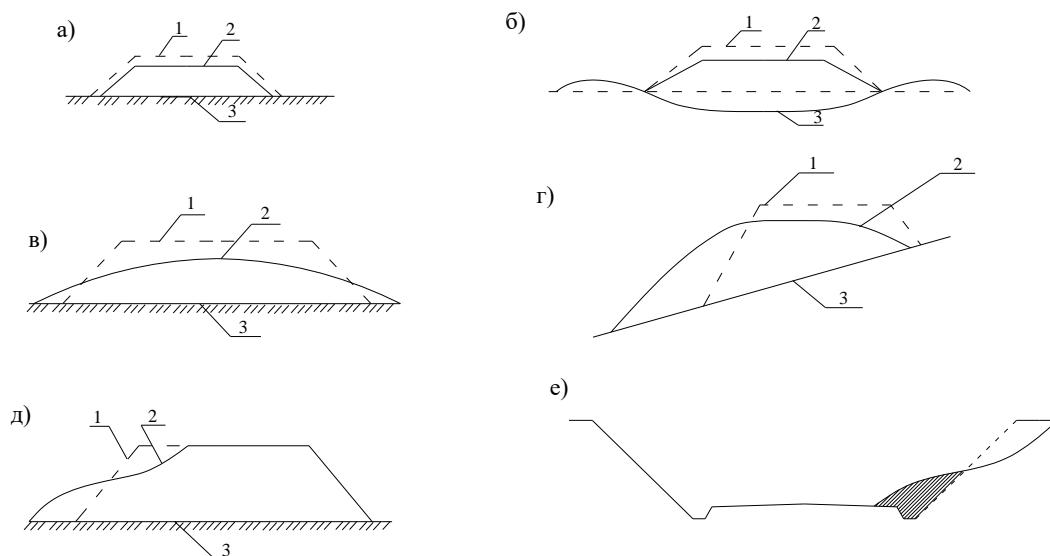


Рис. 5.3. Деформации земляного полотна: 1 – начальное положение земляного полотна; 2 – положение земляного полотна после деформации; 3 – поперечный профиль поверхности земля.

5.3. Типовые поперечные профили земляного полотна

В равнинной и пересеченной местности основными формами земляного полотна являются насыпи и выемки. При высоте откоса насыпи или выемки до 12 м поперечные профили назначают типовыми.

5.3.1. Типовые поперечные профили насыпей, не подверженных длительному действию воды

Типовые поперечные профили неподтопляемых насыпей выработаны дорожной практикой исходя из обеспечения таких требований к земляному полотну, как безопасность движения, устойчивость откосов против образования оползней и экономичность. Снегонезаносимость насыпи обеспечивается соблюдением руководящей рабочей отметки на участках 1-го типа местности.

Различают **низкие** насыпи и **высокие**.

Низкие насыпи с высотой откоса до 3 м на дорогах I и II категорий и до 2 м на дорогах III и IV категорий для обеспечения безопасного съезда (без опрокидывания) транспортных средств в аварийных ситуациях проектируют с пологими откосами. Крутизну откоса характеризуют отношением высоты откоса к его горизонтальной проекции (1 : m). Крутизна откосов низких насыпей принимается 1 : 4 на дороге I-а категории и 1 : 3 на дорогах I-б, I-в и II категорий при высоте откоса до 3,0 м. На дорогах III и IV категорий крутизна откоса 1 : 3 назначается при высоте откоса до 2,0 м.

Кюветы предусматривают в случае, когда высота откоса насыпи меньше требуемой глубины кювета h_k (рис. 5.4).

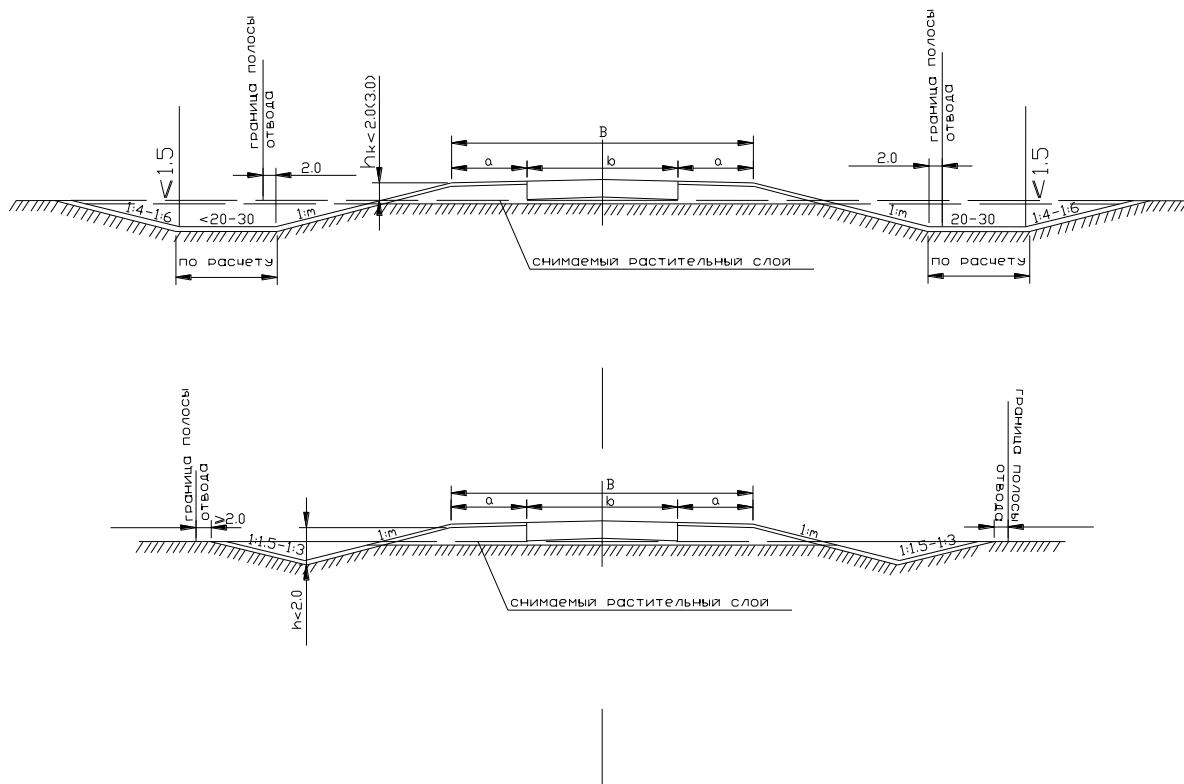


Рис. 5.4. Поперечные профили низких насыпей

Высокие насыпи делятся на насыпи с высотой откоса до 6 м и с высотой откоса до 12 м. В случае высоких насыпей выполняют такие требования к земляному полотну, как экономичность и устойчивость откосов.

В целях уменьшения ширины полосы отвода под автомобильную дорогу, объемов земляных работ и стоимости строительства крутизна откосов высотой до 6 м назначается по условию устойчивости до значений 1 : 1,75 при глинистых грунтах и до 1 : 1,5 при песчаных грунтах за исключением мелких и пылеватых. При такой крутизне откосы укрепляют травосеянием.

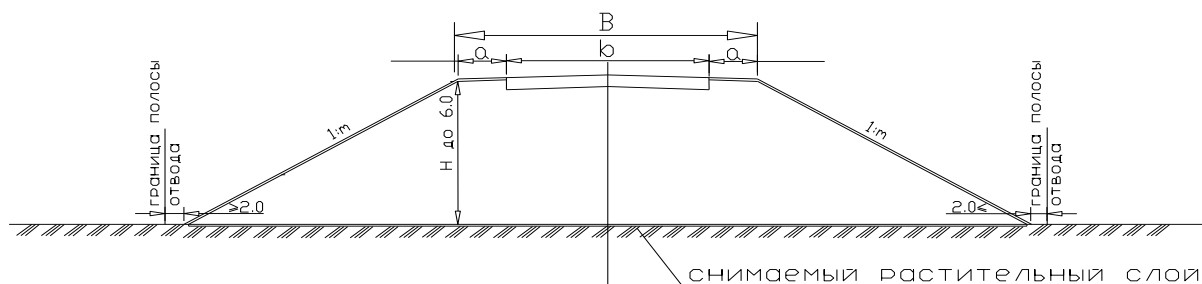


Рис. 5.5. Поперечный профиль насыпи с высотой откоса до 6 м

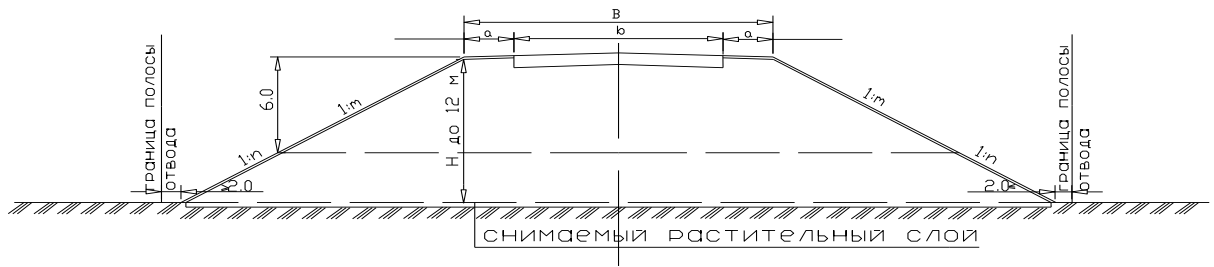


Рис. 5.6. Поперечный профиль насыпи с высотой откоса до 12,0 м

5.3.2. Поперечные профили насыпей при пересечении больших водотоков, водоемов

Большие водотоки (реки типа Неман, Днепр, Западная Двина и др.) состоят из русла и пойм и пересекаются автомобильной дорожной системой сооружений, которые называются мостовым переходом.

Подходы 1 к мосту в паводок весной подвержены действию воды. В тело насыпи подхода проникает вода. При спаде уровня вода вытекает из насыпи, создавая дополнительное гидродинамическое давление, уменьшающее устойчивость откосов против образования оползня. Кроме того, в ветреную погоду в паводок при расчетном уровне высокой воды РУВВ на поймах образуются волны. Встречая препятствие в виде насыпи подходов, волны набегают на откос насыпи. По этим двум причинам уменьшают крутизну откоса, подверженного действию воды во время паводка по сравнению с откосами неподтапливаемых насыпей.

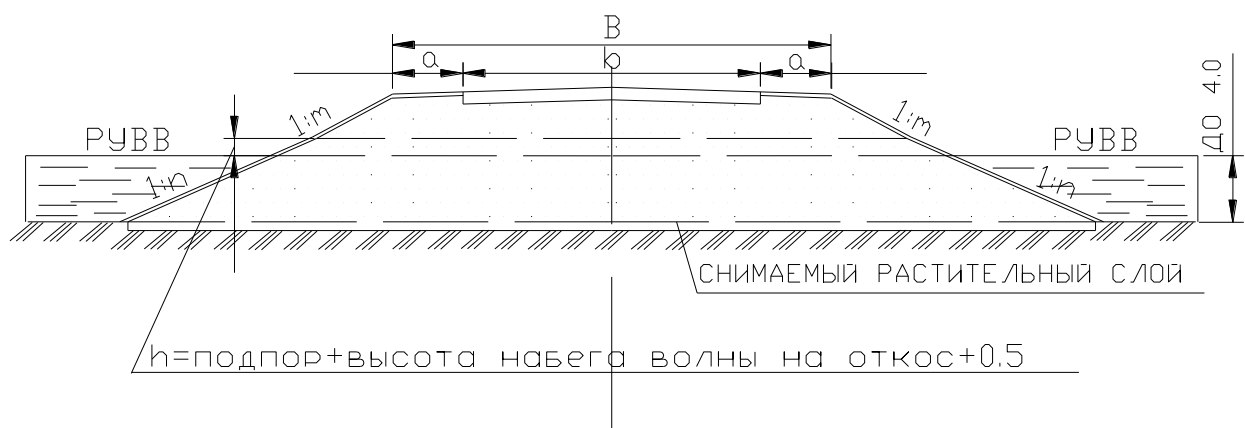


Рис. 5.10. Поперечный профиль насыпи на подходах к мосту (на поймах рек)

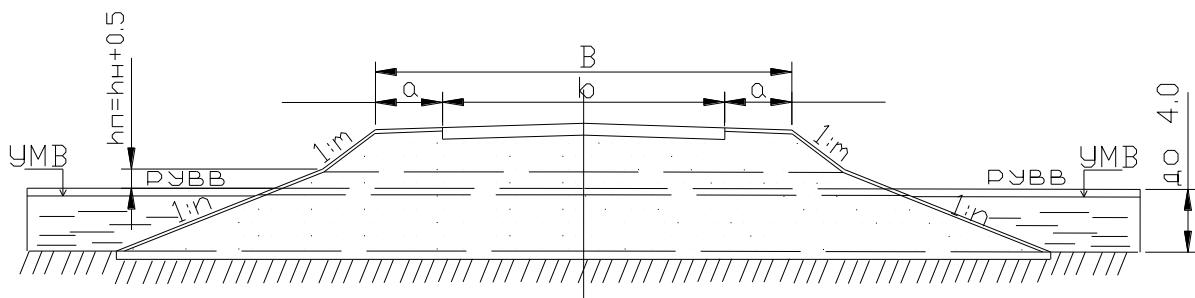


Рис. 5.11. Поперечный профиль насыпи на пересечении водоемов.

5.3.3. Типовые поперечные профили выемок

Типовые поперечные профили выемок назначается из условий обеспечения безопасности движения, снегонезаносимости, устойчивости и экономичности земляного полотна. Если дорога проходит по лесу, то она снегонезаносима, а по полю – снегонезаносима.

На открытых снегонезаносимых участках местности при проложении трассы автомобильной дороги в нестесненных условиях и на малоценных угодьях выемки глубиной до 1,0 м следует проектировать раскрытыми (рис. 5.12, а) с крутизной откосов от 1 : 5 до 1 : 10 или разделанными под насыпь (рис. 5.12, б). Заложение откоса со стороны обочины принимается 1 : 4 на дорогах I-а категории и 1 : 3 на дорогах I-б, I-в, II, III и IV категорий.

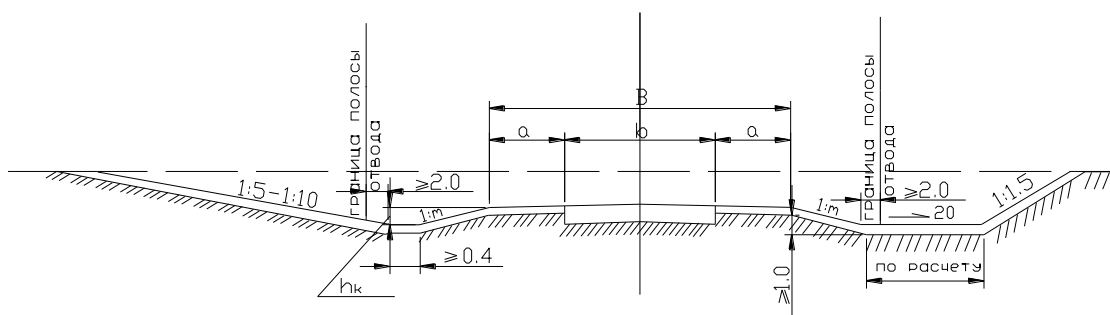


Рис. 5.12. Поперечные профили выемки глубиной до 1,0 м на снегонезаносимых участках местности: а) раскрытая; б) разделанная под насыпь.

Такой поперечный профиль выемки глубиной до 1,0 м обеспечивает перенос снега через дорогу в метель. Для уменьшения ширины полосы отвода под автомобильную дорогу границу постоянной полосы отвода назначают на расстоянии 2 м от подошвы откоса со стороны обочины. Откосы выемки за пределами границы этой полосы рекультивируют под заданный вид угодий.

При глубине выемки от 1 до 5 м на снегозаносимых участках местности с целью уменьшения объемов земляных работ и ширины полосы постоянного отвода крутизну откоса выемки со стороны поля назначают по условиям устойчивости откоса равной 1 : 1,5 при песчаных и глинистых грунтах. На таких откосах в метель откладываются сугробы снега. С целью недопущения снежного сугроба на дорожное полотно откос выемки со стороны поля отодвигают от бровки обочины с помощью закуветной полки или кювет-резерва шириною не менее 3,0 м (рис. 5.13).

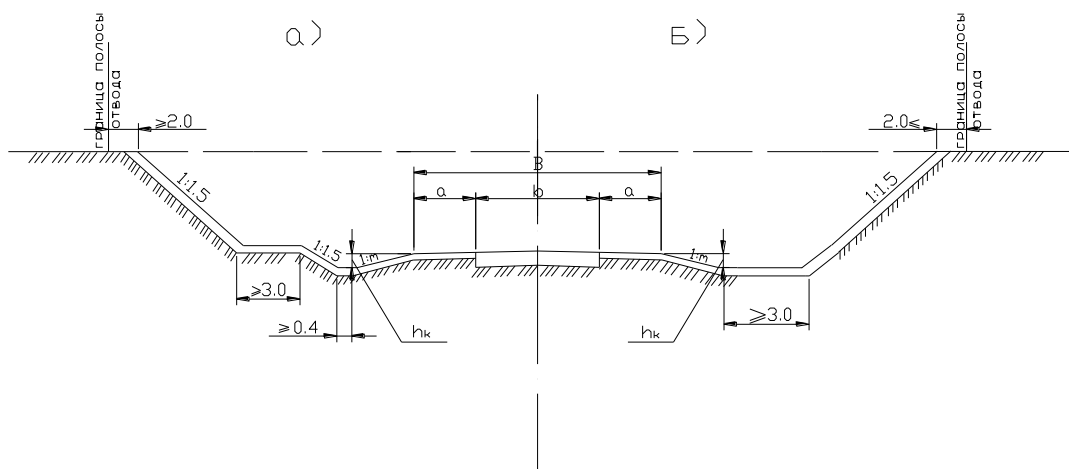


Рис. 5.13. Поперечный профиль выемки глубиной 1,0 – 5,0 м на снегозаносимых участках местности: а - с закуветной полкой; б- с кювет-резервом.

В случае выемки глубиной более 5,0 м на снегозаносимых участках местности на откосах выемки со стороны поля размещается большой объем снега и такие выемки в условиях Республики Беларусь снегонезаносимы при отсутствии закуветных полок и кювет-резервов. Поэтому на снегозаносимых участках местности при глубине выемки от 5,0 до 12 м и на снегонезаносимых участках при глубине выемки от 0 до 12 м назначают поперечный профиль выемки, представленный на рис. 5.14.

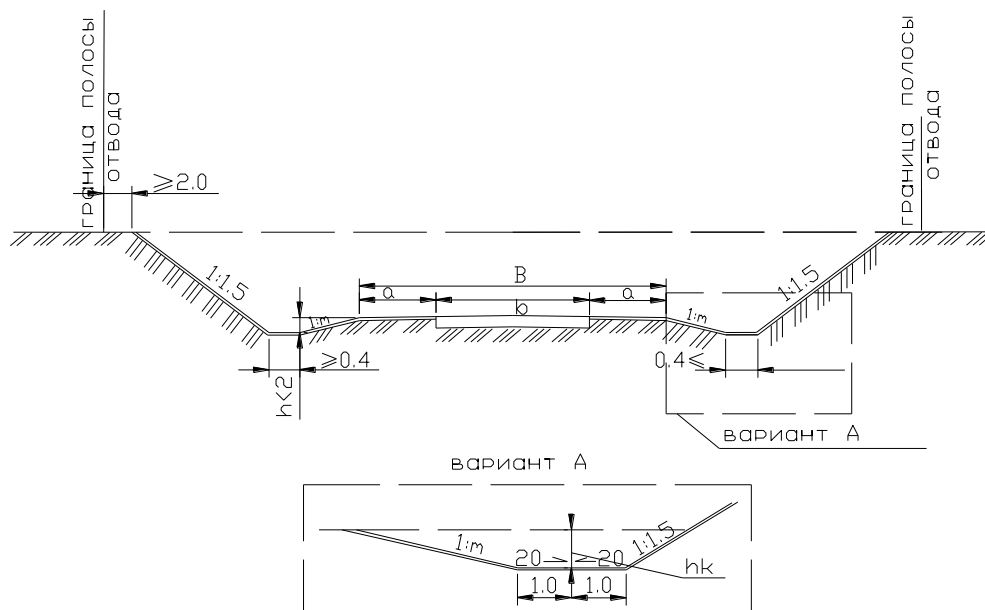


Рис. 5.14. Поперечный профиль выемки глубиной от 5,0 до 12,0 м на снегоза-носимых участках местности и глубиной от 0 до 12,0 м на снегонезаносимых

Ширина кювета по дну в случае дорог I и II категории принимается равной 2,0 м.

Если на снегозаносимом участке местности глубина выемки изменяется от 0 до 12 м, то на участке дороги с переменной глубиной выемки от 0 до 5,0 м принимают поперечный профиль выемки, представленный на рисунке 5.13. На остальном протяжении – на рисунке 5.14. Переход от одного поперечного профиля выемки к другому осуществляется на протяжении не менее 10 м.

На **косогорных участках местности** с крутизной склона от 1 : 10 до 1 : 3 необходимо предотвратить поступление воды на откос выемки с верховой стороны. Для этого устраивают **нагорные канавы** на расстоянии не менее 5,0 м от бровки откоса выемки (рис. 5.15).

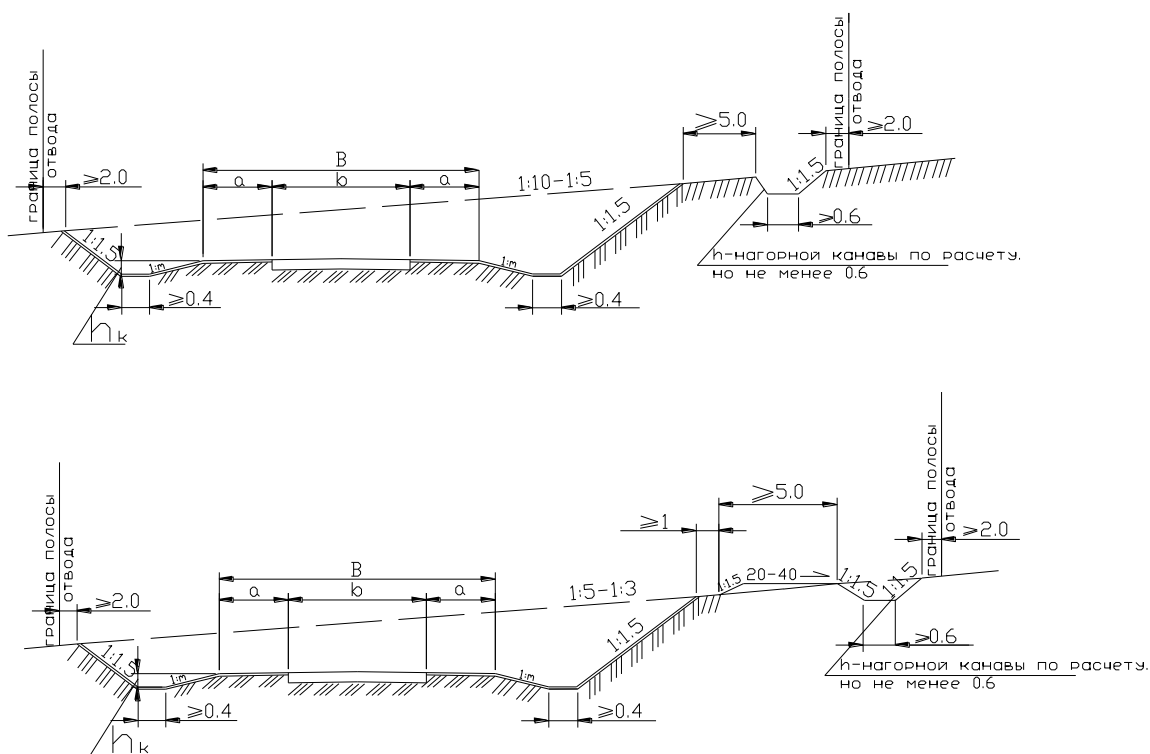


Рис. 5.15. Поперечный профиль земляного полотна в выемке на косогорах: а) крутизной от 1 : 10 до 1 : 5; б) крутизной от 1 : 5 до 1 : 3.

Поперечное сечение нагорной канавы обосновывают расчетом на пропуск воды, стекающей в нее с верхней стороны. При крутизне косогора от 1 : 5 до 1 : 3 из грунта от разработки нагорной канавы устраивают защитную планировку с уклоном 20 – 40% в сторону нагорной канавы (рис. 5.15)

На косогорных участках местности возможны поперечные профили земляного полотна, когда дорога проходит частично в выемки и частично в насыпи (рис. 5.16) (полунасыпь – полувыемка). Такой поперечный профиль представлен на рис. 5.16.

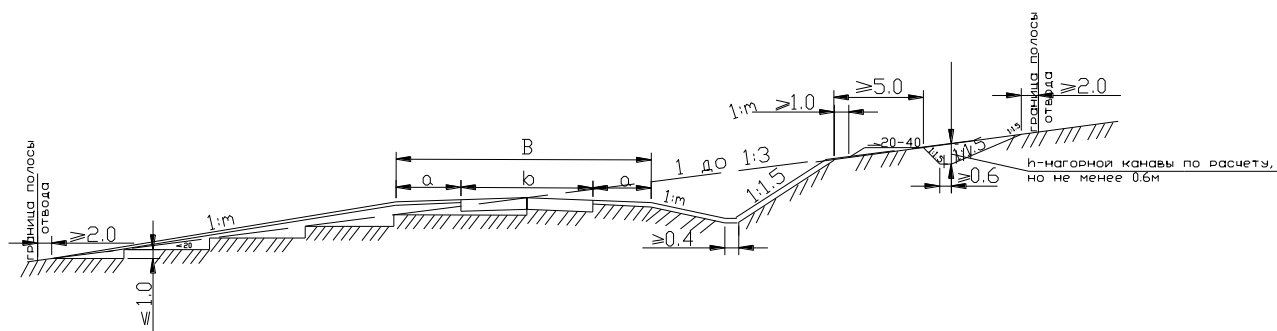


Рис. 5.16. Поперечный профиль земляного полотна и полунасыпь-полувыемка.

5.4. Индивидуальное проектирование земляного полотна

Индивидуальные решения при проектировании земляного полотна, а также привязку типовых решений путем соответствующего обоснования применяют:

- для насыпей и выемок с высотой откоса более 12 м;
- для насыпей на участках временного подтопления, а также при пересечении постоянных водоемов и водотоков;
- для насыпей, сооружаемых на болотах глубиной более 5 м с выторфовыванием или при наличии поперечных уклонов дна болота более 1 : 10;
- для насыпей, сооружаемых на слабых основаниях;
- при использовании в насыпях грунтов повышенной влажности;
- при возвышении низа дорожной одежды над расчетным уровнем воды;
- при сооружении насыпей на просадочных грунтах;
- для выемок в слоистых толщах, имеющих наклон пластов в сторону проезжей части;
- для выемок, вскрывающих водоносные горизонты или имеющих в основании водоносный горизонт, а также в глинистых грунтах с коэффициентом консистенции более 0,5;
- для выемок с высотой откоса более 6 м в пылеватых грунтах в районах избыточного увлажнения, а также в глинистых грунтах, теряющих прочность и устойчивость в откосах под воздействием погодно-климатических факторов;
- для выемок в набухающих грунтах при неблагоприятных условиях увлажнения;
- для насыпей и выемок, сооружаемых в сложных инженерно-геологических условиях: на косогорах круче 1 : 3, на участках с наличием или возможностью развития оползневых явлений, оврагов;
- при возведении земляного полотна с применением взрывов или гидромеханизации.

В случае насыпей и выемок с высотой откоса более 12 м расчетом устойчивости откоса против образования оползня обосновывается очертание откоса.

Если основание насыпи включает слабые грунты (торф, ил, глинистые грунты с показателем текучести свыше 0,5), то необходимо расчетом обосновать их устойчивость под действием нагрузки от веса насыпи против образования просадки насыпи.

В случае расположения насыпи на косогоре круче 1 : 3 необходимо проектировать подпорные стенки, препятствующие сдвигу насыпи.

Устойчивость откосов выемок в слоистых толщах, имеющих наклон в сторону проезжей части, также обосновывается расчетом.

5.5. Укрепление откосов земляного полотна

Откосы земляного полотна могут быть неподтопляемыми водой в течение всего срока службы земляного полотна, подтопляемыми во время паводков (рис. 5.10) или постоянно затопленными водой на пересечении водоемов (рис. 5.11).

Неподтопляемые откосы имеют выемки и насыпи в обычных условиях. Поперечные профили таких насыпей приведены на рисунках 5.4 – 5.7.

Неподтопляемые откосы укрепляют для предотвращения деформаций, сплывов и выветривания. Основные типы укреплений неподтопляемых откосов:

- 1) посев трав с плакировкой;
- 2) одерновка;
- 3) укрепление нетканым синтетическим материалом с семенами многолетних трав (НСМ СТ);
- 4) укрепление сборными или монолитными бетонными плитами;
- 5) укрепление решетчатыми конструкциями.

Посев трав с плакировкой (с подсыпкой слоя растительного грунта толщиной 0,15 м) является наиболее простым, экономичным и распространенным способом и применяется на основном протяжении автомобильной дороги.

Укрепления откосов посевом трав с плакировкой предотвращает сплывы и размывы откосов по мере развития корневой системы трав. Поэтому в начальный период развития корневой системы это укрепление не выполняет функцию защиты откосов от образования деформаций. В связи с этим при большой высоте откоса применяли **одерновку** их поверхности (сплошную или в клетку). Укрепления неподтопленных откосов неткаными синтетическими материалами с семенами (НСТ СТ), бетонными плитами, решетчатыми конструкциями могут применяться на подходах к путепроводу на пересечениях автомобильных и железных дорог.

Нетканый синтетический материал с семенами многолетних трав (далее НСМ СТ) выпускается по СТБ 1030 “Нетканый синтетический материал с семенами многолетних трав. Технические условия”, в виде рулонов. НСМ СТ укладывают на откосы при глинистых грунтах непосредственно на спланированную поверхность, а при песчаных грунтах на предварительно распределенный по откосу слой растительного грунта толщиной 10 см. Сверху НСМ СТ засыпают растительным грунтом толщиной 3 см.

НСМ СТ на поверхности откоса укладывают полосам вдоль бровки обочины или перпендикулярно бровке внахлестку величиной 0,15 м. На обочине и у подошвы откоса НСМ СТ заводят в продольную канавку

5.6. Водно-тепловой режим земляного полотна

Водно-тепловым режимом земляного полотна называют закономерное изменение влажности и температуры грунта, влияющих на прочность рабочего слоя. Водно-тепловой режим земляного полотна оказывает влияние на

прочность дорожной одежды, расположенной над рабочим слоем. Поэтому рассматривают закономерности изменения влажности и температуры в рабочем слое земляного полотна.

Влажность грунта рабочего слоя изменяется в течение года и зависит от источников увлажнения. Возможны следующие **источники увлажнения грунта** рабочего слоя (рис. 5.27):

- атмосферные осадки;
- кратковременно-стоящие (до 30 суток) поверхностные воды;
- подземные (грунтовые) или длительно-стоящие (более 30 суток) поверхностные воды.

Осенью вследствие уменьшения испарения происходит повышение влажности грунта рабочего слоя. При дорожных одеждах с монолитным покрытием этот период слабо выражен.

В начальный период зимы (ноябрь – январь) при промерзании грунта происходит накопление влаги вследствие перемещения ее снизу и с боков.

При дальнейшем промерзании возможно некоторое вымерзание влаги (испарение льда) при отсутствии достаточных источников увлажнения.

При установлении максимума глубины промерзания (февраль – март) на длительное время происходит резкое повышение влажности с накоплением льда, пучением грунта рабочего слоя и вспучиванием (поднятием) проезжей части дороги.

С повышением температуры происходит оттаивание промерзшего грунта с выделением большого количества воды. Прочность грунта резко падает. Летом под действием высокой температуры усиливается испарение воды из грунта рабочего слоя, понижается его влажность и повышается его прочность.

Таким образом, наибольшая влажность и наименьшая прочность грунта рабочего слоя имеет место в весенний период вследствие накопления большого количества влаги зимой.

5.7. Зимнее перераспределение влаги в рабочем слое и образование пучин

В грунте рабочего слоя различают **свободную** воду и **физически связанную**. Свободная вода находится в капиллярах грунта. Она замерзает при температуре минус $0,2^{\circ}\text{C}$. Физически связанная вода находится в виде пленок вокруг пылеватых частиц грунта. Она замерзает при температуре минус 3°C .

Зимой температура грунта рабочего слоя с глубиной возрастает.

В зоне температур от минус $0,2^{\circ}\text{C}$ до минус 3°C в замерзающем грунте имеются частички льда в капиллярах и пленочная вода вокруг пылеватых частиц. По мере промерзания грунта толщина пленки воды вокруг пылеватых частиц уменьшается.

За счет разности температур происходит перемещение воды от мест с более толстыми пленками (где влажность большая) к местам с более тонкими пленками. Объем кристаллов льда увеличивается.

Рост ледяных линз вызывает увеличение объема грунта (**пучение**) и поднятие расположенной выше дорожной одежды. Так как свойства грунтов и условия увлажнения рабочего слоя вдоль автомобильной дороги различны, то поднятие дорожной одежды неравномерно. Это приводит к снижению ровности проезжей части, к образованию трещин в покрытиях из монолитных материалов.

Из предыдущего следует, что для **зимнего накопления** влаги в рабочем слое земляного полотна и образования пучин необходимо наличие трех **условий**:

- **примерзание** грунта рабочего слоя;
- наличие **источника увлажнения**;
- наличие **пучинистого грунта**.

Если одно из перечисленных условий отсутствует, то процесс накопления влаги в рабочем слое зимой не происходит.

5.8. Регулирование водно-теплового режима рабочего слоя земляного полотна

Под регулированием водно-теплового режима рабочего слоя земляного полотна понимают разработку мероприятий, исключающих по возможности зимнее перераспределение влаги в рабочем слое, ее накопление и образование пучин, весеннее переувлажнение грунта рабочего слоя. Так как условиями образования пучин являются промерзание грунта рабочего слоя, наличие источника увлажнения и пучинистого грунта, то регулирование водно-теплового режима рабочего слоя предусматривает исключение одного из этих условий. В климатических условиях Республики Беларусь глубина промерзания превышает толщину дорожной одежды. Рабочий слой земляного полотна также промерзает. Поэтому наиболее распространенные меры по недопущению пучения грунта направлены на **исключение** влияния **источников увлажнения** рабочего слоя.

Наиболее простой способ предотвратить подток капиллярной воды в рабочий слой земляного полотна – **проектирование проектной линии по обертывающей в насыпях высотой не менее руководящей рабочей отметки**. Руководящая рабочая отметка (требуемая высота насыпи) определяется по формулам (3.27) (3.28).

Если невозможно при проектировании продольного профиля автомобильной дороги по обертывающей обеспечить руководящую рабочую отметку, то для предотвращения подтока капиллярной воды снизу к зоне рабочего слоя с температурами минус (1 – 3)°С устраивают капилляр-прерывающие, гидроизолирующие, дренирующие прослойки.

Капиллярнопрерывающие прослойки устраивают или из водонепроницаемых материалов или из зернистых фильтрующих материалов (гравий, щебень). В качестве капиллярнопрерывающих прослоек могут использо-

ваться нетканые синтетические материалы, имеющие большой коэффициент фильтрации.

Для устройства **гидроизолирующих прослоек** применяют материалы, обеспечивающие изоляцию грунта от влаги. К таким материалам относятся грунты, обработанные битумом, полиэтиленовая пленка толщиной 0,2 мм, нетканые синтетические материалы, пропитанные битумом и др.

5.9. Дренажи в земляном полотне

Дренажи классифицируют по назначению, на понижающие и погращдающие (перехватывающие), по месту расположения на подкюветные и закюветные и по условиям работы на совершенные (доходят до водопора, рис. 5.34, б) и несовершенные (заканчиваются в водоносном слое, рис. 5.34, а).

Понижающие дренажи предназначены для понижения уровня грунтовой воды в выемках и низких насыпях. Они располагаются под кюветами или за кюветами с целью обеспечения возможности их ремонта при эксплуатации автомобильной дороги.

В конструкции понижающего дренажа водоприемным элементом являются дренажная труба. Вода поступает в нее через стыки керамических труб или через отверстия полиэтиленовых перфорированных труб. Вокруг дренажной трубы выполнена обсыпка ее дренирующим материалом по принципу обратного фильтра для предотвращения заиливания. Сверху дренажная траншея засыпается песком. Для исключения попадания поверхностной воды в дренажную трубу слой песка закрывается дерном или мятой глиной и засыпается глинистым грунтом.

Закюветный понижающий дренаж менее подвержен заилению, чем подкюветный.

Ограждающие (перехватывающие) дренажи применяются для отвода грунтовых вод при выходе их на откос выемки. Их располагают на откосах выемки при большой разности отметок поверхности земли и низа водоносного слоя.

Откосные дренажи предусматриваются для предотвращения сплывов откосов выемок вследствие разрозненных выходов на откос грунтовых вод. В этом случае на поверхности откоса укладывают крупнопористые материалы (песок, щебень, гравий) по принципу обратного фильтра. Сверху этих материалов предусматривают укрепление откоса. Общая толщина откосного дренажа должна быть больше глубины промерзания на 0,3 м.

5.11. Определение объемов земляных работ

Земляное полотно является линейным сооружением. Объемы насыпей, выемок вычисляются по данным о проектных и рабочих отметках, принятом типе проектного поперечного профиля земляного полотна и конструкции дорожной одежды. Если существующий поперечный профиль земляного по-

лотна – прямая линия с крутизной до 1 : 10, что, как правило, имеет место при строительстве автомобильной дороги по новому направлению, то на каждом участке земляного полотна вычисляют среднюю рабочую отметку, ее снижение в случае насыпей или увеличение в случае выемок за счет устройства дорожной одежды. По геометрическим соображениям вычисляется по формулам площадь поперечного сечения земляного полотна и его объем как произведение этой площади на длину участка.

Если существующий (черный) поперечный профиль местности имеет сложное очертание, то на каждом пикете и плюсовой точке продольного профиля наносится проектный поперечник с учетом дорожной одежды на черный поперечный профиль, вычисляется площади досыпки или срезки (рис. 5.42).

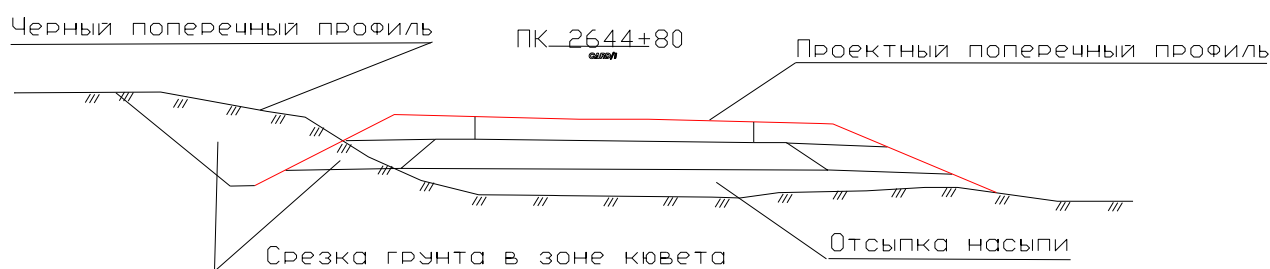


Рис. 5.42. Схема определения объемов земляных работ по поперечным профилям земляного полотна: 1 – черный поперечный профиль; 2 – проектный поперечный профиль

Черные и проектные поперечники, вычеркивают на ЭВМ, площади досыпки и срезки и объемы работ определяют по программам также с помощью ЭВМ.

В дальнейшем рассмотрим случай вычисления объемов земработ на основе рабочих отметок.

5.11.1. Определение объемов насыпей

Перед возведением насыпи снимается из-под подошвы ее плодородный слой объемом $W_{пс}$. Далее с учетом плодородного слоя отсыпается земляное полотно (насыпь) до бровки верха земляного полотна с уклоном $i_{зп}$. После этого возводится дорожная одежда из дорожно-строительных материалов.

5.11.2. Определение объемов выемок

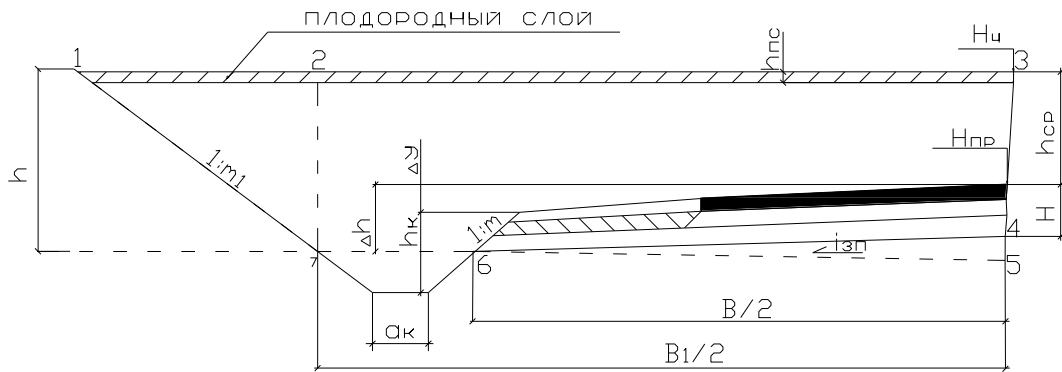


Рис. 5.44. Схема к определению объема выемки.

Площадь половины поперечного сечения выемки (рис. 5.44) состоит из треугольника 1 – 2 – 7, прямоугольника 2 – 3 – 5 – 7 за вычетом треугольника 6 – 4 – 5.

Объем выемки равен произведению полной площади поперечного сечения на длину участка ℓ

5.11.3. Определение объемов присыпных обочин

В случае насыпей и выемок вычисляют объем присыпных обочин

$$W_{no} = \left[(h_{01} + h_{02}) \cdot (a - c + mh_n) + mh_{02}^2 - 1.5 \cdot h_{01}^2 \right] \cdot \ell,$$

где

$$h_{01} = h_o - (i_n - i_{3n}) \cdot (0.5 \cdot b + c),$$

$$h_{02} = h_{01} - (i_o - i_{3n}) \cdot (a - c + mh_n),$$

где a и c – ширина обочины и укрепительной полосы;

h_o – толщина основания дорожной одежды

h_n – толщина покрытия.

5.11.4. Определение объемов кюветов

В случае выемок вычисляют объемы двух кюветов по формуле:

$$W_k = \left[2a_k \cdot h_{k0} + (m + m_1) \cdot h_{k0}^2 \right] \cdot \ell,$$

где $h_{k0} = h_k - \Delta h + \Delta y$;

a_k – ширина кювета (кювет – резерва);

h_k – глубина кювета (расстояние от бровки до дна кювета);

Δh – снижение бровки верха земполотна, определяется по (4.2);

ΔU – разность отметок проектной линии и бровки обочины, вычисляется по (3.18);

m, m_1 – заложение откосов со стороны обочины и местности;

ℓ – протяжение участка выемки.

При выходе из выемки (на участке низкой насыпи) глубина кювета изменяется от h_k до 0. Поэтому на таком участке объем кюветов вычисляется по формуле:

$$W_{k'} = \left[a_k \cdot h_{k0} + 0,25 \cdot (m + m_1) \cdot h_{k0}^2 \right] \cdot \ell, \quad (4.19)$$

Раздел II. Проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог

Глава 6. Пересечение автомобильных дорог с инженерными коммуникациями.

Автомобильные дороги общего пользования могут пересекать следующие инженерные объекты: автомобильные дороги, железные дороги, линии связи и электропередач (воздушные и подземные), трубопроводы различного назначения, с автомобильных дорог могут устраиваться съезды на прилегающие территории (в поле, в лес, на ферму и т.д.).

Пересечения автомобильных дорог между собой называют узлами. Узлы автомобильных дорог могут проектироваться в одном или разных уровнях. Узла автомобильных дорог в разных уровнях называют транспортными развязками, а в одном уровне – пересечениями (примыканиями) автомобильных дорог.

Пересечения автомобильных дорог с железными дорогами может проектироваться в разных уровнях или в одном. Автомобильные дороги I-III категорий пересекаются в разных уровнях всегда, а IV и V категории при пересечении участка железной дороги со скоростным движением, (свыше 120 км/ч), или при интенсивности движения более 100 поездов в сутки, а также в случаях, когда не обеспечены нормы видимости, и при расчетной интенсивности движения по автомобильной дороге свыше 1000 авт./сутки.

В случае пересечения автомобильной дорогой воздушных линий связи или электропередач необходимо обеспечить нормируемое расстояние от поверхности проезжей части до низа проводов с учетом их провисания летом. При пересечении подземных линий связи или электропередач в земляном полотне дороги предусматривают устройство каналов из труб для проложения в них в будущем кабелей связи или электрокабелей.

При пересечении газопроводов предусматривают стальной кожух вокруг газовой трубы с устройством за пределами полосы отводов выпуска газа при его возможной утечке вследствие коррозии газовой трубы. Этим предотвращают взрыв газопровода вследствие утечки газа.

6.1. Общие положения по проектированию узлов автомобильных дорог

Автомобильная дорога – комплекс инженерных сооружений, предназначенных для удобного и безопасного движения автомобильного транспорта с установленными скоростями и нагрузками.

Основными требованиями к узлам автомобильных дорог являются требования обеспечения безопасного и удобного движения, с учетом затрат на строительство узла, транспортно-эксплуатационных затрат.

Безопасность движения обеспечивается *своевременной видимостью, хорошей обзорностью, понятностью узла* автомобильной дороги.

Удобство проезда достигается непрерывностью движения, минимумов времени на проезд узла.

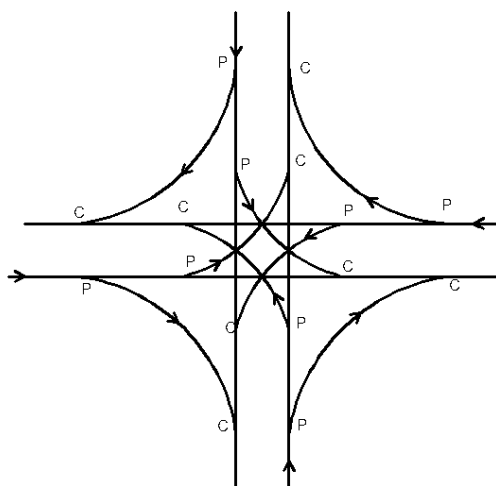


Рис. 6.1. Точки разветвления (Р), слияния (С) и пересечения (П) траекторий движения автомобилей на пересечении двухполосных дорог.

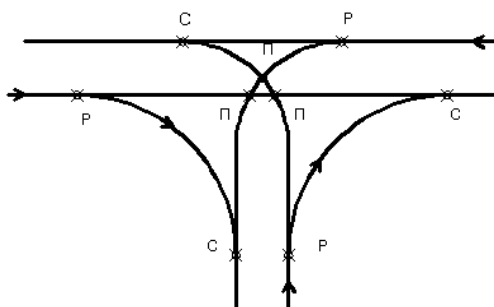


Рис. 6.2. Точки разветвления (Р), слияния (С) и пересечения (П)

траекторий движения автомобилей на обычном примыкании.

На пересечении двухполосных дорог возможные траектории движения автомобилей образуют (рис. 6.1) восемь точек Р разветвления потоков, восемь точек С слияния и шестнадцать точек П пересечения потоков. На обычном примыкании (рис. 6.2) количество таких точек по три для каждого вида, на правоповоротном примыкании по одной точке разветвления и слияния (рис. 6.3).

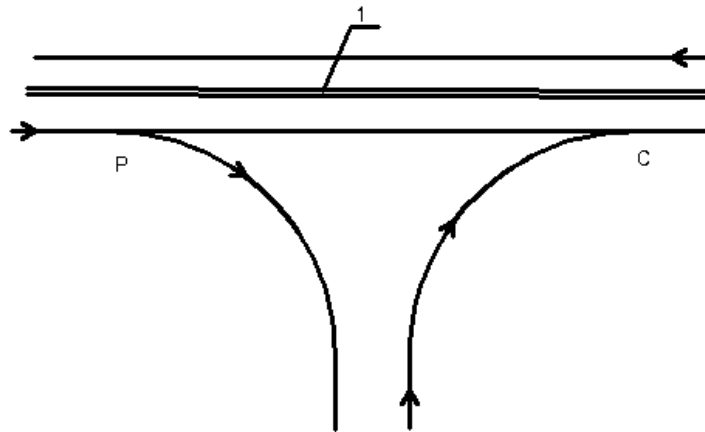


Рис. 6.3. Точки разветвления (Р), слияния (С) траекторий движения автомобилей на правостороннем примыкании: 1 – разделительная полоса.

Точки разветвления, слияния и пересечения потоков называют опасными, так как они являются местами дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Наибольшее число ДТП в точках пересечения потоков, наименьшее – в точках разветвления.

Степень опасности пересечения зависит от интенсивности движения потоков транспорта, которые подходят к опасным точкам. Поэтому на дорогах с высокой интенсивностью движения проектируют полные транспортные развязки, на которых полностью устраняют точки пересечения потоков как наиболее опасные. В случае сохранения точек пересечения потоков на второй-степенной дороге развязка называется неполной.

По нормативам транспортные развязки надлежит предусматривать, как правило, в следующих точках:

- на автомагистралях (категория I-а) и скоростных дорогах (категория I-б) при пересечении с автомобильными дорогами всех категорий;
- на автомобильных дорогах I-в категории с дорогами, расчетная интенсивность на которых превышает 1000 авт./сутки;

- на автомобильных дорогах I-в категории с числом полос движения 6 и более с автомобильными дорогами всех категорий, при пересечении дорог II-III категорий между собой при перспективной интенсивности движения (в сумме для обеих дорог) более 12000 авт./сутки.

Дороги V-VI категорий при пересечении автомагистралей и скоростных автомобильных дорог следует подводить к другим транспортным развязкам. Только при их отсутствии на протяжении свыше 3 км следует предусматривать устройство транспортных развязок.

Глава 7. Схемы пересечений и примыканий автомобильных дорог

Различают простые, канализированные и кольцевые пересечения и примыкания.

Простые пересечения обеспечивают движение транспорта по трем направлениям (прямо, направо и налево) в соответствии с рисунком 2.1, простые примыкания по двум направлениям направо и налево в соответствии с рисунком 2.2.

В последнее время на дорогах I-в категории применяют простые примыкания, обеспечивающие только повороты направо с примыкающей дороги и направо на примыкающую дорогу (правоповоротные примыкания).

Планы проезжей части простых пересечений, простых примыканий и правоповоротных примыканий приведены на рисунке 3.1.

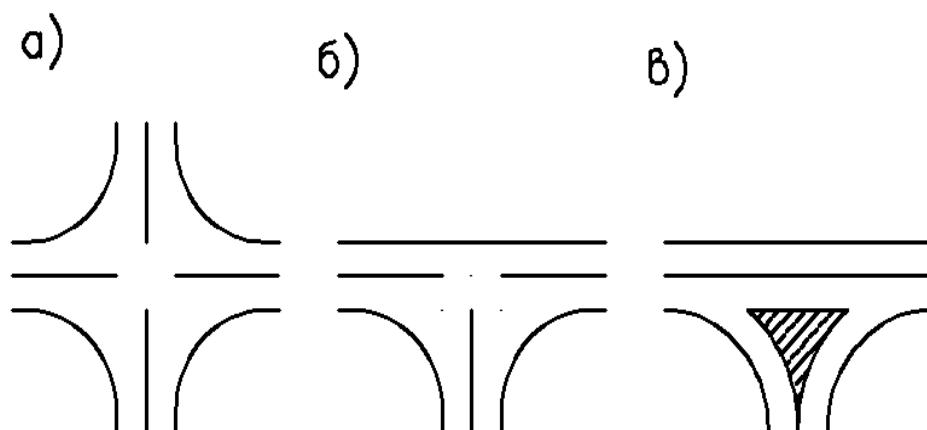


Рис. 7.1. Планы проезжей части: а) простого пересечения; б) простого примыкания; в) правоповоротного примыкания.

Канализированные пересечения обязательно включают накопительные полосы (НП) на главной дороге и каплевидные направляющие островки (КНО) на второстепенной дороге (рис. 7.2). В случае примыкания каплевид-

ный направляющий островок предусматривают и на второстепенной дороге (рис. 8.3.4).

Накопительные полосы предназначены для автомобилей, поворачивающих налево с главной дороги. Их наличие улучшает условия движения по прямому направлению главной дороги.

На двухполосных дорогах накопительные полосы НП (рис.7.2) включают участки расширения l_1 , торможения l_2 и ожидания l_3 .

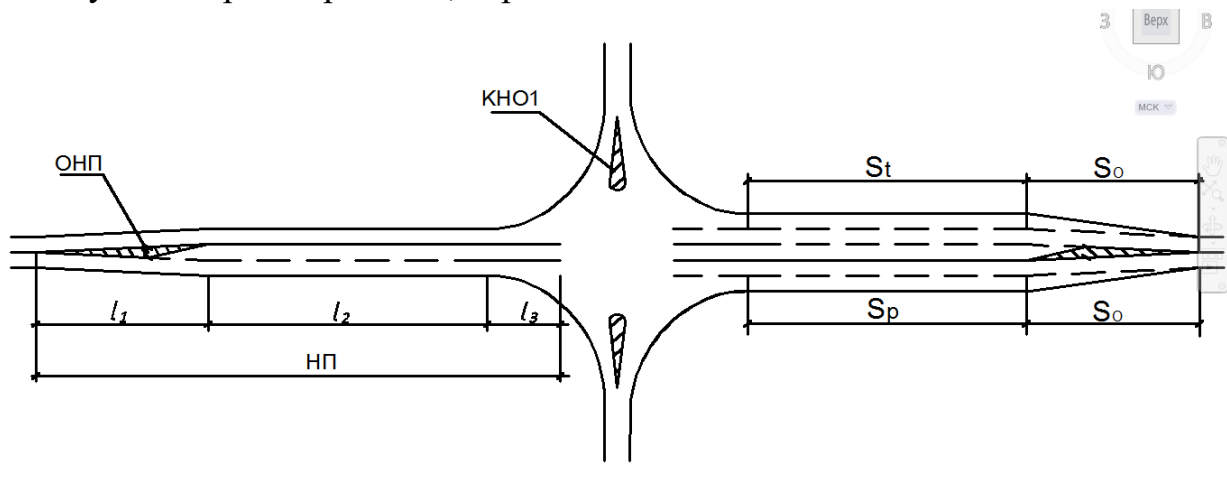


Рис. 7.2. Схема канализированного пересечения двухполосных дорог.

На двухполосной дороге накопительная полоса НП располагается между встречными полосами главной дороги и является дополнительной. Для получения этой полосы предназначен клиновидный островок накопительной полосы ОНП.

Каплевидные направляющие островки КНО предназначены для повышения безопасности движения автомобилей, поворачивающих налево с главной дороги.

Канализированные пересечения (примыкания) могут иметь дополнительно полосы торможения длиной S_t , полосы разгона длиной S_p (рис.7.4). Они предназначены для изменения скорости движения и называются переходно-скоростными (ПСП). Необходимость ПСП обуславливается интенсивностью движения автомобилей, поворачивающих направо с главной дороги (полосы торможения) и с второстепенной полосы (полосы разгона). ПСП сопрягаются с основными полосами клиновидными отгонами уширения S_o (рис.7.2).

На канализированных пересечениях (примыканиях) площадь покрытия, не предназначенная для движения автомобилей, выделяется с помощью треугольных островков.

Островки накопительной полосы, каплевидные и треугольные островки вместе с горизонтальной разметкой обозначают полосы (каналы) движения автомобилей, канализируют возможные направления движения.

Кольцевые пересечения дорог III-IV категорий могут устраиваться по суммарной интенсивности в узле не более 12 000 авт./сутки и при интенсивности движения на второстепенной дороге более 15% от суммарной в узле. Применение кольцевых пересечений целесообразно при значительной доле левоповоротного движения.

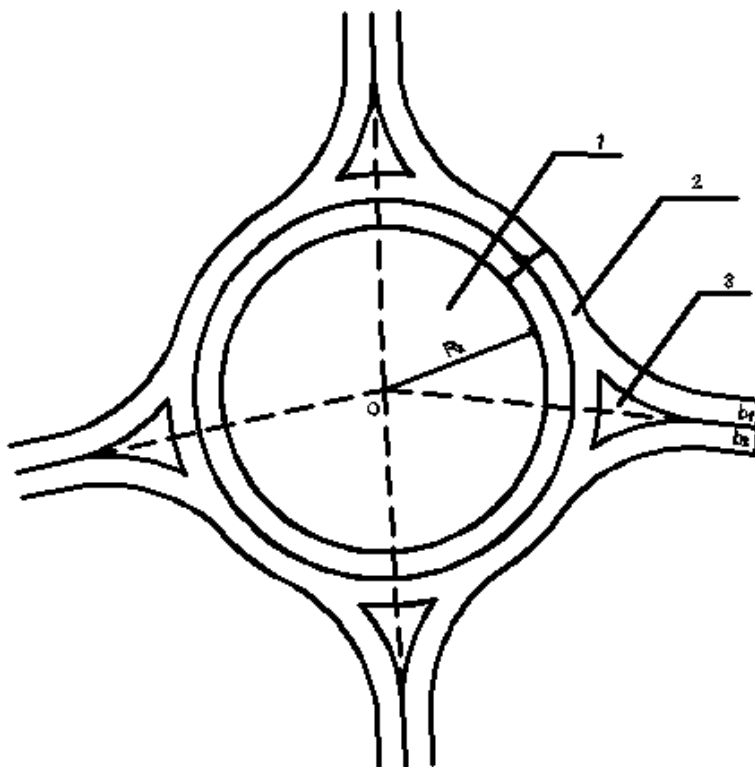


Рис. 7.3. Схема кольцевого пересечения автомобильных дорог: 1 – центральный островок; 2 – кольцевая проезжая часть; 3 – разделительный островок.



Рис.7.4. План кольцевого пересечения.

Снимок Google Earth. Координаты: 42 39 51.75N, 73 50 53.10W.

Недостатками кольцевого пересечения являются, по сравнению с канализированным, перепробеги и малая скорость движения транспорта при малом диаметре кольца. Однако кольцо с малым диаметром позволяет упорядочить скоростной режим движения транспорта.

Глава 8. Проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном уровне

8.1. Общие требования к проектированию пересечений и примыканий

Безопасность движения на пересечениях и примыканиях зависит от *видимости, обзорности и понятности* пересечений и примыканий.

8.1.1. Обеспечение видимости

Для *обеспечения видимости* пересечения и примыкания автомобильных дорог в плане должны располагаться на прямых участках или закруглениях с радиусом не менее 2 000 м на дорогах I и II категорий и 800 м на дорогах III и IV категорий. При реконструкции пересечения и примыкания с существующими дорогами допускается располагать их на закруглениях с радиусами 1 000 м на дорогах II категории, 600 м на дорогах III категории, 400 м на дорогах IV категории. Радиус выпуклой вертикальной кривой не менее 8 000 м.

Кроме *видимости пересечения (примыкания)* должна быть обеспечена *зона видимости пересекающихся направлений*.

8.1.2. Обеспечение обзорности пересечений

Обзорность зоны пересечения (примыкания) зависит от угла пересечения (примыкания) дорог. Угол пересечения (примыкания) отсчитывается против часовой стрелки от направления главной дороги к направлению второстепенной дороги (

Для обеспечения обзорности пересечений рекомендуется выполнять их под углом 90° . Допускается угол пересечения в пределах $50^\circ \leq \alpha < 100^\circ$. Различное отклонение от 90° обусловлено лучшей обзорностью главной дороги слева при правостороннем движении.

Примыкания под углом более 100° и менее 50° следует проектировать с направляющими островками на примыкающей дороге, которые должны отклонять траекторию движения автомобилей, выезжающих на главную дорогу до требуемого угла 100° . Островки должны быть приподняты над проезжей частью с помощью бордюра.

8.1.3. Понятность пересечений (примыканий) дороги

Понятность пересечений (примыканий) достигается с помощью установки дорожных знаков, дорожной разметки.

Для обеспечения понятности пересечений (примыканий) приводится информация о схеме движения на пересечении (примыкании) с помощью установки дорожных знаков 5.20.1. («Предварительный указатель направлений»). Знак 5.20.1. устанавливается перед пересечением республиканских дорог республиканскими или важнейшими местными на расстоянии не менее 300 м от начала отгона полосы торможения, а при её отсутствии – от ближайшей границы перекрестка.

На знаке 5.20.1. наносятся возможные направления движения (три направления на пересечении и два направления на примыкании). По каждому направлению указывают наименование населенных пунктов и маршрутный номер республиканской дороги.

В поперечном сечении, проходящем по границе перекрестка, устанавливают знак 5.21.2. («Указатель направлений»). На знаке 5.21.2. указывают наименования населенных пунктов по направлениям, расстояние до них (рис. 8.1.4.).

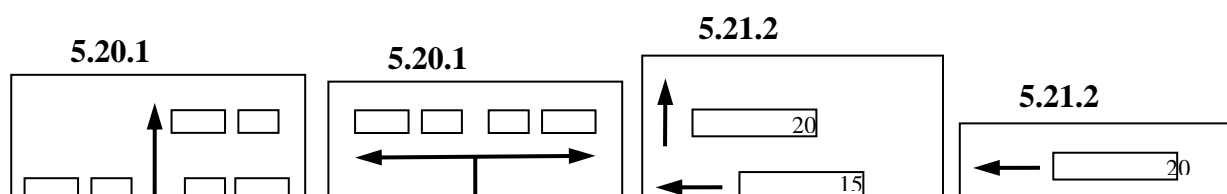


Рис. 8.1.4. Схемы дорожных знаков 5.20.1. и 5.20.2.:
а, в – на пересечениях; б, г – на примыканиях

Если на пересечениях (примыканиях) имеются дополнительные полосы, то устанавливают знак 5.8.3. («Начало полосы») перед началом отгона полосы торможения или знак 5.8.4. («Начало полосы») перед началом отгона накопительной полосы. В конце полосы разгона устанавливают знак 5.8.5. («Конец полосы»).

В зоне накопительной полосы и полосы торможения на расстоянии 20-50 м от ближайшей границы перекрестка устанавливают знак 5.8.1. («Направление движения по полосам»), (рис. 8.1.5.).

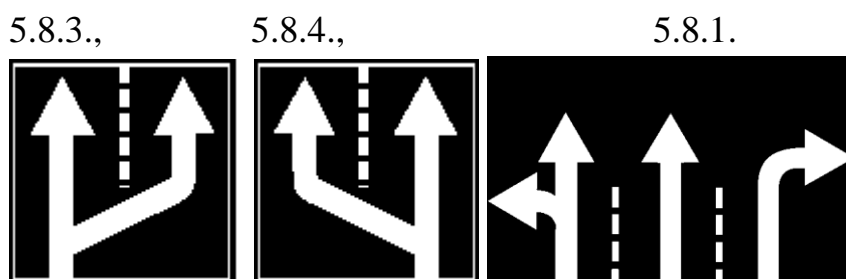


Рис. 8.1.5. Схема дорожных знаков 5.8.3., 5.8.4., 5.8.1.

Для обеспечения преимущества движения по главной дороге на ней за 150 – 200 м до второстепенной дороги устанавливается знак 2.3.1. («пересечение с второстепенной дорогой») в случае пересечений или знак 2.3.2. или 2.3.3. («Примыкание второстепенной дороги») в случае примыканий. На второстепенной дороге устанавливается знак 2.4. («Уступи дорогу») непосредственно перед пересечением с главной дорогой и предварительно за 150 – 300 м с дополнительной табличкой 7.1.1. («Расстояние до объекта»). Если на пересечении не обеспечена видимость, то вместо знака 2.4. ставится знак 2.5.

(«Движение без остановки запрещено») и вместо таблички 7.1.1. табличка 7.1.2. («Расстояние до объекта»).

8.1.4. Продольный профиль пересекающихся дорог

Для обеспечения безопасности движения продольные уклоны на подходах к пересечениям (примыканиям) на протяжении расстояний видимости для остановки S_1 (табл. 8.1.1.) не должны превышать 40%. При этом продольный уклон второстепенной дороги на расстоянии не менее 20 м от кромки покрытия главной дороги не должен превышать 25%.

Продольный профиль второстепенной дороги на пересечении (примыкании) подходит к контрольной точке К (точке пересечения оси второстепенной дороги и кромки покрытия главной дороги)

8.1.5. Поперечный профиль второстепенной дороги

Поперечный профиль второстепенной дороги при сопряжении с кромкой покрытия главной дороги должен быть односкатным с поперечным уклоном, равным продольному уклону кромки проезжей части главной дороги. Поэтому на второстепенной дороге предусматривается переход от двухскатного поперечного профиля проезжей части с уклоном $i_{\text{п}}$ к односкатному с уклоном $i_{\text{в}} = i_{\text{гл}}$. Так как предельный уклон главной дороги не должен превышать 40%, то и максимальный уклон выража $i_{\text{в}} = 40\%$. Отгон поперечного профиля осуществляется в пределах криволинейной проезжей части второстепенной дороги. При этом продольный уклон криволинейной кромки проезжей части второстепенной дороги не должен превышать 50% на подъеме и 60% на спуске. Если уклон $|i_{\text{гл}}| > |i_{\text{п}}|$, то одна полоса проезжей части второстепенной дороги поднимается путем вращения вокруг оси дороги, а вторая – опускается (рис. 8.1.8. – а).

8.2. Проектирование простого пересечения

Проектирование простого пересечения включает проектирование плана пересечения, продольного и поперечного профилей второстепенной дороги, установку дорожных знаков, разметку проезжей части, определение объемов работ.

Проектирование продольного профиля осуществляется в соответствии с § 8.1.

Проектирование плана пересечения включает назначение места пересечения, угла пересечения и расчет сопряжения кромок проезжей части.

Для сопряжения кромок проезжей части пересекающихся дорог могут применяться следующие разновидности кривых: круговые, коробовые, переходные в сочетании с круговыми.

8.2.1. Сопряжения кромок проезжей части по круговым кривым, по круговым с переходными.

При применении круговых кривых разбивка сопряжения кромок проезжей части на пересечении (примыкании) дорог аналогична разбивке закругления плана трассы автомобильной дороги.

Радиусы кривых при сопряжении кромок проезжей части следует принимать *по категории дороги, с которой происходит поворот направо*. Для дорог I-в категории этот радиус не менее 25 м, для дорог II – III категории – не менее 20 м, для дорог IV, V категории – не менее 15 м, для дорог VI категории – не менее 8 м.

Радиусы сопряжения кромок проезжей части съездов на дороги не общего пользования, полевые, лесные дороги следует принимать 12 м, а съездов к отдельным усадьбам – 8 м для всех категорий дорог.

8.2.2. Сопряжения кромок проезжей части по коробовым кривым

Водитель автомобиля, поворачивающего направо, при подходе к пересечению уменьшает скорость путем торможения, а при выходе увеличивает с помощью силы тяги, развиваемой двигателем. Длина пути разгона больше длины пути торможения. Этому условию соответствуют коробовая кривая, у которой тангенс закругления на выходе больше тангенса закругления на входе.

Коробовая кривая состоит из трех круговых кривых (рис. 8.2.3.): входной АВ с радиусом поворота $R_1 = 2R$ и центральным углом $\alpha = 15^\circ$; средней ВС радиусом R и выходной СД с радиусом $R_3 = 3R$ и центральным углом $\alpha_3 = 20^\circ$. Центральный угол средней кривой α_2 ($\alpha_2 = \varphi - 35^\circ$) равен оставшейся части угла поворота кромок проезжей части.

По нормативу коробовую кривую целесообразно применять при острых углах пересечения кромок, в стесненных условиях. В этом случае для уменьшения площади криволинейного треугольника, то есть для уменьшения стоимости пересечения следует принимать радиус средней дуги R_1 равным 15 м для I-в категории; 12 м – для II и III и 8 м – для IV и V.

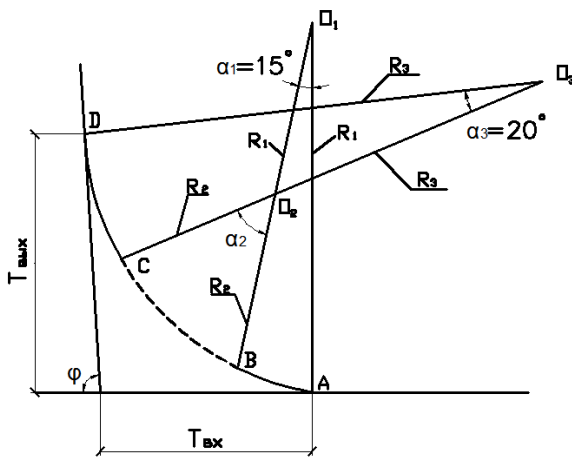


Рис. 8.2.3. Схема коробовой кривой.

8.2.2.1. Определение тангенсов коробовых кривых

Возможны случаи, когда угол поворота кромки покрытия: $\varphi \leq 90^\circ$ и $\varphi \geq 90^\circ$.

Случай 1. $\varphi \leq 90^\circ$

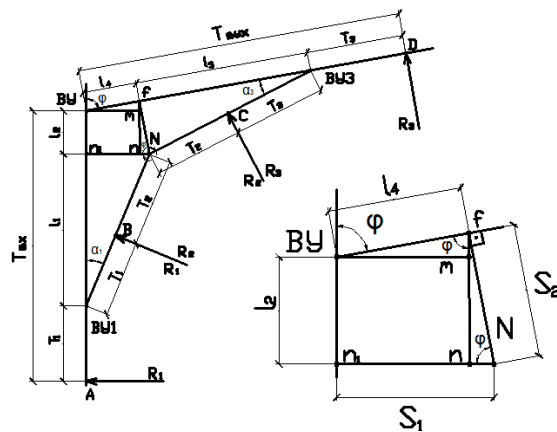


Рис. 8.2.4. Схема к определению $T_{вх}$ и $T_{вых}$ при $\varphi < 90^\circ$

$$T_{вх} = (T_1 + T_2) \cos \alpha_1 + S_2 \sin \varphi - (S_1 - S_2 \cos \varphi) \operatorname{ctg} \varphi, \quad (8.2.7)$$

$$T_{вых} = T_3 + (T_2 + T_3) \cos \alpha_3 + (S_1 - S_2 \cos \varphi) / \sin \varphi, \quad (8.2.8)$$

где S_1, S_2 – по формуле (8.2.6.);

T_1, T_2, T_3 – тангенсы круговых кривых;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы круговых кривых:

$$T_1 = R_1 \operatorname{tg}(15 / 2); \quad T_2 = R_2 \operatorname{tg} [(\varphi - 15 - 20) / 2]; \quad T_3 = R_3 \operatorname{tg} (20 / 2).$$

Второй случай ($\varphi > 90^\circ$) представлен на рисунке 8.2.5.

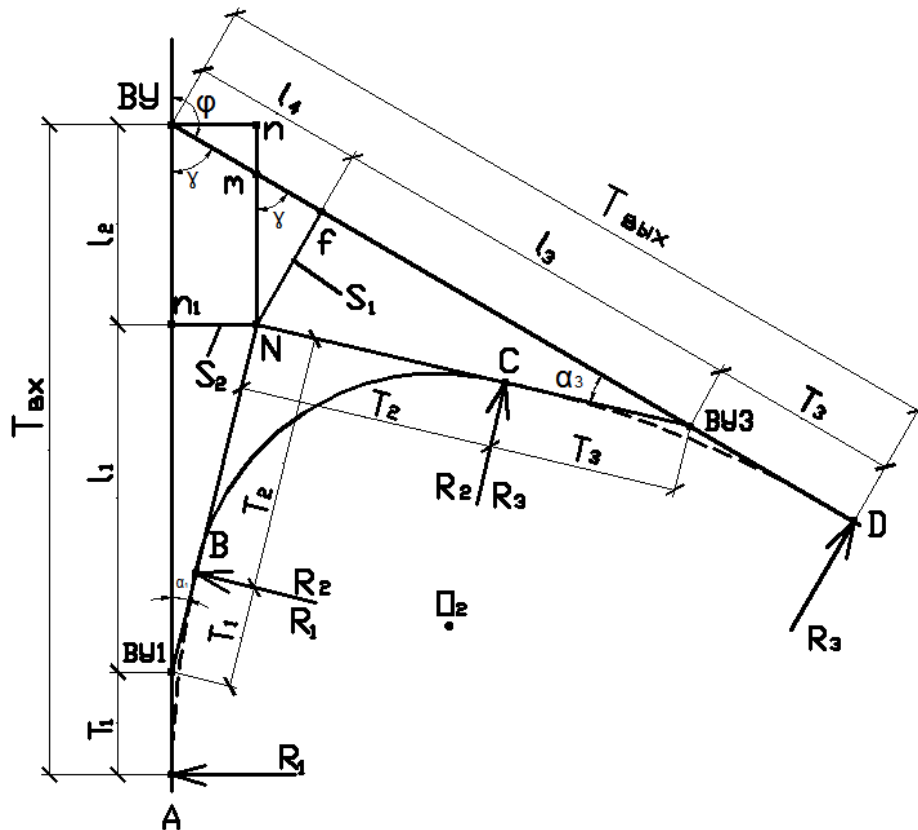


Рис. 8.2.5. Схема к определению тангенсов коробовой кривой $T_{вх}$ и $T_{вых}$ при $\varphi > 90^\circ$

$$T_{вх} = T_1 + (T_1 + T_2) \cos \alpha_1 + S_2 / \sin \gamma + S_1 \operatorname{ctg} \gamma, \quad (8.2.10)$$

$$T_{вых} = T_3 + (T_2 + T_3) \cos \alpha_3 + S_1 / \sin \gamma + S_2 \operatorname{ctg} \gamma. \quad (8.2.11)$$

Величины S_1 и S_2 вычисляют по (8.2.6). Угол γ равен $\gamma = (180 - \varphi)$

8.2.2.2. Разбивка коробовой кривой

Коробовая кривая состоит из трех круговых кривых длиной:

$$K_1 = AB = \pi R_1 15 / 180;$$

$$K_2 = BC = \pi R_2 (\varphi - 35) / 180;$$

$$K_3 = CD = \pi R_3 20 / 180.$$

Начало (т. А) и конец (т. Д) коробовой кривой (рис. 8.2.6.) получают, отмеряя от точки О пересечения кромок сопрягаемых полос движения тангенсы $T_{вх}$ и

$T_{\text{вых}}$. Положение точек В и С определяют их координаты в системах X_1Y_1 и X_2Y_2 (рис. 8.2.6.).

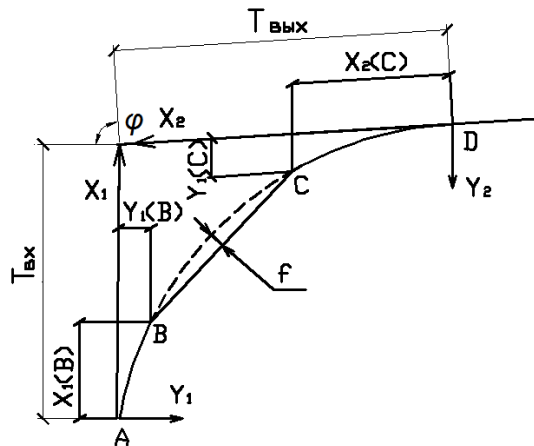


Рис. 8.2.6. Схема разбивки коробовой кривой.

Координаты точек В и С вычисляют по формулам:

$$X_1(B) = R_1 \sin(K_1 / R_1), \quad Y_1(B) = R_1(1 - \cos(K_1 / R_1)),$$

$$X_2(C) = R_3 \sin(K_3 / R_3), \quad Y_2(C) = R_3(1 - \cos(K_3 / R_3)).$$

Кривую K_2 выносят на местность, отмеряя отклонение середины дуги от хорды ВС:

$$f = R_3 (1 - \cos (K_3 / 2R_3))$$

8.2.3. Проектирование отгона поперечного профиля второстепенной дороги

Главная дорога может иметь продольный уклон до 40%. С таким же продольным уклоном проходит и кромка проезжей части и кромка укрепленной полосы. Второстепенная дорога на подходе к пересечению имеет двухскатный поперечный профиль. Переход от двухскатного поперечного профиля второстепенной дороги к односкатному на кромке укрепленной полосы – отгон поперечного уклона второстепенной дороги (отгон виража). Проектирование отгона поперечного профиля включает назначение уклона виража, длины отгона и определение относительных и абсолютных отметок кромок проезжей части. Уклон виража равен продольному уклону главной дороги, т.е. $i_B = i_{\text{гл}}$.

8.2.3.1. Назначение длины отгона поперечного профиля

Длина отгона виража обычно принимается равной длине тангенса криволинейной кромки проезжей части второстепенной дороги. При угле пересечения $\alpha = 90^\circ$ (рис. 8.2.1) положение криволинейной кромки правой и левой полос проезжей части не совпадают. Это имеет место и при $\alpha = 90^\circ$, когда различны величины радиусов круговых кривых. Радиус R назначается по категории дороги, с которой осуществляется поворот направо (рис. 8.2.7).

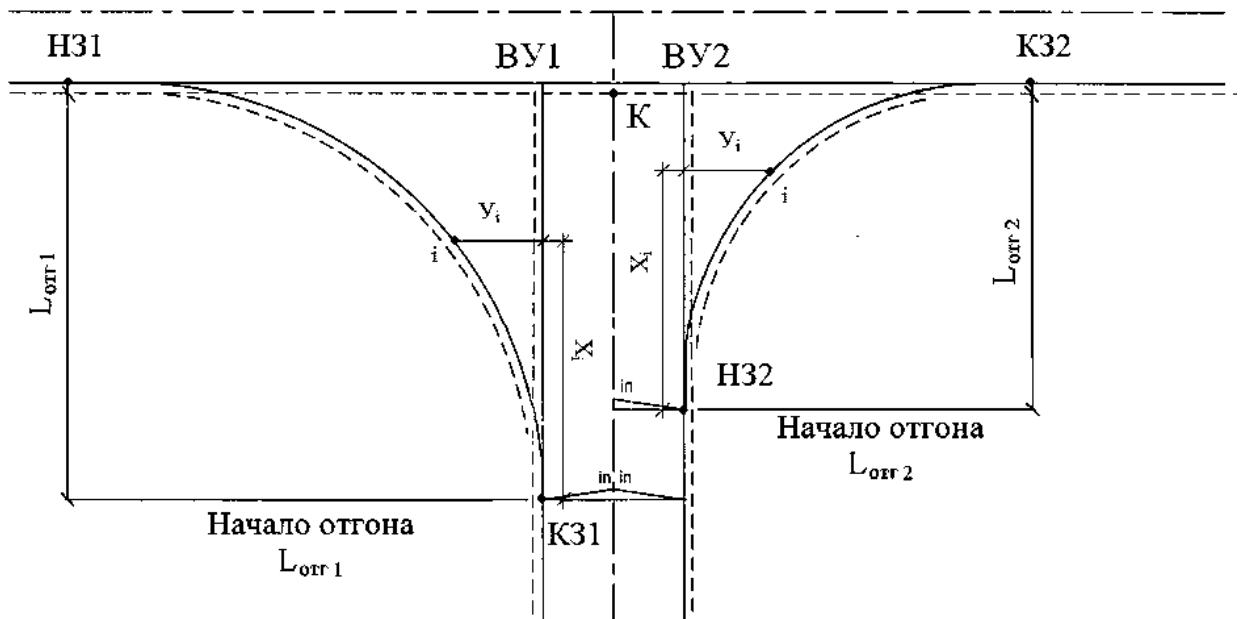


Рис. 8.2.7. Схема отгонов поперечного профиля левой и правой полос движения.

После назначения длины отгона необходимо вычислить продольные уклоны кромок проезжей части на отгоне виража. Они не должны превышать 50‰ на подъеме и 60‰ на спуске. Рассмотрим случай, когда кромки проезжей части сопрягаются круговыми кривыми.

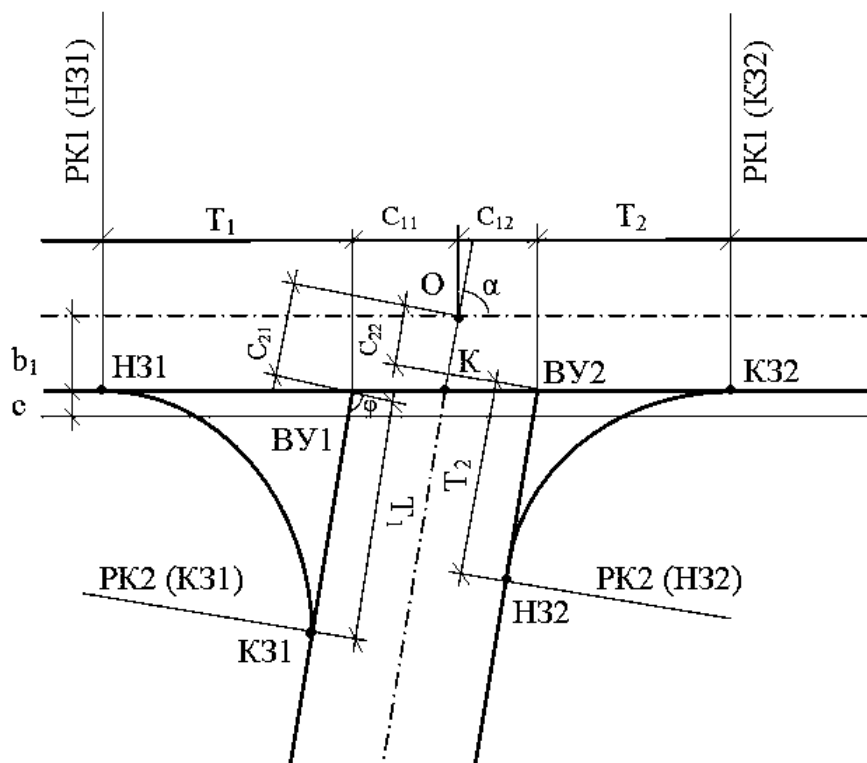


Рис 8.2.8. Схема к определению пикетного положения начала и конца закругления кромок проезжей части.

8.2.3.2. Определение отметок кромки и оси проезжей части на отгонах поперечного профиля

Если начало отгона левой и правой полос проезжей части не совпадают, то отгон поперечного профиля проектируют отдельно для левой и правой полос движения.

Отгон разбивают на поперечники в соответствии с пикетажем второстепенной дороги.

Вычисляют поперечные уклоны проезжей части $i_{\text{пн}}$ на поперечниках:

$$i_{\text{пн}} = i_{\text{п}} + [i_{\text{гл}} - (-i_{\text{п}})] / L_{\text{отг}} S_i \quad (8.2.18)$$

где $i_{\text{п}}$ – уклон проезжей части двухскатного поперечного профиля проезжей части второстепенной дороги относительно оси, принимается со знаком «-»;

$i_{\text{гл}}$ – уклон главной дороги относительно оси второстепенной дороги, имеет противоположные знаки для левой и правой полос (знак «+» на подъеме, «-» на спуск);

$L_{\text{отг}}$ – длина отгона, равная расстоянию от начала отгона до точки К на кромке укрепленной полосы (до точки К – рис. 8.2.7);

S_i – расстояние от начала отгона до рассматриваемого поперечника.

Принимают отметки по оси проезжей части равными нулю и вычисляют относительные отметки кромок проезжей части:

$$H_i = i_{\text{пн}} (b_2 + Y_i) \quad (8.2.19)$$

где b_2 – ширина полосы движения второстепенной дороги;

Y_i – расстояние от криволинейной проезжей части до оси, вычисляют по формулам или принимают по чертежу плана пересечения (рис. 8.2.7).

При применении круговой кривой:

$$Y_i = R - R \cos [\arcsin (X_i / R)] \quad (8.2.20)$$

где X_i – расстояние от конца (точки К31) или от начала (точки Н32) до рассматриваемого сечения (рис. 8.2.7).

Абсолютные отметки оси проезжей части получают по данным о проектной линии второстепенной дороги. Абсолютные отметки кромок проезжей части вычисляют, прибавляя к отметкам оси проезжей части относительные отметки кромок. Уклоны обочин на отгоне не изменяются.

8.3. Проектирование канализированных пересечений и примыканий

Проектирование канализированных пересечений и примыканий (КПП) включает назначение плана и продольного профиля пересекающихся дорог, назначение вида и размеров дополнительных полос движения (накопительных, торможения и разгона), проектирование направляющих островков, расчет очертания кромок проезжей части, отгона поперечного профиля второстепенной дороги.

План трассы и продольный профиль канализированных пересечений и примыканий проектируют аналогично плану и продольному профилю простого пересечения. Угол пересечения дорог назначают в пределах 50-100°. Продольные уклоны на главной дороге не более 40%, на второстепенной на подходах к главной не более 25%. Отгон поперечного профиля второстепенной дороги на подходах к главной проектируют с учетом увеличения ширины проезжей части за счет дополнительных полос.

8.3.1. Дополнительные полосы на канализированных пересечениях и примыканиях

На канализированных пересечениях и примыканиях проектируют накопительные и переходно-скоростные полосы.

Полосы торможения следует предусматривать на главной дороге для поворота направо с главной дороги на второстепенную при интенсивности движения автомобилей 50 ед/сут. и более на дороги Iв категории, 200 ед/сут. и более на дорогах II и III категорий. Длина полос торможения 140 м и для дорог I-в, II категорий и 90 м для дороги III категории.

Полосы разгона предназначены для автомобилей, поворачивающих направо с второстепенной на главную дорогу.

Полосы торможения и разгона сопрягаются с основным и отгоном уширения. Отгон уширения полосы торможения равен 30 м, полосы разгона - 60 м.

Ширина обочин на участке полос торможения и разгона может быть уменьшено до 1,5 м на дорогах I-в, II категорий и до 1,0 м на дороге III категории.

8.3.1. Проектирование каплевидных направляющих островков

В случае канализированного пересечения автомобильных дорог каплевидные направляющие островки проектируют только на второстепенной дороге (На примыкании автомобильной дороги каплевидные направляющие островки предусматривают на второстепенной дороге (КНО1) и на главной (КНО2).

Направляющий островок КНО1 образует разделительную полосу между встречными полосами движения автомобилей, поворачивающих налево с главной и второстепенной дорог, повышая этим безопасность движения.

Направляющие островки КНО2 предназначены для закрытия дополнительной полосы на примыкании.

Проектирование каплевидных островков КНО1 и КНО2 выполняют совместно с проектированием плана канализированного пересечения (примыкания) на ситуационном плане в масштабе 1:250, 1:500.

Последовательность проектирования каплевидных островков КНО1 на плане пересечения или примыкания:

1. Наносят оси пересекающихся дорог, кромки 3,4 накопительной полосы и кромку 5 соседней к ней полосы движения .
2. На второстепенной дороге намечают прямые 1 и 2, на расстоянии $b_k/2$ от оси второстепенной дороги, равном половине максимальной ширины каплевидного островка ($db_k/2 = 2,0$ м).

3. Внутренние кромки полос движения автомобилей, поворачивающих налево, сопрягают круговыми кривыми радиусами не менее 15 м для дорог I-в категории и не менее 12 м для дорог II-III категорий.

3.1. Поворот налево с второстепенной дороги.

3.2. Поворот налево с накопительной полосы главной дороги (рис.8.3.6).

4. Вычисляют пикетное положение начала каплевидного островка на второстепенной дороге.

5. Переднюю часть островка сопрягают с круговой кривой радиуса $r = 0,75$ м.

6. Каплевидный островок от передней части до сечения с шириной 1,0 м выделяют бордюром высотой 8 см, а остальную часть на протяжении 20 м обозначают горизонтальной разметкой 1.16.1.

8.3.2.2. Проектирование каплевидных островков КНО2

Каплевидный островок имеет максимальную ширину $вк_2$, равную ширине накопительной полосы 2 , т.е. $вк_2 = 3,5$ м. Наибольшая ширина каплевидного островка КНО2 соответствует сечению в конце кривой радиуса R_1 (рис. 8.3.6) на пикете РК1 (К31).

Каплевидный островок КНО2 на усовершенствованном покрытии обозначается разметкой 1.16.1.

8.3.1. Проектирование островка накопительной полосы

Островок накопительной полосы длиной ℓ_1 предназначен для образования дополнительной полосы с осью, совпадающей с осью дороги. Клиновидная часть начала островка проектируется с отклонением от оси дороги 1:40. Она заканчивается при ширине 2,0 м и имеет длину 40 м. Далее проектируют отгон уширения накопительной полосы, уменьшая ширину островка до нуля в начале накопительной полосы

Треугольные направляющие островки обозначают участки усовершенствованного покрытия, не используемые для движения автомобилей. Вместе с каплевидными островками они канализируют движение по полосам, предназначенным для поворота налево и направо с главной дороги на второстепенную, с второстепенной на главную, для движения по прямому направлению.

8.4 Проектирование кольцевых пересечений (примыканий) в одном уровне

8.4.1 Общие сведения. Классификация кольцевых пересечений.

Кольцевые пересечения (примыкания) являются альтернативой канализированным.

По нормативам кольцевые пересечения могут устраиваться при суммарной расчетной интенсивности движения на кольце, равной сумме интенсивности на подходах, до 12 000 ед/сут. При этом интенсивность движения со стороны второстепенной дороги (дорог при подходе более четырех дорог) должна составлять не менее 15% от суммарной.

Кольцевые пересечения (КПП) целесообразно применять:

- при подходе к узлу более четырех дорог;
- при изменении направления главной дороги;
- при необходимости упорядочить скоростной режим движения автомобилей перед населенными пунктами и в их пределах;
- при невозможности или нецелесообразности обеспечить большие зоны видимости пересекающихся дорог.

Кроме того КПП могут быть элементами неполных транспортных развязок типа «ромб» или «неполный клеверный лист».

8.4.2. Центральный островок, проезжая часть кольцевого пересечения

Центральный островок должен перекрыть прямую видимость продолжения дороги за кольцом. Для этого искривление траектории движения автомобиля, двигающегося в прямом направлении, должно быть не менее двух ширин полосы движения на въезде. При таком условии минимальный диаметр кольца при $r_1=4,5$ м составит 18 м.

Поверхность центрального островка должна быть приподнятой над кольцевой проезжей частью для того, чтобы перекрыть прямую видимость продолжения дороги за кольцевым пересечением.

Радиусы центральных островков не обеспечивают объезд центрального островка длинномерными транспортными средствами. Возможен наезд их на центральный островок. Поэтому C_k на кольцевом островке предусматривают кольцевую укрепленную полосу C_k шириной не менее 1,0 м. Ее выполняют из мелкоштучной плитки и отделяют бордюром высотой 0,08 м от кольцевой проезжей части (рис. 8.4.2).

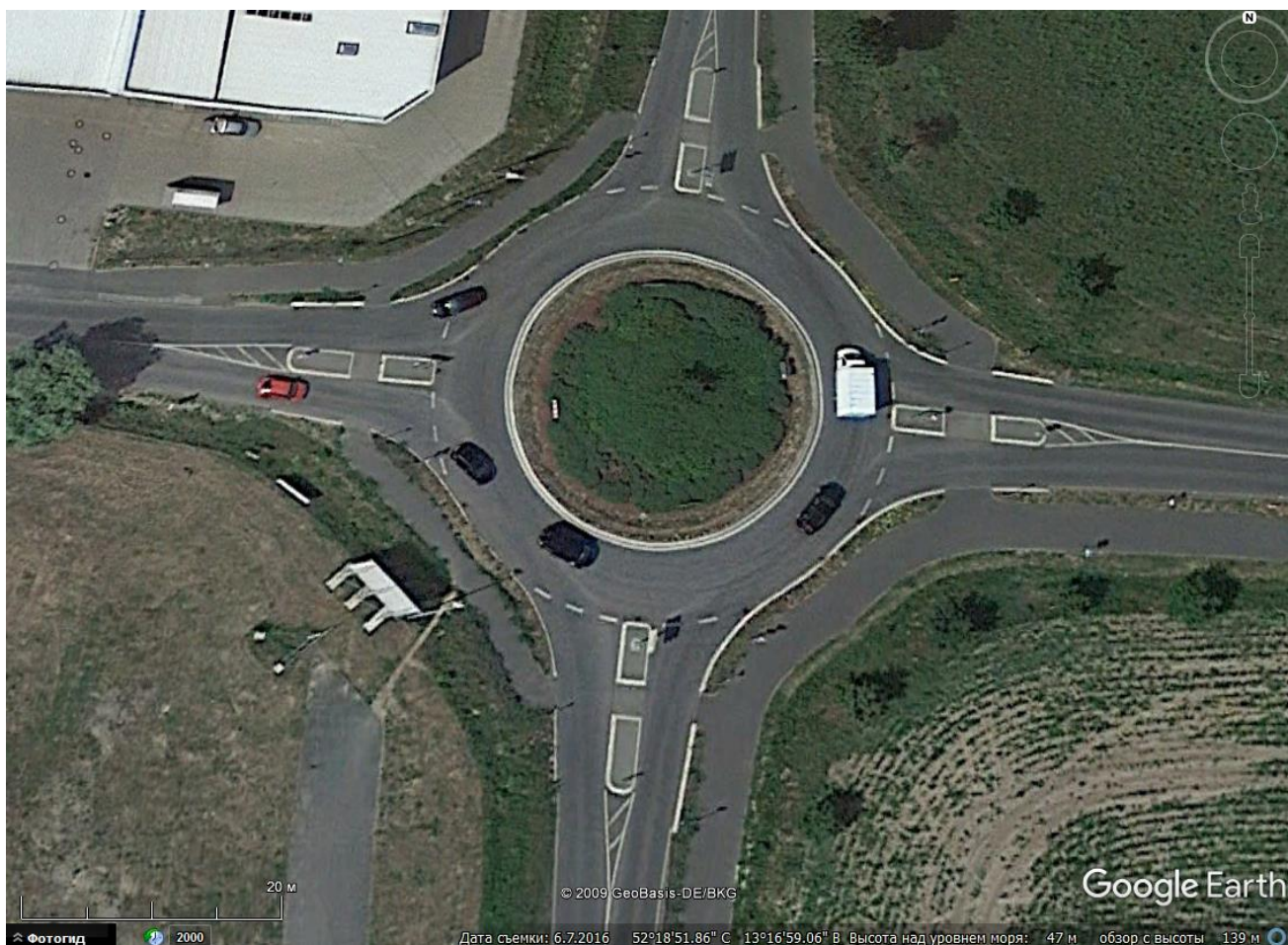


Рис.8.4.2. План кольцевого пересечения.Разрушение края центрального островка.

Снимок Google Earth. Координаты: 52 10 51.86N, 13 16 59.06E.

Укрепленные полосы шириной 0,50 м предусматривают на обочинах кольцевого пересечения и на обочинах подходящих к кольцу дорог. Они отделяются от проезжей части разметкой.

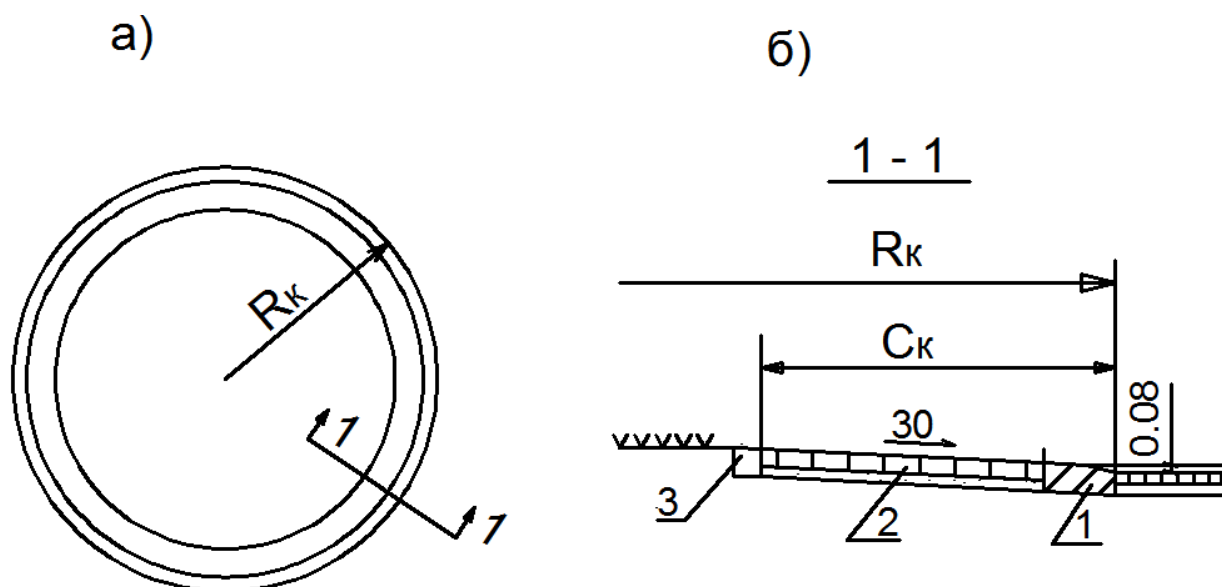


Рис. 8.4.3. План и поперечный профиль центрального островка с укрепленной полосой: 1,3 – бордюр; 2 – мелкоштучная плитка.

Проезжая часть кольцевых пересечений может иметь одну, две и более полос

Рекомендуется назначать одну полосу движения на малых, две полосы движения на средних и больших кольцевых пересечениях. При коэффициенте загрузки двухполосной проезжей части кольцевого пересечения более 0,5 назначается дополнительная третья полоса.

Поперечный уклон кольцевой проезжей части для обеспечения водоотвода с проезжей части направлен во внешнюю сторону кольца и равен 25‰ вследствие большой ширины проезжей части.

Продольный уклон кольцевой проезжей части не должен превышать 40‰.

8.4.3. Въезды, выезды кольцевого пересечения

Въезды на кольцо и выезды с кольца, как правило, проектируют однополосными с шириной полосы движения 4,5 м на въезде и 5,0 м на выезде.

Для увеличения пропускной способности кольца допускается устраивать двухполосные въезды с шириной проезжей части 7,0 м. Дополнительная полоса устраивается в пределах направляющего островка длиной не более 20 м с отгоном 30 м.

На въездах и выездах предусматриваются укрепленные полосы на обочинах шириной 0,5 м и уширения у борта направляющих островков.

Радиусы закруглений въезда на кольцевую проезжую часть следует принимать 15-20 м, выезда – 20-25 м. На закруглениях с радиусами менее 25м для прохода задних осей автопоездов следует предусматривать уширения проезжей части на 0,75 м, выполненные мощением плиткой и отделенные от проезжей части бортом высотой 5-8 см.

8.4.4. Проектирование плана кольцевого пересечения автомобильных дорог

Проектирование плана кольцевого пересечения включает проектирование кольцевой проезжей части, сопряжение ее с въездами и выездами, проектирование треугольных разделительных островков.

8.4.4.1 Сопряжение кромок кольцевой проезжей части и въездов (выездов)

Схема сопряжения кромок кольцевой проезжей части и внешних кромок проезжей части въездов и выездов приведена на рисунке 4.4.5.

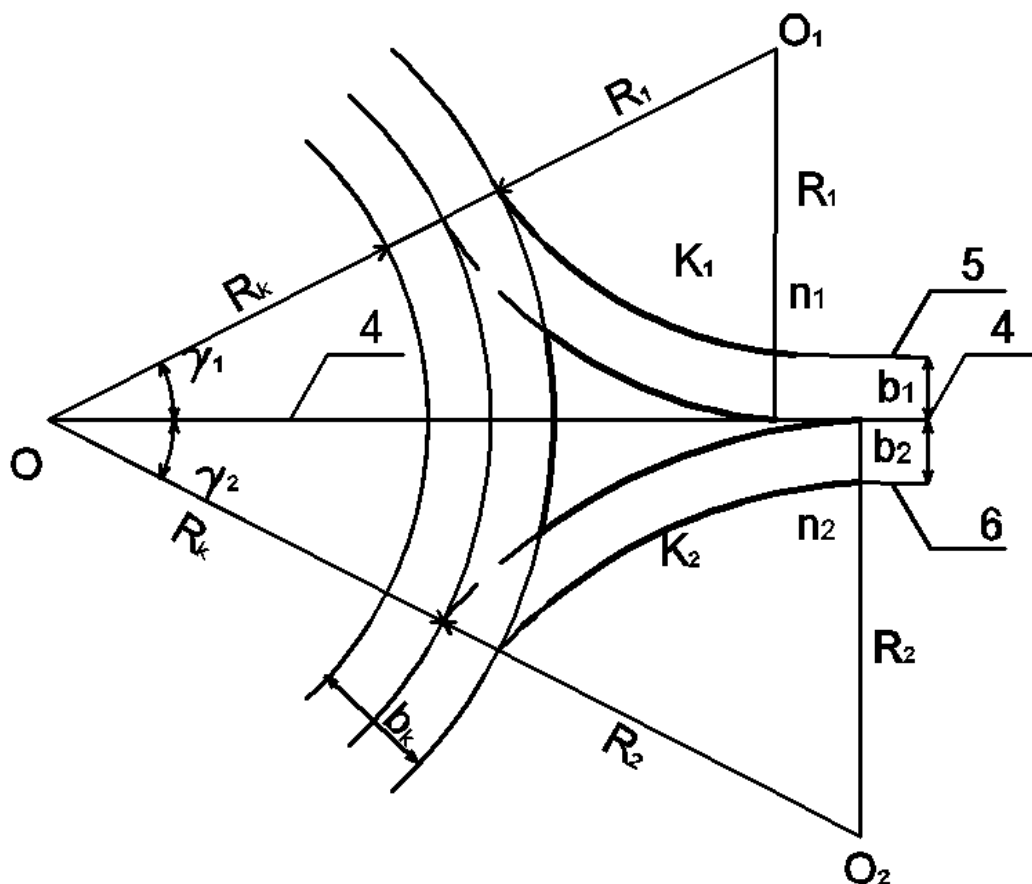


Рис. 8.4.5. Схема к построению сопряжения кромок кольцевой проезжей части, ее оси и кромок полос въездов и выездов:

1.2.3.4.5.6 соответствуют рис. 8.4.4

При проектировании кольцевого пересечения в системе «AutoCAD» следует использовать тиражирование рисунка 8.4.5 для всех примыкающих дорог.

8.4.4.2. Проектирование плана треугольных разделительных островков

Положение треугольного разделительного островка со стороны кольцевой проезжей части определяют точки m_1 , m_2 и m_0 (рис. 8.4.6). Стороны треугольного направляющего островка криволинейны.

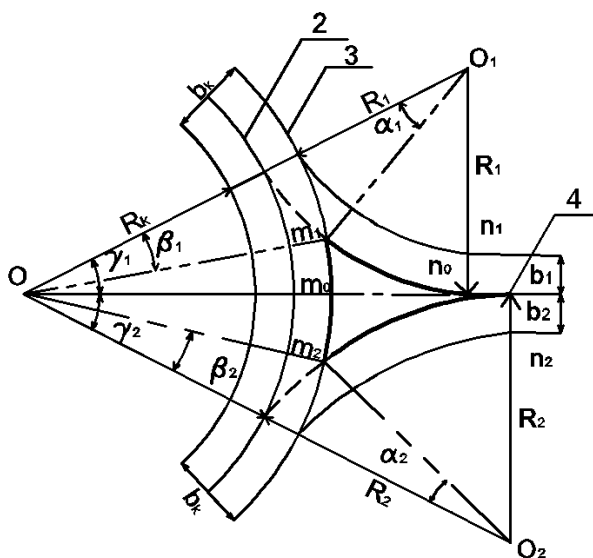


Рис. 8.4.6. Схема к определению очертания треугольного разделительного островка: 2,3-ось и внешняя кромка кольцевой проезжей части; 4-ось примыкающей к кольцевому пересечению дороги.

8.4.5. Разбивка плана кольцевого пересечения

Методика разбивки плана кольцевого пересечения предполагает использование системы GPS для выноски основных элементов кольцевого пересечения. Детальная выноска кольцевой проезжей части осуществляется с использованием полярных координат. Выноска кривых, сопрягающих внешние кромки кольцевой проезжей части и кромки проезжих частей въездов и выездов, выполняется с использованием прямоугольных координат. Прямоугольные координаты используются также для выноски треугольных разделительных островков.

Центр кольцевого пересечения на местности определяют по глобальным координатам x_0, y_0 с помощью системы GPS. Назначают номера примыкающих дорог $i=1,2,3,4$, считая против часовой стрелки. Для каждой примыкающей дороги известны глобальные координаты точки пересечения этих осей и внешней кромки кольцевой проезжей части (точки m_0 , рис.8.4.5). Положение точки m_0 на местности определяется с помощью системы GPS.

Разделительный треугольный островок выделяется бордюром высотой 0,08 м относительно соседней проезжей части въездов, выездов и кольцевой. Углы островков, направленные навстречу движения, закругляются радиусом 1 м. Смещение бордюра относительно кромок кольцевой проезжей части равно 1,0 м, со стороны въезда и выезда 0,5 м (рис. 8.4.8). Поверхность островка может быть выполнена в виде газона, мощения.

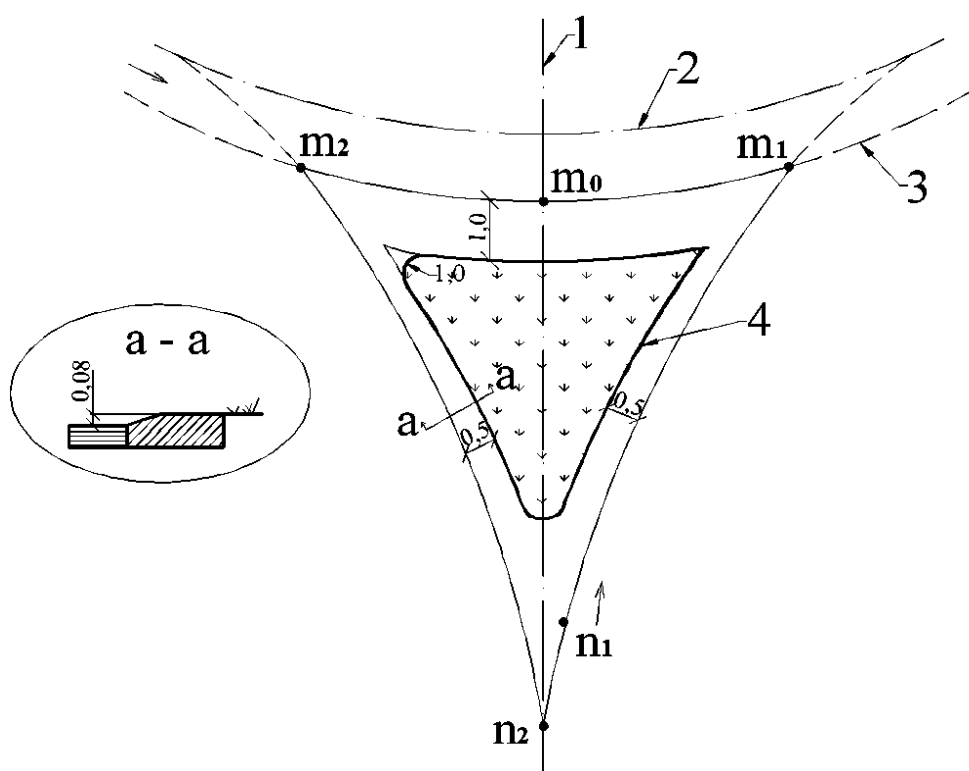


Рис. 8.4.8. План треугольного разделительного островка: 1 – ось примыкающей к кольцевому пересечению дороги, 2 – ось кольцевой проезжей части, 3 – внешняя кромка кольцевой проезжей части, 4 – бордюр.

Глава 9. ТРАНСПОРТНЫЕ РАЗВЯЗКИ

9.1. Элементы транспортных развязок

Транспортная развязка (ТР) состоит из ряда элементов, выполняющих определенные функции. Выделяют следующие элементы транспортной развязки (рис. 9.1.1):

- проезжие части пересекающихся дорог в границах ТР;
- соединительные ответвления (съезды развязок) для обеспечения соединения проезжих частей пересекающихся дорог и обеспечения возможности осуществления въезда на проезжие части и выезда с них;
- примыкание к проезжим частям дорог с устройством полос разгона;
- отмыкания от главных проезжих частей дорог с устройством полос торможения перед соединительными ответвлениями;
- сквозные распределительные проезды для отделения транзитного потока автомобилей от потока автомобилей, въезжающих на соединительные ответвления и выезжающих с них;
- остановочные полосы;
- искусственные сооружения (путепровод, тоннель),
- технические средства организации дорожного движения (дорожные знаки, разметка, ограждения и др.);

Границей транспортной развязки является сечение перпендикулярное главной проезжей части и проходящее через наиболее удаленный элемент ТР. Этим элементом чаще всего является начало или конец отгона уширения (рис. 9.1.1, сечения а-а и в-в).

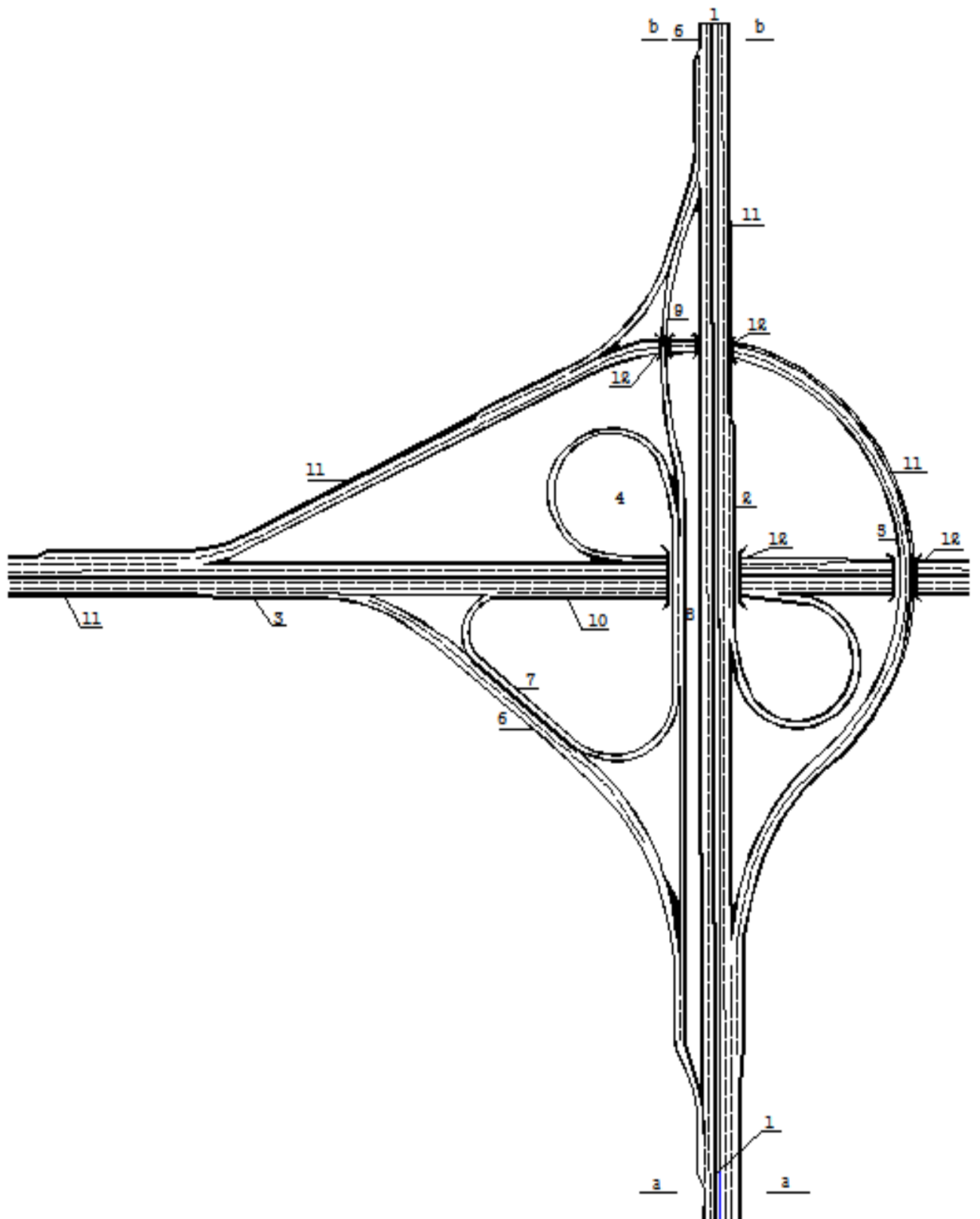


Рис. 9.1.1. Элементы транспортной развязки: 1 – главная проезжая часть; 2 – участок примыкания (полоса разгона); 3 – участок отмыкания (полоса торможения); 4 – петлевое левоповоротное соединительное ответвление; 5 – огибающее полупрямое соединительное ответвление; 6 – правоповоротное соединительное ответвление; 7 – левоповоротное соединительное от-

ветвление, запроектированное с учетом положения правоповоротного; 8 – зона переплетения потоков; 9 – сборно-распределительная проезжая часть; 10 – дополнительная полоса в зоне переплетения потоков; 11 – остановочная полоса; 12 – путепровод.

Соединительные ответвления (съезды развязок) делятся:

- по характеру движения с *односторонним* движением и *двухсторонним* (на соседней полосе встречное движение);
- по направлению движения на *левоповоротные (ЛПО)*, на *правоповоротные (ППО)* и *совмещенные (СО)*;
- по конфигурации соединительного ответвления относительно проезжей части на *прямые, полупрямые и петлевые*.

9.2. Классификация и область применения транспортных развязок

Различают полные и неполные транспортные развязки.

Полная транспортная развязка – пересечение (примыкание) дорог в разных уровнях, на котором отсутствуют опасные точки пересечения транспортных потоков, и сохраняются точки разделения и слияния этих потоков.

Неполная транспортная развязка – пересечение дорог в разных уровнях, на котором имеются точки пересечения транспортных потоков на второстепенной дороге или отсутствует возможность поворота по одному из направлений.

Полные транспортные развязки могут быть *простыми* и *улучшенными*.

Условия применения транспортных развязок названных типов приведены в таблице 9.3.

Условия применения типов транспортных развязок Таблица 9.3.

Категории дорог	Категория пересечений дороги			
	I	II	III	IV-V
	Тип транспортной развязки			
I	полные, улучшенные и простые	полные, простые	полные, простые и неполные	неполные
II	-	полные, простые и неполные	неполные	-

Полные транспортные развязки могут быть *двухуровневыми* и *многоуровневыми*.

По числу примыкающих к узлу направлений дорог транспортные развязки делятся на:

- транспортная развязка для трех направлений;
- транспортная развязка для четырех направлений;
- транспортная развязка для пяти направлений.

Схемы транспортных развязок для пяти направлений составляются индивидуально.

Схемы транспортных развязок для трех и четырех направлений типизированы многолетней практикой. Предложено свыше 200 схем. Многие из схем остались на бумаге. Практика оставила наиболее целесообразные схемы.

9.3. Основные схемы полных простых транспортных развязок для четырех направлений

В практике проектирования полных двухуровневых транспортных развязок наибольшее распространение получили транспортные развязки по типу «клеверный лист».

Схема плана трассы классической транспортной развязки «клеверный лист» представлена на рисунке 9.3.1, а план этой развязки показан на рисунке 9.3.2.

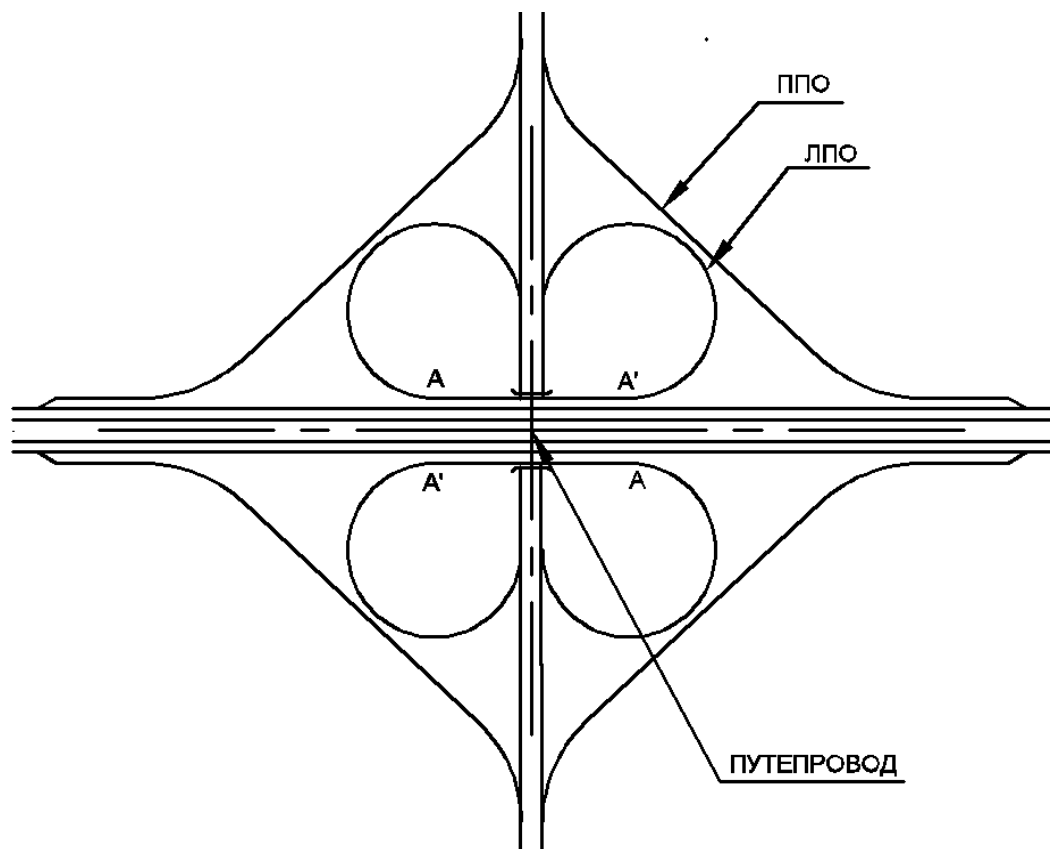


Рис. 9.3.1. Схема плана трассы классической транспортной развязки «клеверный лист»

Для поворота налево предусмотрены четыре петлеобразные левоповоротные соединительные ответвления. (В дальнейшем будем обозначать сокращенно ЛПО). Они образуют очертания лепестка клевера.

9.5. Многоуровневые транспортные развязки

Рассмотренные в § 9.4 схемы полных улучшенных транспортных развязок являются двухуровневыми. В зарубежной практике для существенного улучшения условий движения на всех левых поворотах применяют многоуровневые транспортные развязки.

Первой многоуровневой транспортной развязкой является развязка «мальтийский крест». Эта развязка была введена в эксплуатацию в 1950 году в г. Лос-Анджелес (США). Интенсивность движения на ней достигала 500 000 авт/сут. Фрагмент этой развязки приведен на рисунке 9.5.1.

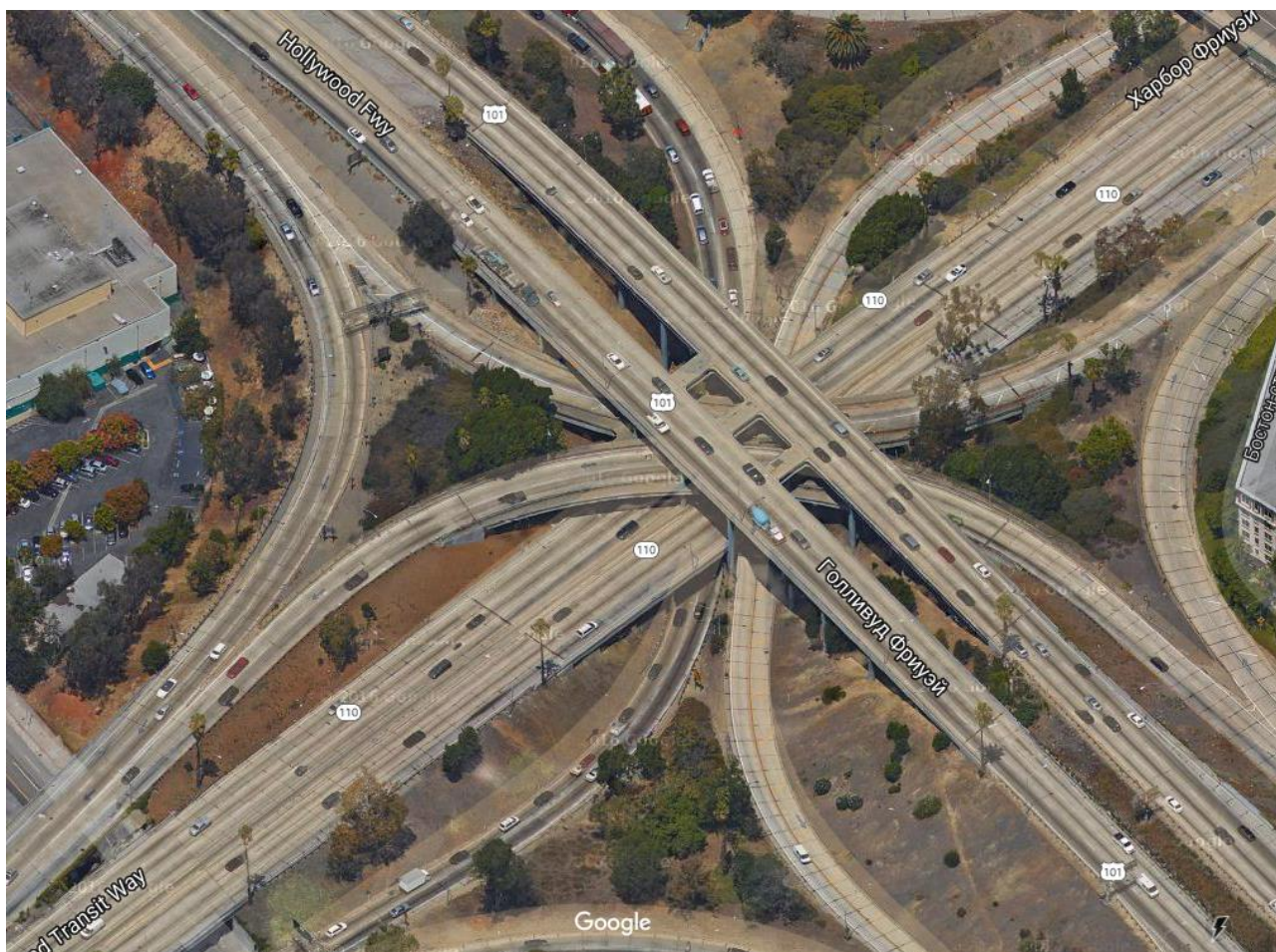


Рис. 9.5.1. Транспортная развязка «мальтийский крест» в г. Лос-Анджелес.

Снимок Google Earth. Координаты:34 03 43.07N, 11 81 45.53W

На транспортной развязке «мальтийский крест» предусматривают не менее четырех уровней, из которых два уровня предназначены для расположения основных проезжих частей пересекающихся магистралей, и не менее двух уровней для размещения четырех левоповоротных соединительных ответвлений.

На первой транспортной развязке «мальтийский крест» (рис. 9.5.1) магистраль Голливуд Фриуэй проходит в самом верхнем уровне. Ниже находятся встречные левоповоротные соединительные ответвления.

В последующих транспортных развязках «мальтийский крест» встречные левоповоротные соединения располагались, как правило, в верхних уровнях (рис. 9.5.2).

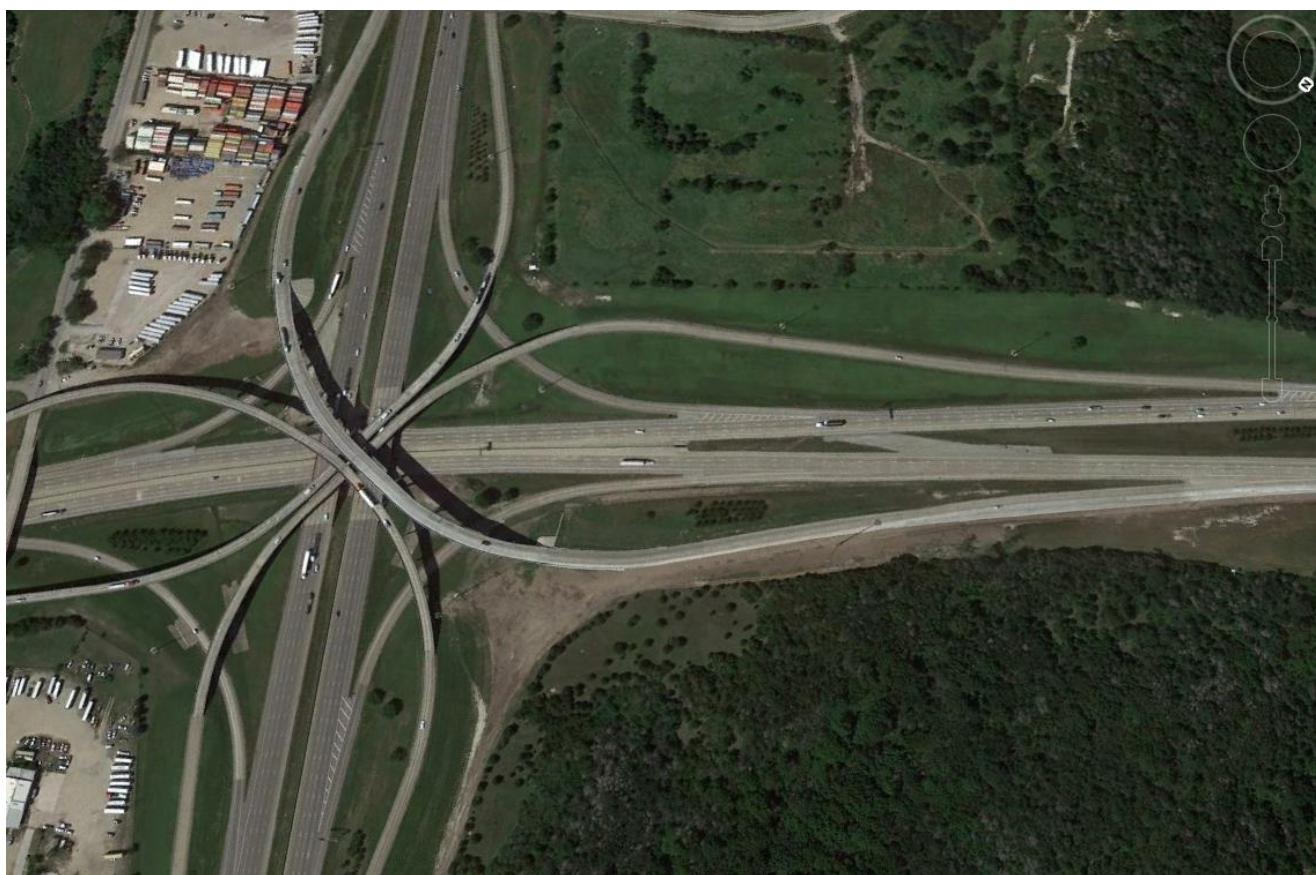


Рис. 9.5.2. Фрагмент транспортной развязки «мальтийский крест» с расположением встречных прямых левоповоротных соединительных ответвлений в верхних уровнях. Снимок Google Earth. Координаты: 32 39 41.79N, 56 4336.92W

9.6. Схемы транспортных развязок для трех направлений

Транспортные развязки для трех направлений делятся на *полные простые* и *полные улучшенные*.

Основным типом полных простых развязок для трех направлений является *транспортная развязка по схеме «Труба»*.

Классическая схема плана трассы транспортной развязки «труба» приведена на рисунке 9.6.1. Планы классической транспортной развязки «труба» приведены на снимках (рис. 9.6.2, 9.6.3).

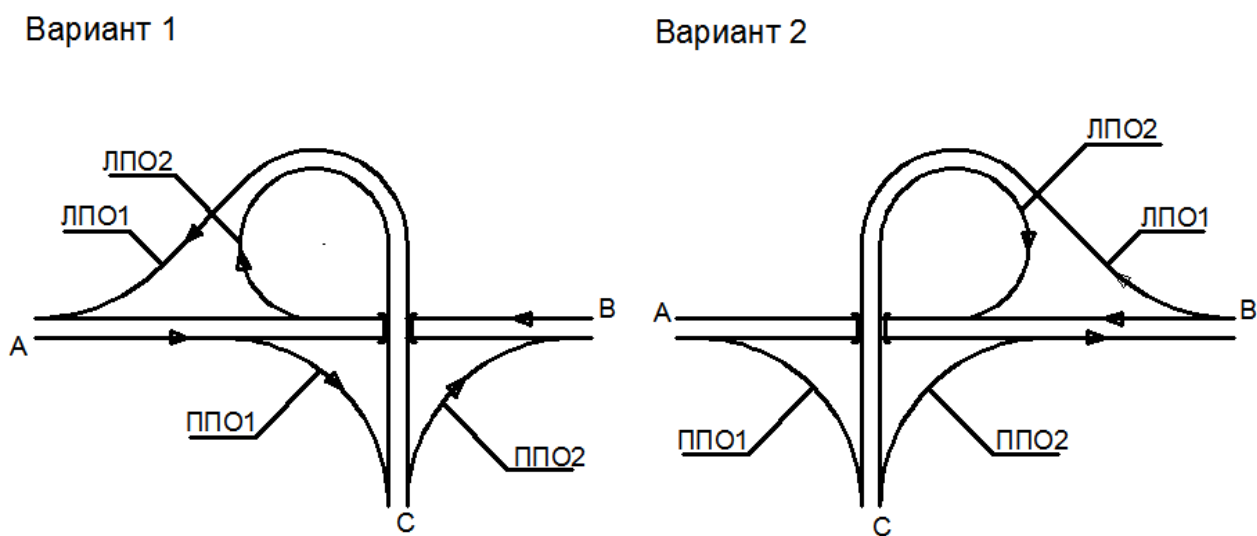


Рис. 9.6.1. Схема плана трассы классической транспортной развязки «труба».

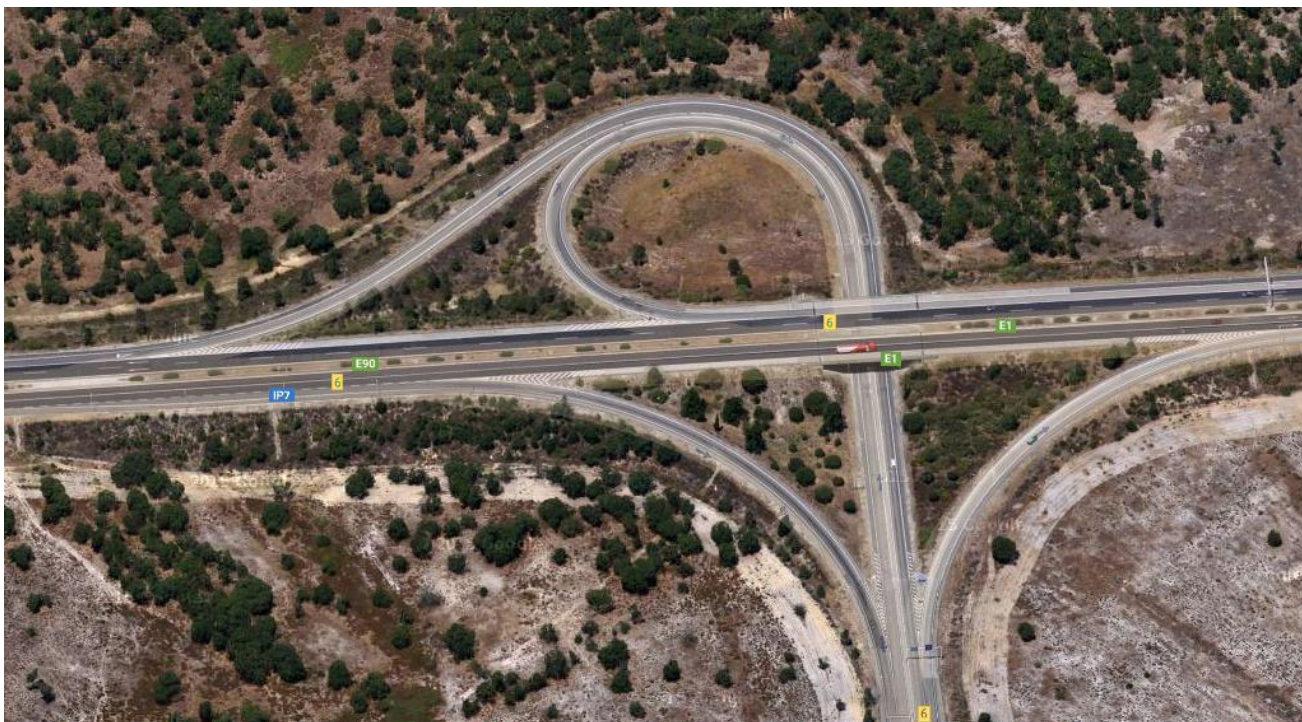


Рис. 9.6.2. План классической транспортной развязки «левосторонняя труба». Снимок Google Earth. Координаты: 38 36 04.46N, 8 40 26.60W

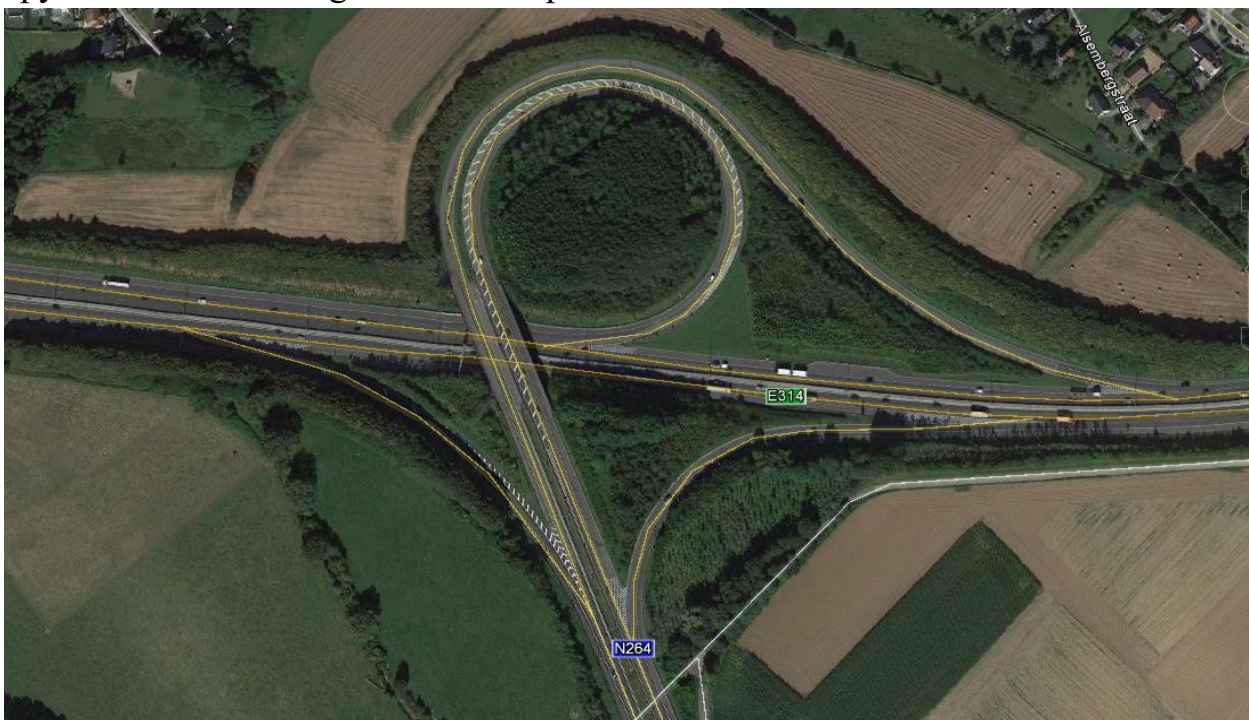


Рис. 9.6.3. План классической транспортной развязки «правосторонняя труба». Снимок Google Earth. Координаты: 50 51 57.53N, 4 39 05.88E

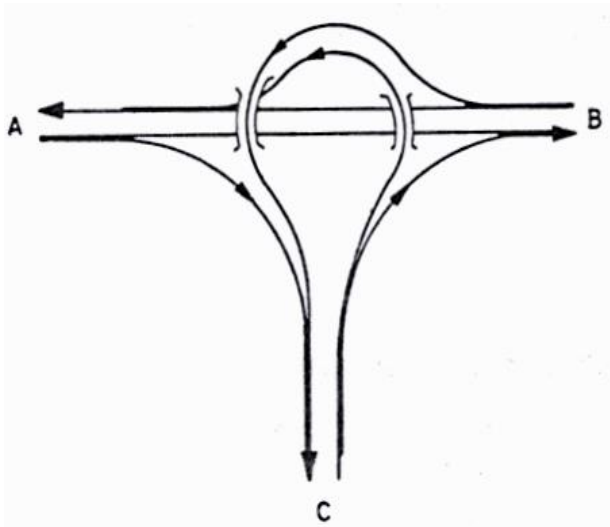
Левоповоротные соединительные ответвления могут быть расположены относительно примыкающей дороги слева (вариант 1) или справа (вариант 2). В первом случае транспортную развязку назовем «*Левосторонняя труба*», во втором случае «*Правосторонняя труба*».

План трассы соединительного ответвления ЛПО1 обеспечивает лучшие условия движения транспорта по сравнению с петлеобразным планом трассы соединительного ответвления ЛПО2. Поэтому выбор варианта транспортной развязки по типу «труба» («левая труба», «правая труба») зависит от интенсивности движения транспорта по направлению соединительного ответвления ЛПО1 (рис. 9.6.1).

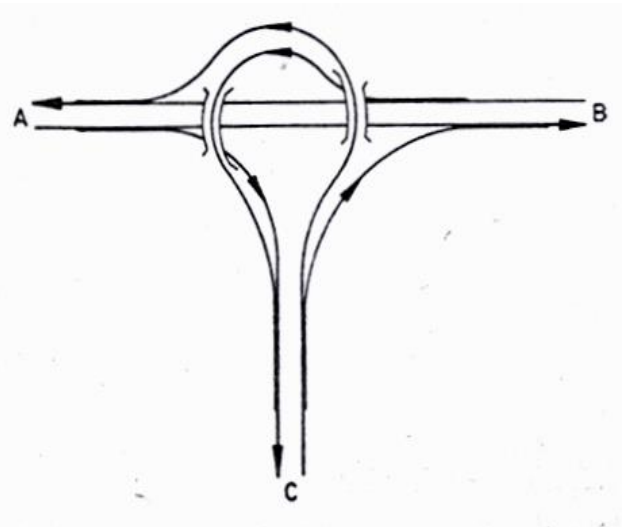
Полные улучшенные транспортные развязки для трех направлений включают «грушевидное примыкание», «треугольник с тремя двухуровневыми путепроводами», «треугольник с трехуровневым путепроводом».

Транспортная развязка «грушевидное примыкание» включает два левоповоротные соединительные ответвления ЛПО1 и ЛПО2, два правоповоротные соединительные ответвления ППО1 и ППО2.

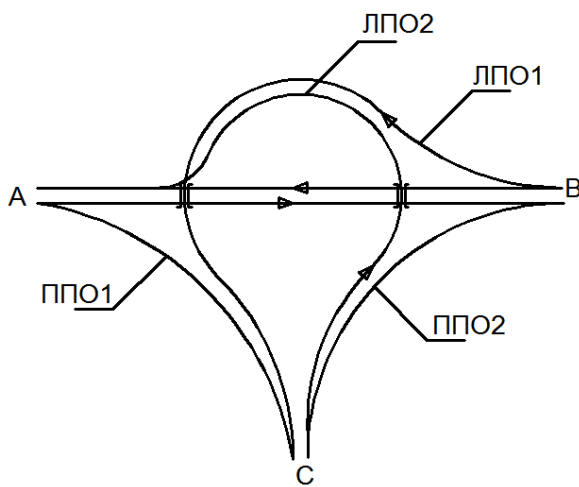
Вариант.1.



Вариант.2.



Вариант 1



Вариант 2

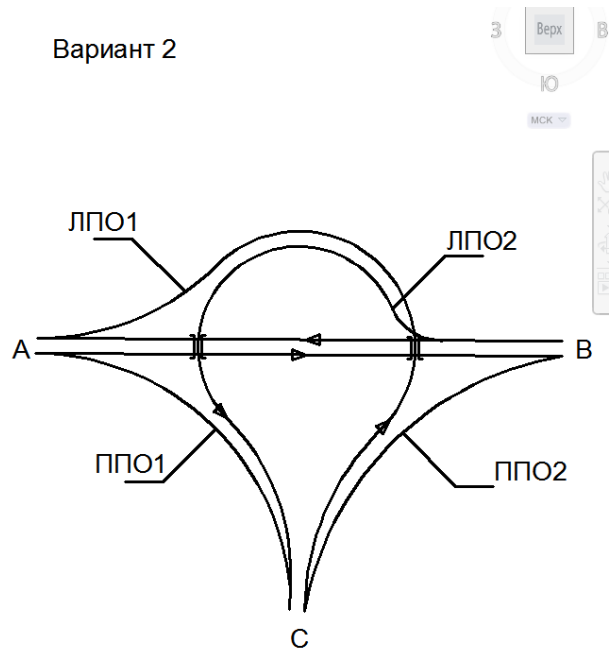


Рис. 9.6.10. Варианты плана трассы транспортной развязки «грушевидное примыкание».

9.7.1. «Неполный клеверный лист»

На транспортной развязке «неполный клеверный лист» отсутствует одно или несколько соединительных ответвлений (лево- или правоповоротных). Дорожной практикой широко используются схемы транспортной развязки «неполный клеверный лист», в которых отсутствуют два левоповоротных и два правоповоротных съезда. Движение поворачивающих транспортных потоков, как правило, должно быть организовано по двум совмещенным двухсторонним соединительным ответвлениям CO1 и CO2 (рис. 9.7.1).

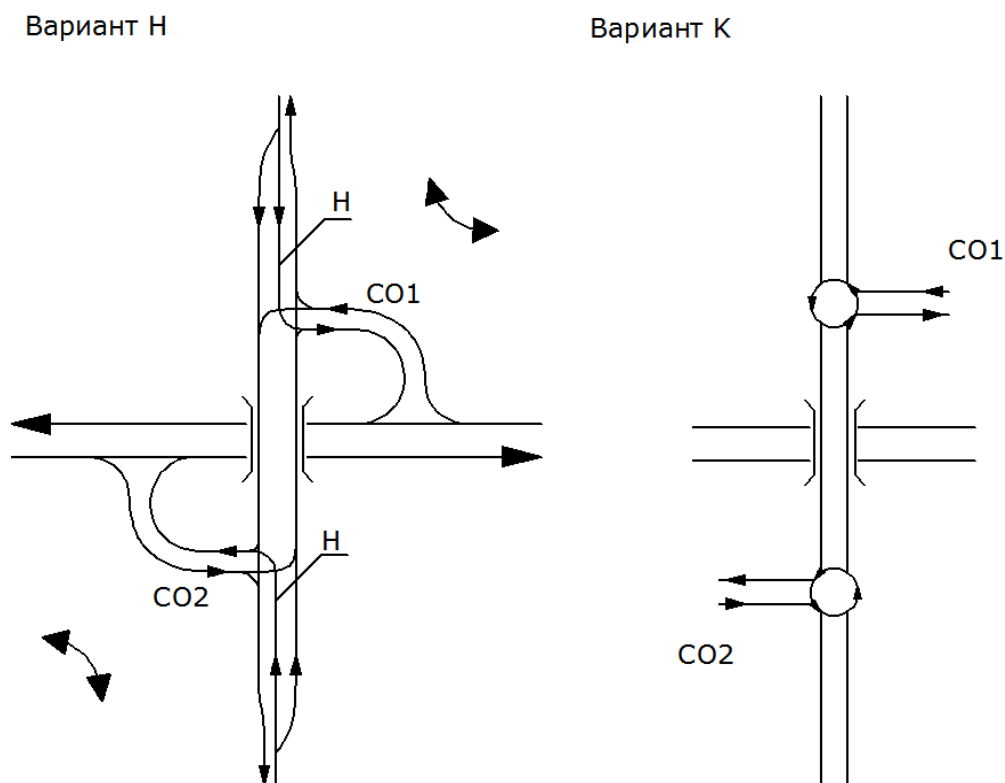


Рис. 9.7.1. Диагональный неполный клеверный лист со съездами за путепроводом.

Соединительное ответвление сопрягается с главной дорогой по схеме правоповоротного примыкания (рис. 8.1), с второстепенной дорогой по схеме канализированного или кольцевого примыкания.

Для системы транспортной развязки «неполный клеверный лист» имеются три принципиально возможные схемы расположения соединительных ответвлений:

- диагональная с въездами на второстепенную дорогу и выездами с нее до путепровода (рис. 9.7.1);
- диагональная с выездами на второстепенную дорогу и въездами на нее после путепровода (рис. 9.7.2);
- симметричная относительно главной дороги (рис. 9.7.3).

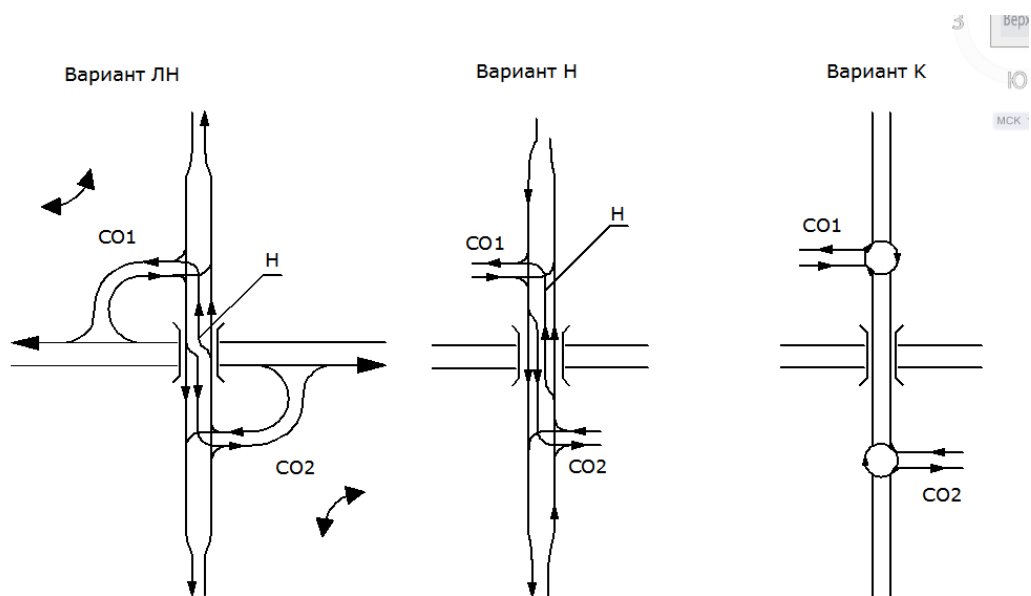


Рис. 9.7.2. Диагональный «неполный клеверный лист» с выездами на второстепенную дорогу и съездами на нее за путепроводом

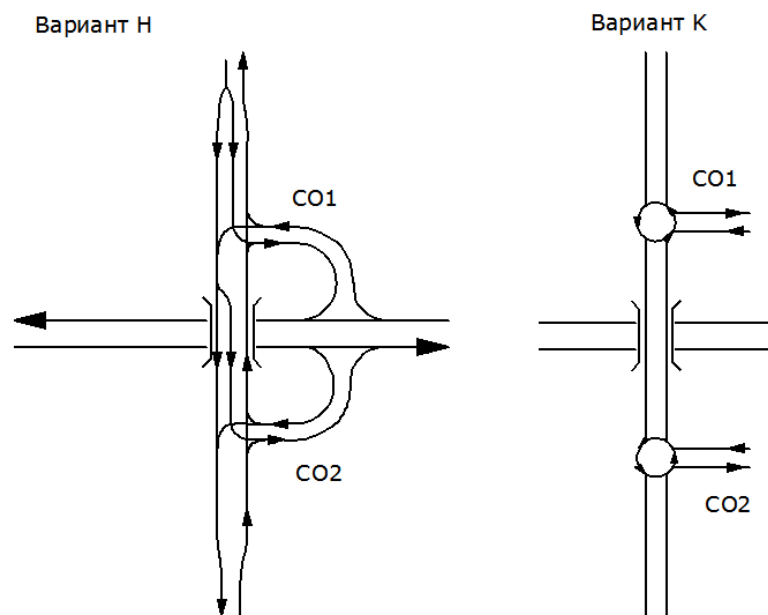


Рис. 9.7.3. Симметричный «неполный клеверный лист».

Глава 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ «КЛЕВЕРНЫЙ ЛИСТ»

10.1. Элементы транспортной развязки « клеверный лист»

Классическая транспортная развязка «клеверный лист» включает (рис. 10.1.1):

- дорожное полотно пересекающихся дорог;
- путепровод;
- левоповоротные (ЛПО) и правоповоротные (ППО) соединительные ответвления (съезды развязок);
- полосы торможения S_m перед ЛПО, ППО;
- полосы разгона S_p после ЛПО, ППО;
- полосы переплетения потоков;
- технические средства организации дорожного движения (дорожные знаки, дорожная разметка, сигнальные устройства);
- ограждения.

В отдельных случаях на дорогах I категории может предусматриваться сквозной распределительный проезд.

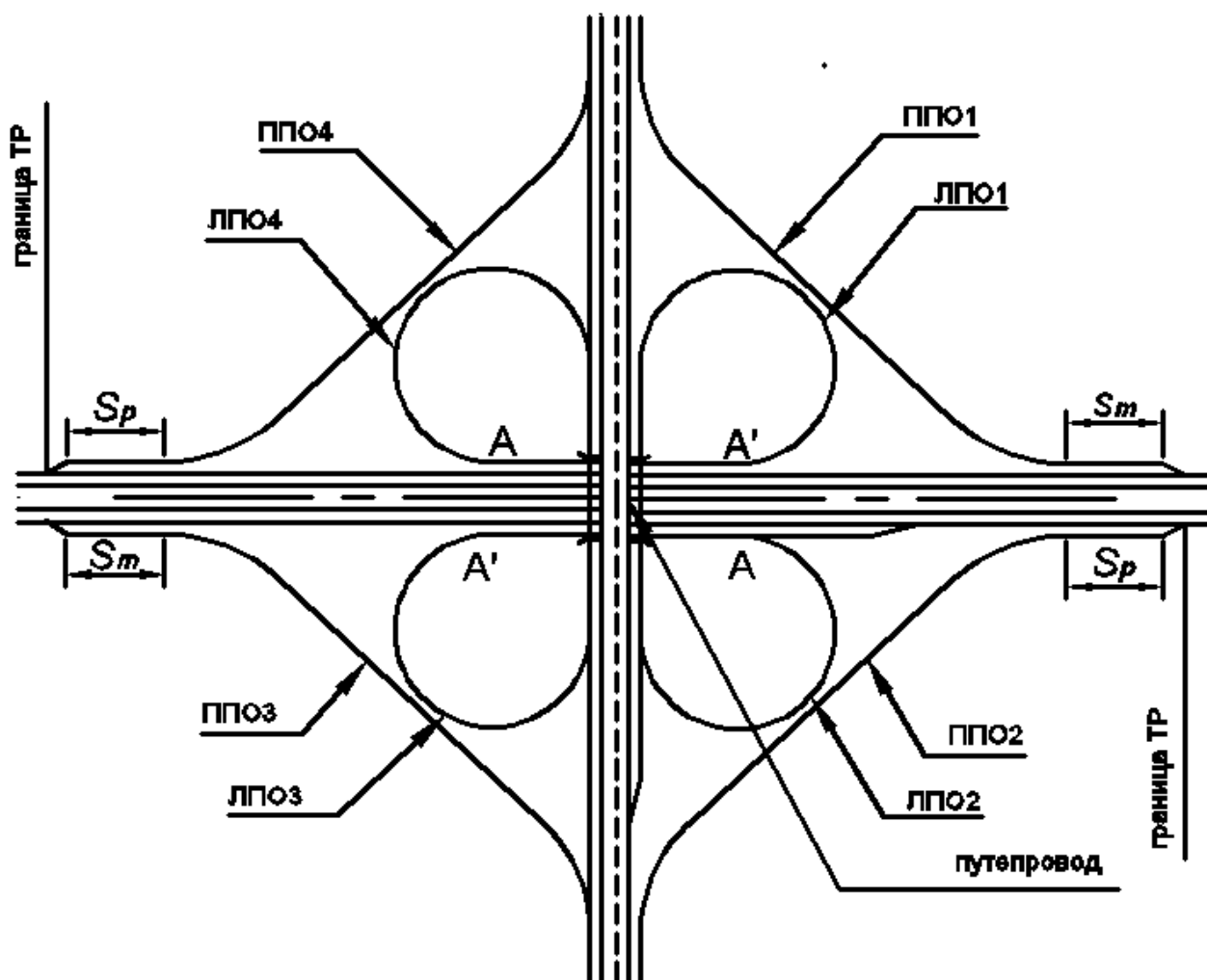


Рис. 10.1.1. Схема плана трассы транспортной развязки «клеверный лист».

Дорожное полотно пересекающихся дорог

Вне транспортной развязки параметры дорожного полотна *пересекающихся дорог* назначают в соответствии с категорией этих дорог. Ширина полосы движения принимается 3,5 м для дорог III, II, I–б категорий и 3,75 м для дороги I–а категории. Проезжая часть дорог III и II категории имеет две полосы движения, дорог I категории минимум две полосы движения в каждом направлении. Ширина обочин равна 2,5 м для дорог III категории, 3,0 м для дорог II, I–б, I–в категорий и 3,75 м для дороги I–а категории. На обочинах предусмотрены укрепленные полосы шириной 0,5 м на дорогах III, I–в и I–б категорий и 0,75 м на дороге I–а категории.

На дорогах I категории на обочинах проектируют остановочные полосы. Их ширина вместе с укрепленной полосой равна 2,50 м. Встречные потоки транспорта на дороге I категории отделяются разделительной полосой. Минимальная ширина разделительной полосы 2,70 м при установке на ней барьерного ограждения.

На транспортной развязке на дорогах I, II и III категорий в зоне отмыкания соединительного ответвления от проезжей части дороги вводятся полосы торможения, в зоне примыкания полосы разгона шириной 3,50 м на дорогах I–б, I–в, II и III категории и 3,75 м на дороге I–а категории. Ширину обочин на участках полос торможения и разгона допускается уменьшать до 1,50 м для дорог I–б, I–в и II категорий и до 1,0 м на дорогах III категории.

Ширина разделительной полосы на дороге, проходящей в верхнем уровне, принимается равной 2,70 м, как и на подходах к транспортной развязке. Если на разделительной полосе нижней дороги предусмотрено размещение опоры балочного путепровода, то ширина разделительной полосы под путепроводом увеличивается до 3,70 м. Это вызывается смещением проезжей части и обочин встречных направлений на 0,50 м. Это смещение сопрягается отгоном длиной 50 м (1:100).

На подходах к путепроводу на протяжении 10 м до начала и 10 м после конца путепровода ширина дорожного полотна должна превышать расстояние между перилами тротуара не менее чем на 0,50 м с каждой стороны дороги.

10.1.1 Сквозной распределительный проезд.

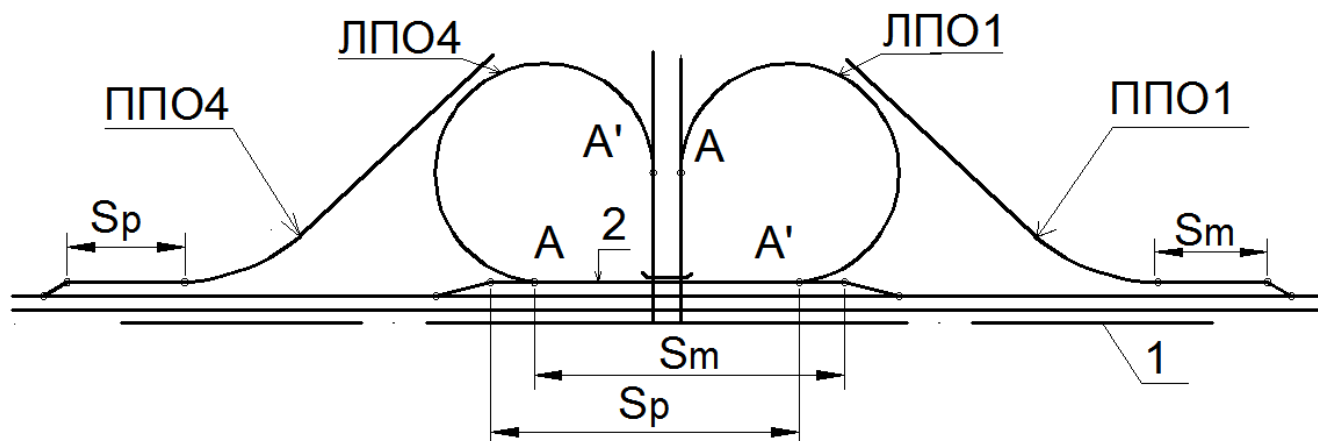


Рис. 10.1.2. Фрагмент схемы трассы транспортной развязки «клеверный лист» в зоне транзитных полос автомобильной дороги категории I: 1 – ось дороги I категории; 2 – ось полосы переплетения транспортных потоков.

При обычной схеме транспортной развязки «клеверный лист» на дороге категории I транспортные потоки, движущиеся по крайней транзитной полосе и на соединительные ответвления, образуют две точки разветвления потоков и две слияния. Кроме того, на участке от точки A' (конец ЛПО1, начало полосы разгона) до точки A (начало ЛПО4, конец полосы разгона) происходит переплетение потоков. Минимальная длина полосы переплетения по ТКП 509–2014 250 м.

Для повышения безопасности движения на транзитных полосах и на полосе переплетения потоков дороги I категории на транспортной развязке «клеверный лист» в зарубежной практике предусматривают сборно-распределительные полосы или сквозной распределительный проезд по терминологии ТКП 509–2014 (рис.10.1.3).

Сквозной распределительный проезд по ТКП 509–2014 следует предусматривать в следующих случаях:

- на дорогах I–а категории при отмыкании и (или) примыкании более двух соединительных ответвлений с одной стороны автомобильной дороги;
- на дорогах I–а, I–б и I–в категории при длине полосы переплетения потоков менее 250м между точками схождения и расхождения кромок;
- на дорогах I–а, I–б и I–в категории, если суммарная расчетная интенсивность движения на соседних отмыкающем и примыкающем соединительных ответвлениях превышает 600 автомобилей в час;

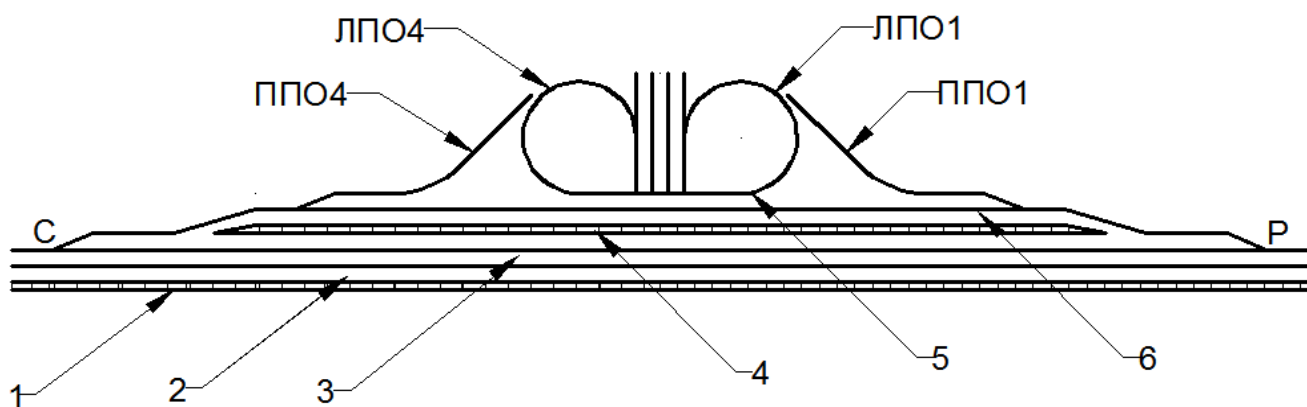


Рис. 10.1.3. Фрагмент плана трассы транспортной развязки «клеверный лист» со сквозным распределительным проездом: 1 – центральная разделительная полоса; 2, 3 – оси транзитных полос; 4 – дополнительная разделительная полоса; 5 – ось полосы переплетения потоков; 6 – ось сквозного распределительного проезда.

10.1.1. Дорожное полотно соединительных ответвлений (съездов развязок)

Дорожное полотно ЛПО и ППО включает проезжую часть и обочины.

Проезжая часть ЛПО однополосная (тип 1). Ширина полосы движения 5,0 м учитывает уширение проезжей части на кривых малого радиуса. По ТКП 509–2014 ширина обочин на ЛПО равна 1,75 м. На обочинах предусмотрены укрепительные полосы шириной 0,25 м.

Проезжая часть ППО может быть однополосной (тип 1) или двухполосной (тип 2) с односторонним движением.

Однополосная проезжая часть ППО имеет ширину полосы 4,50 м, обочин 1,75 м, укрепленной полосы 0,25 м.

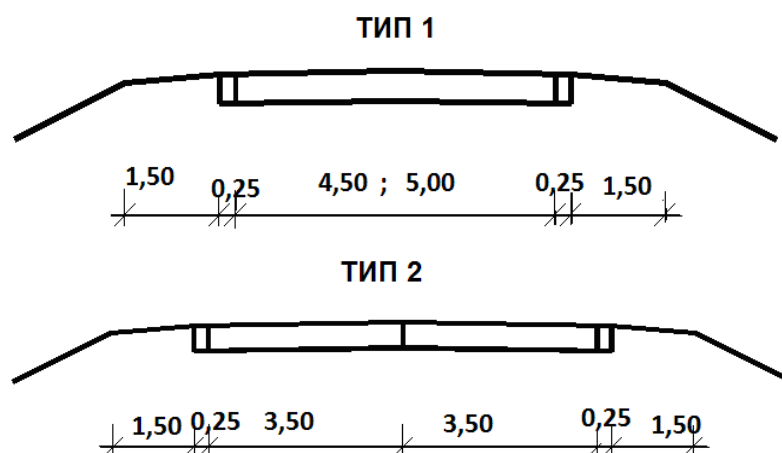


Рис. 10.1.5. Типы дорожного полотна соединительных ответвлений.

10.1.2. Общие сведения о путепроводах

На транспортных развязках проектируют *железобетонные* путепроводы. Железобетонный путепровод включает опоры, пролетное строение и мостовое полотно.



Рис. 10.1.7. Трехпролетный балочный путепровод.

Опоры путепроводов бывают стоечные и рамные.

Пролетные строения путепроводов чаще всего проектируют балочно-разрезной системы. Такие пролетные строения состоят из Т – образных балок длиной 12, 15, 18, 21, 24 и 33 м. На дороге М14 (МКАД – 2) все путепроводы построены с пролетным строением балочно–разрезной системы на стоечных опорах. Применяют также путепроводы неразрезной и рамной системы.



Рис. 10.1.8. Четырехпролетный балочный путепровод на М–14.



Рис. 10.1.9. Монтаж балок пролетного строения на рамную опору.

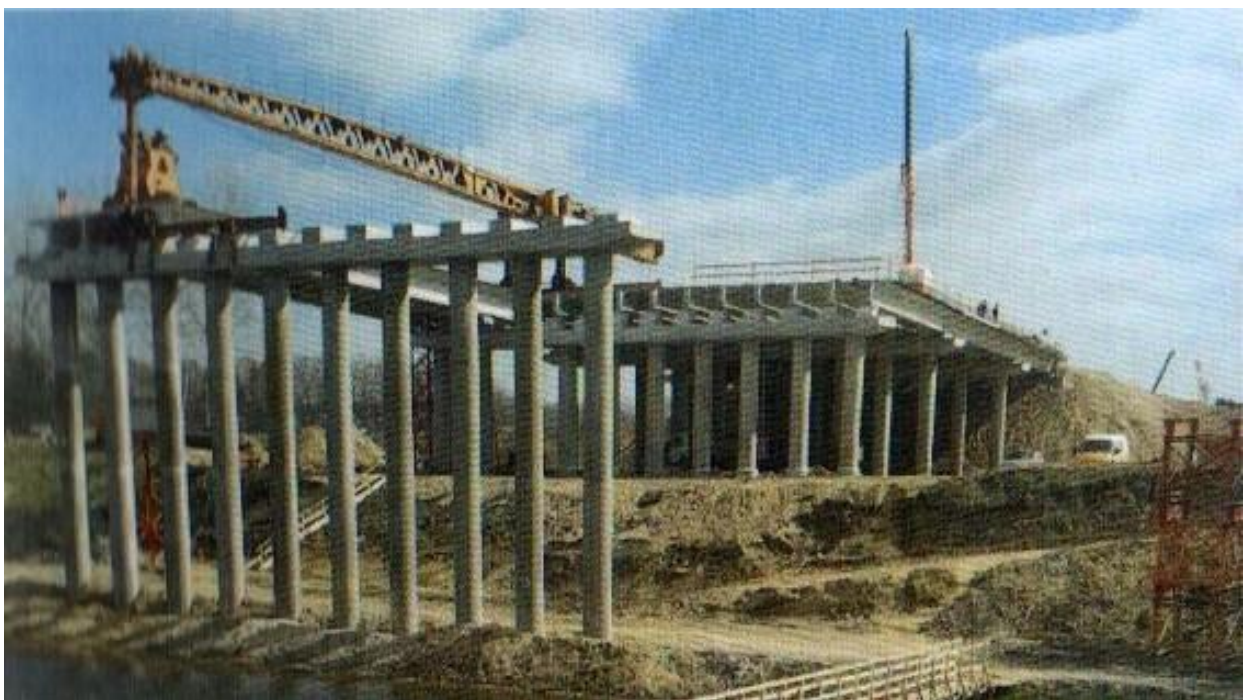


Рис. 10.1.10. Монтаж балок пролетного строения на стоечную опору

При проектировании транспортных развязок используют термины «дорожное полотно» для пересекающихся автомобильных дорог и «мостовое полотно» для путепроводов.

Мостовое полотно включает ездовое полотно, тротуары, барьерные ограждения со стороны тротуара и на разделительных полосах, перильные ограждения, а также устройства для водоотвода.

Ездовое полотно дорог I, II, III и IV категорий состоит из основных полос, дополнительных полос торможения и разгона, правых и левых полос безопасности. В случае IV категории дополнительные полосы не проектируют.

Ширина *правых* полос безопасности равна 2,50 м на дороге I-а категории, 2,0 м на дорогах I-б, I-в категорий; 1,50 м на дороге III категории и 1,0 м на дороге IV категории. Ширина левых полос безопасности со стороны ограждения, центральной разделительной полосы на дороге I категории равна 1,0 м.

Мостовое полотно дорог I категории имеет центральную разделительную полосу шириной 2,70 м. На ней устанавливается барьерное ограждение шириной 0,70 м.

На дорогах I категории мостовое полотно может иметь сквозной распределительный проезд, отделяемый от транзитных полос движения дополнительной разделительной полосой шириной 2,70 м.

Тротуары предназначены для движения пешеходов. В зависимости от количества пешеходов тротуары бывают однополосными шириной 1,0 м и двухполосными шириной 2·0,75 м. При малой интенсивности движения, когда транспортная развязка расположен за пределами населенного пункта, предусматривают служебные тротуары шириной 0,75 м.

Численной характеристикой ездового полотна является *габарит путепровода*. Он равен ширине ездового полотна. Дополнительно указывают ширину тротуаров.

Если на дороге первой категории сквозной распределительный проезд проектируют только со стороны правой или левой проезжей части дороги, проходящей в верхнем уровне, то путепровод располагается относительно оси верхней дороги не симметрично. В этом случае габарит путепровода указывают для левой и правой части. Например, $G = (19,15 + 12,95) + 2 \cdot 0,75$.

10.2. Определение длины балочного путепровода на транспортной развязке «Клеверный лист».

Балочные путепроводы над двухполосными дорогами проектируются трехпролетными (рис. 10.2.1), над многополосными дорогами I категории четырехпролетными (рис. 10.2.2)

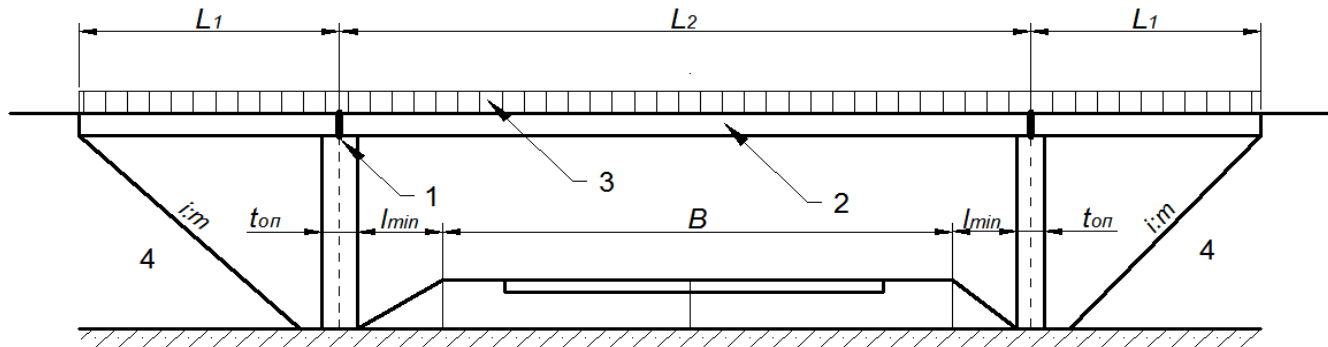


Рис. 10.2.1. Схема трехпролетного балочного путепровода: 1 – опора; 2 – пролетное строение; 3 – перила; 4 – конус насыпи.

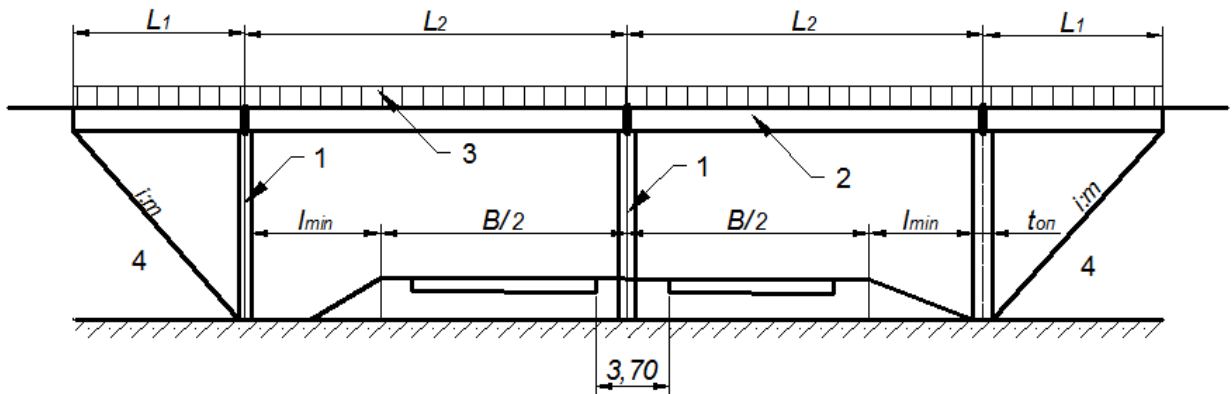


Рис. 10.2.2. Схема четырехпролетного балочного путепровода: 1 – опора; 2 – пролетное строение; 3 – перила; 4 – конус насыпи.

10.2.1. Определение длины среднего пролета путепровода

Требуемая длина среднего пролета L_{T2} двухпролетного путепровода вычисляется по формуле (6.2.1), четырехпролетного по формуле (6.2.2):

$$L_{T2} = (B + 2l_{\min} + t_{\text{оп}}) / \sin \alpha; \quad (10.2.1)$$

$$L_{T2} = (0,5B + l_{\min} + 0,5t_{\text{оп}}) / \sin \alpha. \quad (10.2.2)$$

где B – ширина дорожного полотна нижней дороги с учетом ширины дополнительных полос разделительной полосы, распределительного проезда;

l_{\min} – минимальное расстояние от бровки обочины до опоры, равное 2,0 м для дорог I, II, III категорий и 0,50 м для дороги IV категории;

$t_{\text{оп}}$ – ширина опоры;

α – острый угол пересечения осей дорог.

Полученные по формулам (6.2.1) или (6.2.2) требуемые длины средних пролетов сопоставляются с типовыми длиной 12; 15; 18; 21; 24; 33; 42 м. Для дальнейших расчетов длины путепровода принимают ближайшую большую типовую длину пролета L_2 .

10.2.2. Определение длины путепровода

Требуемая длина путепровода определяется после проектирования продольных и поперечных профилей пересекающихся дорог.

Обычно нижняя дорога проходит в насыпи. В этом случае требуемую длину путепровода определим из схемы, представленной на рисунке 10.2.3, по формуле (10.2.3).

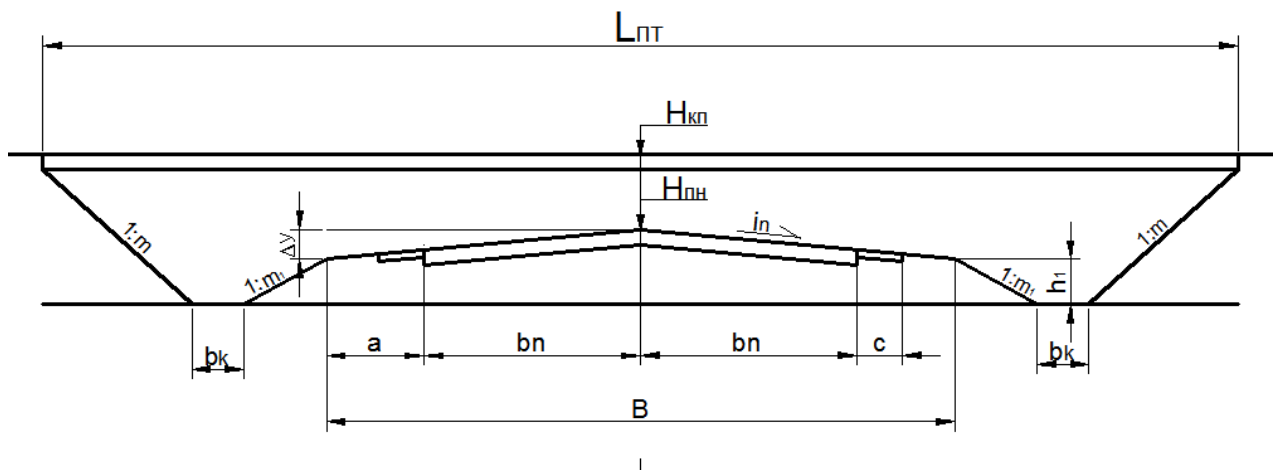


Рис. 10.2.3. Схема к определению требуемой длины путепровода при прохождении нижней дороги в насыпи.

$$L_{\text{пт}} = [B + 2(m_1 h_1 + b_k + m_k h_k)] / \sin \alpha, \quad (10.2.3)$$

где B – ширина дорожного полотна нижней дороги с учетом дополнительных и разделительных полос;

m_1 – заложение откоса насыпи, зависит от высоты насыпи и категории нижней дороги;

h_1 – высота откоса насыпи нижней дороги, определяется по формуле (10.2.4);

b_k – расстояние между подошвами насыпи нижней дороги и конуса подхода насыпи верхней дороги (в курсовом проекте может быть принята 1,0 м);

h_k – высота конуса насыпи верхней дороги, равная разности отметок продольного профиля верхней дороги и черного профиля нижней дороги;

m – заложение откоса конуса насыпи верхней дороги ($m = 1,5; 2,0$).

10.3. Проектирование продольного профиля пересекающихся дорог.

Проектирование продольного профиля трассы автомобильной дороги включает:

- построение черного профиля;
- назначение контрольных и руководящих рабочих отметок;
- проектирование продольного профиля трассы дороги;
- составление чертежа «Продольный профиль дороги» (геологический профиль не составляется).

Черный профиль дорог вычерчивают в масштабах 1:5000 (горизонтальный) и 1:500 (вертикальный) по данным о рельефе местности вдоль трассы дороги.

Контрольными точками чаще всего являются пересечения водотоков с помощью водопропускных труб.

Руководящие рабочие отметки

Продольный профиль трассы (ось проезжей части) следует стремиться проектировать по обертывающей (в насыпях). Руководящие рабочие отметки h_p (минимальные высоты насыпи) вычисляют:

а) по обеспечению снегонезаносимости дороги на открытых участках:

$$h_p^1 = h_{CH5\%} + \Delta h + (0,5b + c) \cdot i_{II} + (a - c) \cdot i_o .$$

где $h_{CH5\%}$ – высота снега в данной местности с вероятностью превышения 5% (рекомендуется принимать 0,4–0,5 м в Брестской и Гродненской областях, 0,6 м – в Гомельской и Минской, 0,6–0,7 м – в Витебской и Могилевской);

Δh – запас высоты насыпи над снежным покровом для размещения сбрасываемого с дороги снега и увеличения скорости снежного потока над дорогой, равный 1,2 м для дорог категории I-а; 1,0 м для дорог категорий I-б, I-в; 0,7 м – для II; 0,6 м – для III.

б) по обеспечению хорошего водного режима земляного полотна на участках 2-го и 3-го типов местности по увлажнению:

$$h_p^2 = H_{\min}^2 + H_{д.о} + (0,5b + c) \cdot i_{II} ; \quad h_p^3 = H_{\min}^3 + H_{д.о} + (0,5b + c) \cdot i_{II} - H_0 .$$

где $H_{\min}^{2(3)}$ – минимальное возвышение низа дорожной одежды над поверхностью земли с необеспеченным стоком (H_{\min}^2) или над уровнем грунтовых вод (H_{\min}^3), принимаемое по табл. 10.3.1;

$H_{д.о}$ – толщина дорожной одежды;

H_0 – глубина залегания грунтовых вод ($H_0=0$ на участках болота).

Т а б л и ц а 10.3.1

Грунт рабочего слоя	H_{\min}^2 , М	H_{\min}^3 , М
Песок средней крупности, мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	0,5	0,7
Песок пылеватый, суглинок легкий	0,6	1,2
Супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, тяжелый и тяжелый пылеватый	0,8	1,9

10.3.1. Проектирование продольного профиля нижней дороги.

Продольный профиль нижней дороги проектируют с учетом рельефа местности, руководящих и контрольных отметок, категории дороги. Он включает черный профиль и ломанный продольный профиль с указанием пикетного положения и отметок концов отрезков, их длины и уклонов. Фрагмент ломанного продольного профиля трассы дороги, проходящей в нижнем уровне, приведен на рисунке 6.3.1.

Ломанный продольный профиль трассы нижней дороги.

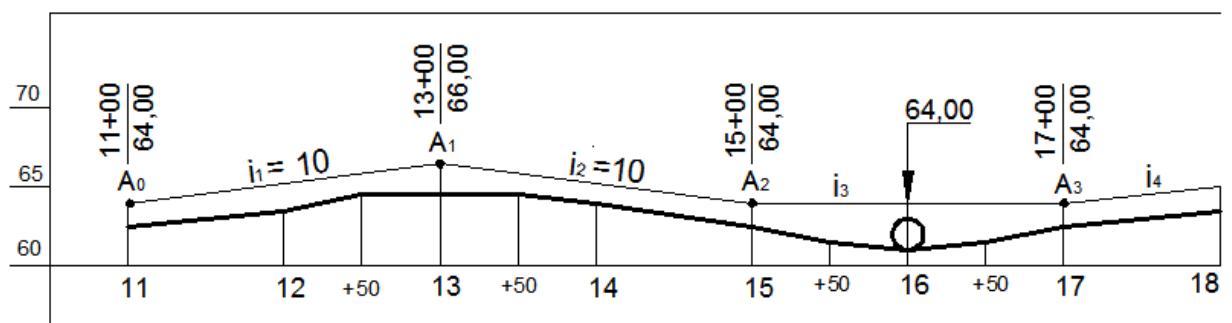


Рис. 6.3.1. Ломанный продольный профиль трассы нижней дороги (фрагмент)

В переломы продольного профиля вписывают вертикальные кривые. Для уменьшения объемов земляного полотна на транспортной развязке радиусы выпуклых вертикальных кривых в границах транспортной развязки

следует принимать минимальными, равными 25000 м на дороге категории I – а и 15000 м на дорогах категорий I – б, I – в и II. На дорогах категории III при наличии перспективы перевода в категорию II следует принять радиус выпуклой кривой 15000 м вместо минимального, равного 8000 м. Радиусы вогнутых кривых следует применять рекомендуемые, равные 8000 м.

Чертеж «Продольный профиль нижней дороги» включает таблицу исходной информации и проектных решений, черный профиль, продольный профиль трассы дороги, рабочие отметки, данные о водопропускных трубах. Геологический профиль не составляется.

В таблице исходной информации и проектных решений исключают строку 1 («Развернутый план дороги»). В строке 11 план трассы дороги рисуют прямой и указывают на ней дирекционный угол трассы дороги.

10.3.2. Проектирование продольного профиля верхней дороги.

Продольный профиль верхней дороги также следует проектировать по методике, изложенной выше для нижней дороги с учетом необходимости строительства путепровода и соблюдения в связи с этим контрольной отметки продольного профиля на путепроводе.

Нормы проектирования продольного профиля верхней дороги следует принимать в соответствии с категорией дороги. В случае вогнутых вертикальных кривых назначают рекомендуемые радиусы равные 8000 м на дорогах категории I – III.

Максимальный продольный уклон трассы дороги на путепроводе следует принимать не более 20‰, а в границах транспортной развязки не более 40‰. Минимальный продольный уклон не нормируется. В дорожных нормах Германии минимальный продольный уклон на путепроводе 7‰.

Нормируется также автодорожный габарит, равный расстоянию от низа пролетного строения путепровода до наиболее высокой точки проезжей части дороги, проходящей в нижнем уровне. Для обеспечения этого габарита продольный профиль верхней дороги должен проходить через контрольную точку на путепроводе.

Методика проектирования продольного профиля трассы дороги основана на получении ломаного продольного профиля и вписывания в переломы выпуклых и вогнутых кривых.

10.4. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений.

На транспортной развязке, «клеверный лист» проектируют петлевые, одно-
сторонние левоповоротные соединительные ответвления (ЛПО) по типу 1
или по типу 2.

Расчетная скорость движения автомобиля на ЛПО по типу 1 назначается рав-
ной 40 км/час. По ТКП 509 – 2014 этой скорости соответствует минимальный
радиус круговой кривой 50 м.

Расчетная скорость движения автомобиля на ЛПО по типу 2 принимается
равной 40 км/час на отмыкании от дороги. На примыкании допускается
уменьшать радиус круговой кривой до 40 м.

Основными точками плана трассы ЛПО по типу 1 являются (рис. 10.4.1)
начало (точка А) и конец ЛПО (точка А'), конец первой переходной кривой
(точка В) и второй (точка В'), середина трассы ЛПО (точка СО).

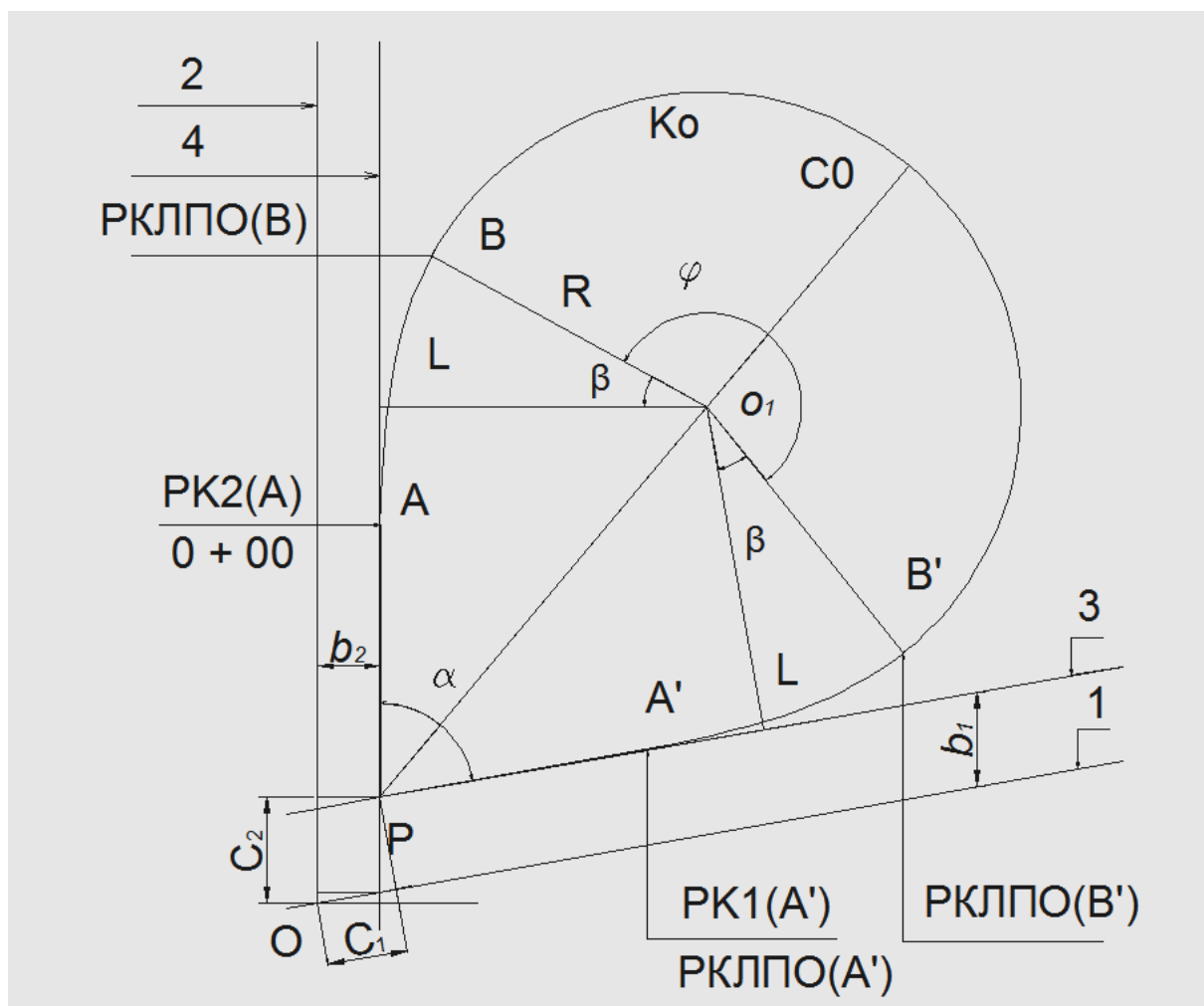


Рис. 10.4.1. Схема к определению пикетного положения основных точек
ЛПО: 1,2 – оси пересекающихся дорог; 4 – ось полосы, с которой происходит
отмыкание ЛПО; 3 – ось полосы, к которой происходит примыкание ЛПО.

10.4.2. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 2.

План трассы ЛПО по типу 2 включает закругления малого радиуса ABCD, A'B'C'D' и отрезок прямой П ($P \geq 0$) (рис.10.4.6. – рис.10.4.8).

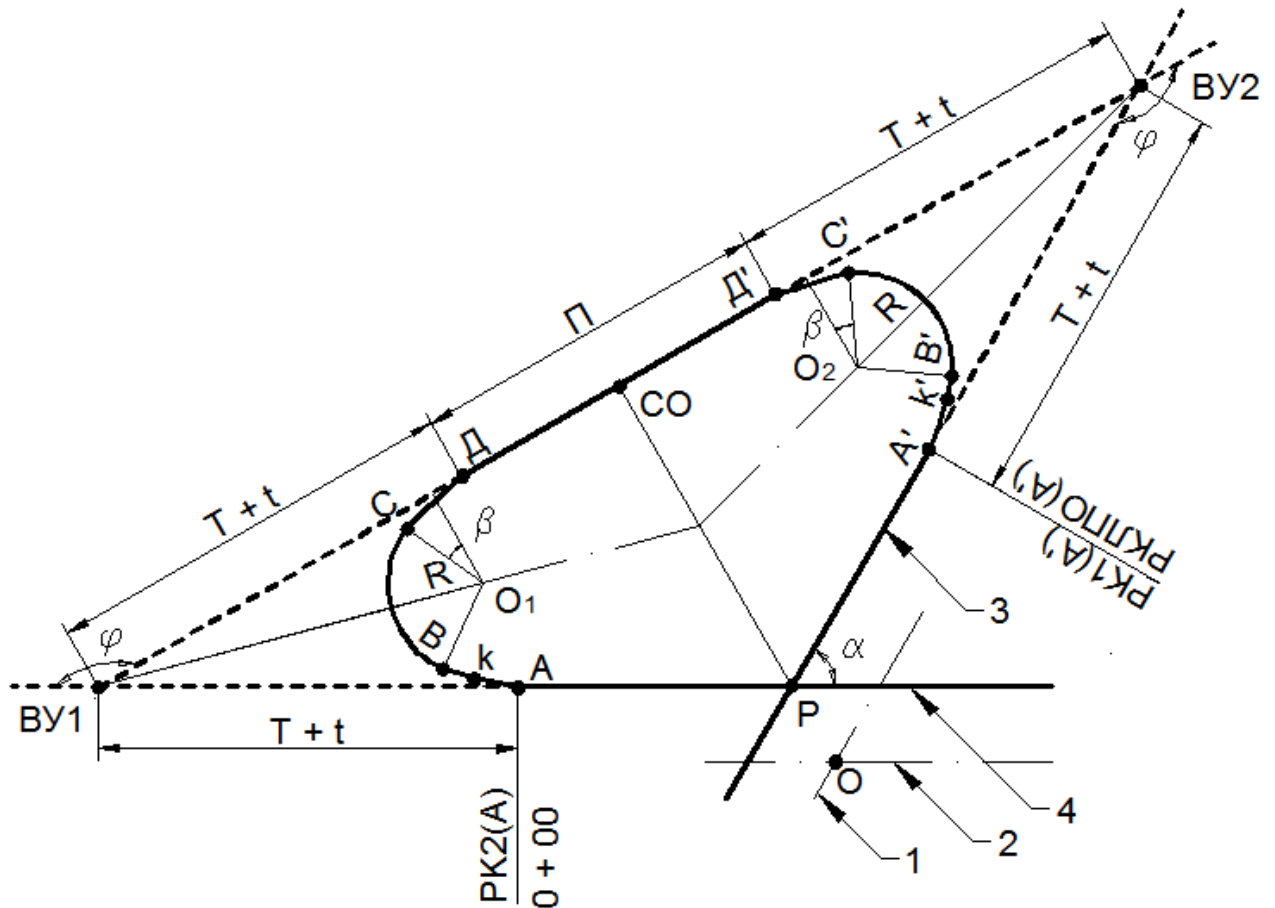


Рис.10.4.8. Схема к определению пикетного положения основных точек плана трассы ЛПО по типу 2: 1,2 – оси пересекающихся дорог; 3,4 – оси сопрягаемых ЛПО полос движения.

Закруглени на ВУ1 состоит из переходных кривых АВ и CD длиной $L = 50$ м каждая, круговой кривой K_0 радиуса $R = 50$ м. Угол поворота трассы ЛПО $\varphi = 180^\circ - \alpha / 2$.

Закругление на ВУ 2 для случая $R = 50$ м аналогично закруглению на ВУ 1. В случае, если $R = 40$ м, то элементы закругления на ВУ 2 вычисляются по приведенным выше формулам, принимая $R = 40$ м и $L = 45$ м.

10.4.2.1. Проектирование плана трассы ЛПО по условию расположения путепровода вне ЛПО.

Положение начала ЛПО по типу 2 *назначается* по условиям размещения начала и конца путепровода вне трассы ЛПО.

10.4.2.2. Проектирование плана трассы ЛПО по условию обеспечения требуемой длины полосы переплетения.

На транспортной развязке «клеверный лист», на участке от конца предыдущего ЛПО до начала последующего ЛПО, происходит переплетение потоков транспорта, выходящего с ЛПО на основную полосу дороги и уходящего с основной полосы на последующее ЛПО. На каждой пересекающейся дороге имеются две полосы переплетения (правые и левые). Если параметры ЛПО по типу 1 или по типу 2 одинаковые, то правая и левая полосы переплетения на дороге 1 или на дороге 2 имеют одинаковую длину.

Раздел III. Проектирование дорог в сложных природных условиях.

Глава 11. Проектирование дорог в заболоченных районах.

11.1.1 Типовые и индивидуальные решения и условия их применения при проектировании земляного полотна

При проектировании земляного полотна применяются типовые решения с индивидуальной привязкой, а также индивидуальные решения при наличии соответствующих обоснований и условий:

- для насыпей и выемок с высотой откоса более 12 м;
- для насыпей на участках временного подтопления, а также при пересечении постоянных водоемов и водотоков;
- для насыпей, сооружаемых на болотах глубиной более 4 м с выторфовыванием или при наличии поперечных уклонов дна болота более 1:10;
- для насыпей, сооружаемых на слабых основаниях;
- при использовании в насыпях грунтов повышенной влажности;
- при применении прослоек из специальных геотекстильных материалов (теплоизолирующих, гидроизолирующих, дренирующих, капилляропрерывающих, армирующих);
- при сооружении насыпей на просадочных грунтах;
- для выемок в слоистых толщах, имеющих наклон пластов в сторону проезжей части;
- для выемок, вскрывающих водоносные горизонты или имеющих в основании водоносный горизонт;
- для выемок с высотой откоса более 6 м в пылеватых грунтах в районах избыточного увлажнения;
- для насыпей и выемок, сооружаемых в сложных инженерно-геологических условиях: на косогорах круче 1:3, на участках с наличием или возможностью развития оползневых явлений, оврагов;
- при возведении земляного полотна с применением взрывов или гидромеханизации;
- при проектировании периодически затопляемых дорог при пересечении водотоков.

Индивидуально необходимо также проектировать водоотводные, дренажные, поддерживающие, защитные и другие сооружения, обеспечивающие устойчивость земляного полотна в сложных условиях, а также на участках сопряжения земляного полотна с мостами и путепроводами.

11.1.2 Проектирование земляного полотна на слабых водонасыщенных 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 (дорожная одежда, земляное полотно, слабое основание).

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, уклон кровли подстилающих пород);
- условий производства работ, в том числе сроков завершения строительства, климата района, времени года выполнения земляных работ, дальности возки грунта, возможности строительной организации (обеспеченность транспортом, наличие специального оборудования).

Использование слабого грунта в качестве основания 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 устойчиво-

сти, 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, а также дополнительных требований, обусловленных особенностями слабых грунтов:

- устойчивости – не допускается возможность выпора (или выдавливания) слабого грунта из-под насыпи в период ее эксплуатации;
- стабильности – не допускается устройство дорожной одежды до завершения консолидации слабого грунта в основании насыпи;
- прочности – упругие прогибы и колебания дорожной одежды и насыпи, вызываемые действием транспортной нагрузки, не должны превышать значений, допустимых для принятого типа покрытия.

Для исключения недопустимых упругих колебаний толщина насыпей, сооружаемых на торфяных основаниях, должна быть не менее (в метрах) таблица 11.1:

Таблица 11.1

Начальная мощность слабого слоя	Тип дорожной одежды		
	Капитальный	Облегченный	Переходный
1	2	1,5	1,2
2	2,5	2	1,5
4	3	2,5	2
6	3	3	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 (с учетом величины полной осадки насыпи).

Земляное полотно на участках залегания слабых грунтов проектируется не менее чем в две стадии, которые могут быть назначены после технико-экономического обоснования проекта дороги.

На первой стадии выделяют участки, для которых дальнейшая проработка варианта с использованием слабого грунта в основании нецелесообразна, и участки, где использование слабого грунта может быть целесообразным.

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;

– 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.

Земляное полотно на участке залегания слабых грунтов в общем случае проектируется в следующем порядке:

- на основе инженерно-геологических обследований намечают расчетные участки и устанавливают расчетные параметры слабой толщи и характеристик слагающих ее грунтов;
- устанавливают минимально допустимую высоту насыпи на данном участке, руководствуясь условиями водно-теплового режима, снегонезаносимости и исключения упругих колебаний;
- с учетом минимально допустимой высоты наносят красную линию, устанавливают расчетную высоту насыпи и намечают расчетные поперечники;
- определяют расчетом величину осадки;
- проверяют устойчивость основания;
- прогнозируют длительность завершения осадки;
- намечают варианты конструктивно-технологических решений, обеспечивающих, в случае необходимости, повышение устойчивости, ускорение осадки или снижение ее величины;
- выполняют расчеты по этим вариантам и выбирают оптимальный;
- дают рекомендации по наиболее рациональной технологии, механизации и организации работ;

- 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.

11.1.3 Особенности изысканий автомобильных дорог на участках залегания слабых грунтов

Инженерно-геологические обследования необходимы для получения данных, по обоснованию положения трассы и назначению конструкции и технологии сооружения земляного полотна.

При инженерно-геологическом обследовании необходимо:

- установить границы участка со слабыми грунтами в пределах зоны возможного расположения дороги;
- 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 скважин с отбором проб грунтов и испытания грунтов в условиях их природного залегания;
- лабораторные испытания проб грунтов с определением основных показателей состава и состояния грунтов и испытания для определения характеристик механических свойств грунтов (параметров, характеризующих сопротивляемость сдвигу, сжимаемость и скорость уплотнения грунта);
- камеральная обработка материалов обследования, включающая составление отчетной документации.

Отчетная документация включает в себя:

- план участка с изолиниями мощности слабой толщи (рис.11.1.1);

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, наличии пней, наличии поверхностного водоотвода; данные о постоянных водотоках и о проходе весенних вод; данные о характере пород, слагающих дно толщи, и рельефе дна.

В пояснительной записке дают оценку строительных свойств слабых грунтов, выделяют расчетные (однотипные) участки, расчетные слои (т. е. слои, единообразные по инженерно-геологическим свойствам) и приводят расчетные значения механических характеристик грунтов для этих слоев. На основе количественной оценки механических свойств грунтов 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.

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.

11.1.4 Классификация слабых грунтов и их свойства

Биогенные грунты

Среди биогенных грунтов наибольшее распространение имеют болотные грунты (торф, сапропель, болотный мергель, органический ил). В естественном залегании болотные грунты находятся в водонасыщенном состоянии и имеют высокую пористость.

В зависимости от содержания органических веществ слабые болотные подразделяются на три группы:

- органические грунты (потери при прокаливании (П) $P > 60 \%$);
- органо-минеральные грунты ($10 \% < P < 60 \%$);
- минеральные грунты ($P < 10 \%$).

Свойства болотных грунтов зависят от их состава и состояния. Характеристикой состава торфяных грунтов служит соотношение трех основных компонентов: волокнистых, гумусных и минеральных частиц.

Основная характеристика состава органо-минеральных грунтов (сапрпель, болотный мергель, ил) – соотношение органической и минеральной частей (по массе); дополнительная – содержание карбонатов типа CaCO_3 .

Характеристикой состояния болотных грунтов является природная влажность W или коэффициент пористости e .

Торф – органогенная осадочная горная порода, формирующаяся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха. Для торфа характерна высокая влажность (в пределах 150%–1200% и >).

Сапропели – озерные отложения, образующиеся в водоемах в результате отмирания животных и растительных организмов и оседания минеральных частиц, заносимых водой и ветром.

Болотный мергель – рыхлая осадочная порода, образовавшаяся в озерно-болотных условиях при поступлении в водоемы воды, содержащей в растворенном виде кислый углекислый кальций ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)$).

Болотный ил по свойствам близок к пылевато-глинистым грунтам. Для ила характерно наличие различных по крупности минеральных зерен, более высокая плотность.

Классификация торфяных грунтов приведена в таблице 11.2, классификация органических и органо-минеральных илов приведена в таблице 11.3.

Таблица 11.2

Тип грунтов	Природная влажность W	Коэффициент пористости e	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Степень разложения R, %	Степень волокнистости Ф, %	Зольность Z, %	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) τ , МПа, (кгс/см ²)	Модуль осадки I_p , мм/м (при нагрузке P = 0,05 МПа (0,5 кгс/см ²))
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)	
				> 40	< 60	> 5 < 5	> 0,019 (0,19) > 0,026 (0,26)	200–350
Маловлажный	3–6	4–9	0,14–0,25	< 25	> 75	> 5 < 5	0,040–0,025 (0,40–0,25) 0,035–0,022 (0,35–0,22)	
				25–40	75–60	> 5	0,30–0,017 (0,30–0,17)	
						< 5	0,033–0,016 (0,33–0,16)	
				> 40	> 75	> 5	0,019–0,0008 (0,19–0,08)	
						< 5	0,026–0,013 (0,26–0,13)	
				Среднейвлажности	6–9	9–14	0,10–0,14	< 25
25–40	75–60	> 5	0,017–0,010 (0,17– 0,10)					
		< 5	0,016–0,011 (0,16– 0,11)					
> 40	< 60	> 5	0,008–0,005 (0,08–0,05)					
		< 5	0,013–0,008 (0,13–0,08)					
Очень влажный	9–12	14–18	0,07–0,10					25
				25–40	75–60	< 5	0,01–0,005 (0,10–0,05)	
						> 5	–	
				40	> 75	< 5	0,005–0,003 (0,05–0,03)	
						> 5	–	
				Избыточновлажный	> 12	> 18	< 0,07	25
25–40	75–60	< 5 > 5	< 0,003 (< 0,03)					
40	> 75	< 5 > 5	< 0,003 (< 0,03)					

Таблица 11.3

Тип залега-ния	Вид грунта	Разновид-ность	Содержа-ние органических веществ, %	Содержа-ние карбонатных веществ (CaCO ₃), %	При-родная влаж-ность W	Кэффи-циент пористости e	Сопротив-ление сдви-гу по крыльчатке (в природ-ном залега-нии), МПа, (кгс/см ²)	Модуль осадки I _p , мм/м (при нагрузке P = 0,05 МПа (0,5 кгс/см ²))
Неуплот-ненные в природ-ном зале-гании (озерные под слоем воды)	Сапро-пели органиче-ские	Детритовые	> 60	< 30	6–20	12–25	< 0,002 (< 0,002)	900–500
	Сапро-пели органи-минеральные	Известкови-стые	10–60	> 30	2–6	5–12	0,006–0,002 (0,06–0,2)	400–200
		Кремнезе-мистые	10–60	< 30	1,5–6	4–12	0,005–0,003 (0,05–0,03)	300–200
Неуплот-ненные в природ-ном зале-гании (болотные под слоем торфа)	Сапро-пели органи-ческие	Торфоса-пропели	> 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
	Сапро-пели органи-минеральные	Известкови-стые	10–60	> 30	1,5–6	1–12	0,013–0,008 (0,13–0,08)	500–200
		Кремнезе-мистые	10–60	< 30	1,2–6	3–12	0,013–0,007 (0,13–0,07)	400–200
	Болот-ный мер-гель	–	< 10	> 10	1,2–0,8	3–1,5	0,20–0,008 (0,20–0,08)	200–60
	Болот-ный ил	–	< 10	< 10	1,2–0,3	3–1,1	0,032–0,011 (0,32–0,11)	100–40
Уплот-ненные в природ-ном зале-гании (озерно-болотные под слоем мине-ральных наносов или под насыпь)	Сапро-пели органи-ческие	Детритовые	> 60	< 30	1,5–3,0	4–6	0,020–0,008 (0,20–0,08)	250–150
	Сапро-пели органи-минеральные	Известкови-стые	10–60	> 30	0,8–2,5	1,2–0,4	0,25–0,010 (2,5–0,10)	200–80
		Кремнезе-мистые	10–60	< 30	0,5–2,0	1,4–4,0	0,030–0,010 (0,30–0,10)	150–80

Переувлажненные глинистые грунты

К числу слабых грунтов могут относиться и обычные глинистые грунты различного возраста, имеющие в природном состоянии повышенную влажность. Механические показатели переувлажненных глинистых грунтов приведены в таблице 11.4.

Таблица 11.4

Разновидность грунта		Подвид (по пластичности)	Показатели механических свойств			Плотность ρ , т/м ³
Наименование	Коэффициент консистенции J_L		Удельное сцепление c , МПа	Угол внутреннего трения φ , 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	Супесь	0,002	≤ 18	19	1,85
		Суглинок	0,010	13	12,5	1,85
		Глина	0,010	8	3	1,9
Текучий	≥ 1	Супесь	0,001	14	12,5	1,85
		Суглинок	0,005	10	6	1,8
		Глина	0,005	6	3	1,8

11.1.5 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.

Предварительное разделение слабой залежи на однородные участки и слои выполняют на основе геологического разреза 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.

Выделение однородных расчетных слоев геотехнической модели производится на основании следующих правил:

- геологический слой должен быть генетически однороден (значения основных классификационных показателей слоя не должны выходить за пределы одной классификационной группы);
- геологический слой должен характеризоваться статистической однородностью по выбранному показателю или набору показателей (резкие отскоки среди значений показателей должны быть исключены);
- количество определений одного и того же показателя должно быть не менее шести.

Для определения расчетных значений характеристик слабых грунтов назначается надежность (доверительная вероятность) расчетных показателей в зависимости от категории автомобильной дороги.

Коэффициент надежности α для дорог I, II, III категорий, соответственно, равен 0,95, 0,90, 0,85, для IV, V и VI категорий – 0,80.

При определении расчетных значений прочностных характеристик грунтов коэффициент надежности принимается равным 0,99 независимо от категории проектируемой дороги.

Для проведения геотехнических расчетов на каждом расчетном участке назначают расчетные поперечники. Число расчетных поперечников устанавливается 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).

11.1.6 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 (таблица 11.6).

!На первом этапе расчета тип основания по устойчивости и характер специальных мероприятий, необходимых для использования болотного грунта в качестве основания проектируемой насыпи, в зависимости от состава строительных типов болотных грунтов, слагающих болотную залежь (таблица 11.5).

Строительный тип болотного грунта определяется в зависимости от величины сопротивления сдвигу, устанавливаемой путем испытаний с помощью крыльчатки в условиях природного залегания.

Таблица 11.5 – Строительный тип болотного грунта

Разновидность болотного грунта по состоянию	Осушенный (уплотненный) или маловлажный	Средней влажности	Очень влажный	Избыточно влажный и жидкие образования
Сопротивление сдвигу по крыльчатке τ , МПа	$> 0,015$	0,010–0,015	0,005–0,010	$< 0,005$
Строительный тип болотного грунта	1	2	3а	3б

Таблица 11.6 – Тип основания 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 нагружении
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 нагружении
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)

После определения толщины проектируемой насыпи тип основания по устойчивости уточняют, используя специальный расчет.

11.1.7 Земляное полотно с использованием в основании слабых грунтов

При возможности использования болотной залежи в качестве основания насыпи производятся специализированные расчеты в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами:

- Установление величины общей осадки насыпи на слабом основании;
- Статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна;
- Динамический расчет земляного полотна;
- Расчет устойчивости слабого основания дорожной насыпи;
- Прогноз осадки во времени (расчет режима возведения насыпи);
- Расчет временной пригрузки;
- Ускорение осадки путем частичного выторфовывания и путем устройства вертикальных дрен и дренажных прорезей.

Детально проектирование земляного полотна автомобильной дороги на слабом основании производится по индивидуальным заданиям при выполнении лабораторных работ, предусмотренных учебной программой дисциплины.

При сооружении насыпей с использованием в их основании слабых грунтов в целях повышения устойчивости, ускорения осадки и снижения влияния динамической нагрузки предусматриваются следующие конструктивно-технологические мероприятия:

- сооружение насыпи на слабом основании с расчётным режимом отсыпки;
- применение армированных элементов из тканых геосинтетических материалов для обеспечения устойчивости;
- применение разделительных прослоек из геосинтетических материалов для разделения отсыпаемых грунтов и грунтов слабого основания;
- устройство временной пригрузки для ускорения процесса консолидации грунтов слабого основания;
- вертикальные дрены из песка с целью ускорения осадки слабого основания;
- использование свайных элементов с целью создания устойчивых конструкций.

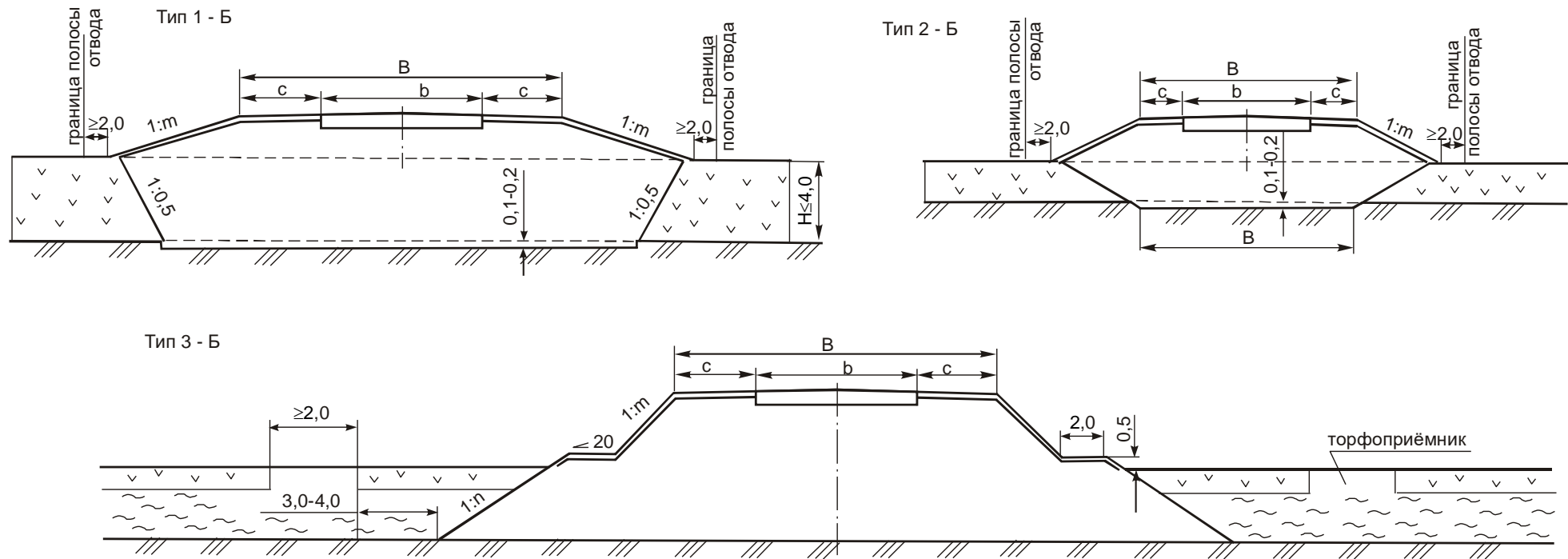
В некоторых случаях может осуществляться замена слабого грунта в основании насыпи. Одним из возможных технических вариантов при применение слабых грунтов в основании земляного полотна является его улучшение, путем введения добавок. Повышение качества местных укрепленных грунтов для создания эффективных дорожных одежд местных автомобильных дорог возможно путем введения в грунт, помимо вяжущего, гранулометрических добавок. Регулируя гранулометрический состав, т.е. количество песчаных, пылеватых и глинистых частиц, возможно направленно изменять физико-механические свойства укрепленных грунтов в зависимости от области их применения. Гранулометрические добавки применяются в целях придания грунтам более высоких физико-механических свойств. Для этого в песчаные грунты вводят глинистые добавки, а в глинистые — щебень, гравий или песок. Количество вводимых добавок определяют расчетом или по нормативам.

Оптимальную грунтовую смесь составляют, смешивая два или три грунта различного гранулометрического состава. В этой смеси должно быть определенное соотношение песчаных глинистых и пылеватых частиц.

Оптимальные по гранулометрическому составу грунтовые смеси должны иметь определенную пластичность. Для того чтобы более точно установить процент глинистых частиц в дорожной одежде, должен быть принят во внимание климат. В сыром климате, где дорога большую часть времени находится во влажном состоянии, содержание глинистых частиц должно быть ниже, в засушливой местности — больше. Из этого следует, что в условиях влажного климата в оптимальных смесях должно быть больше песчаных частиц, а количество глинистых 3–10 %. В сухом климате количество глинистых частиц может достигать 15 %

Особенно актуально улучшение гранулометрического состава для местных дорог. Грунты, содержащие мало глинистых частиц, являются рыхлыми и в сухую погоду оно легко разрушается колесами проезжающего транспорта. Грунты с большим содержанием глинистых частиц в дорожной одежде в сухую погоду устойчивы, но в сырую погоду, после намокания, легко прорезаются и сильно налипают на колеса, вследствие чего дорога становится труднопроходимой.

Типовые поперечные профили насыпей, сооружаемых на слабых основаниях приведены на рис.11.1.3 – 11.1.8.

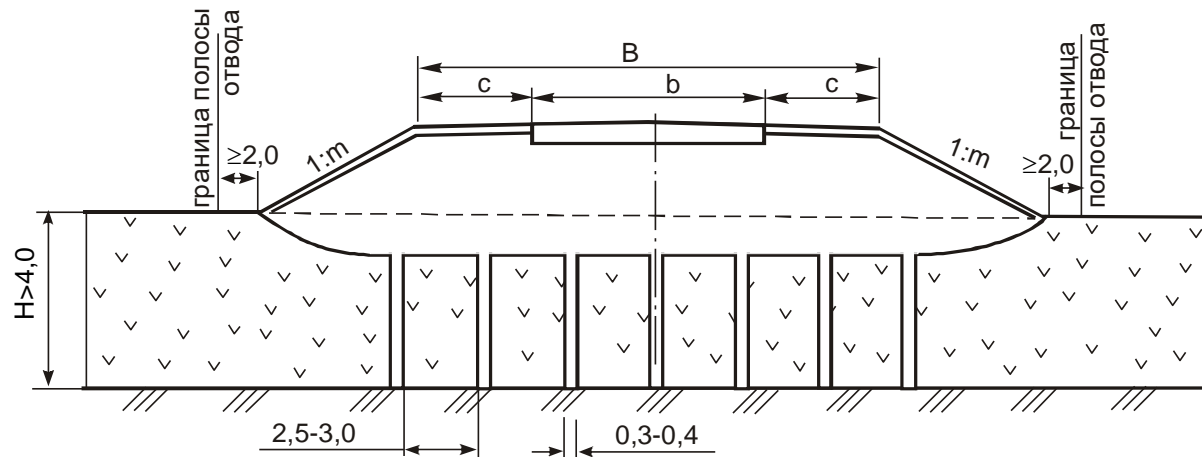


Примечания

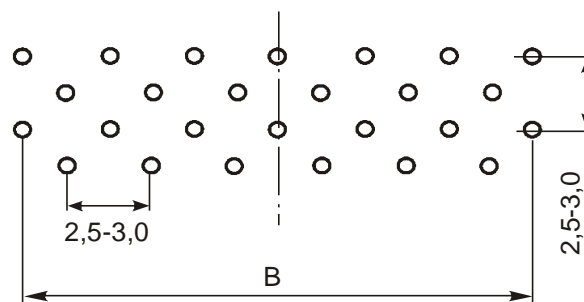
- 1 Тип 1-Б применяется на болотах I-II типов глубиной до 4 м для дорог I—III категорий.
- 2 Тип 2-Б применяется на болотах I-II типов глубиной до 2 м для дорог IV—V категорий.
- 3 Тип 3-Б применяется на болотах III типа глубиной до 4 м для дорог I—V категорий.
- 4 Тип 1-Б допускает устройство вертикальных 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 таблице 11. Крутизна откосов нижней части насыпи (тип 3-Б) принимается по приведенной таблице.
- 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.

Наименование грунтов	1:n
Песчаный мелкий и пылеватый	1:4
Песчаный крупный и средний	1:2
Гравийный, галечниковый, щебенистый	1:1,5

Рис. 11.1.3. Насыпи на болотах с полным выторфовыванием с погружением на минеральное дно болота



План расположения дрен (насыпь не показана)

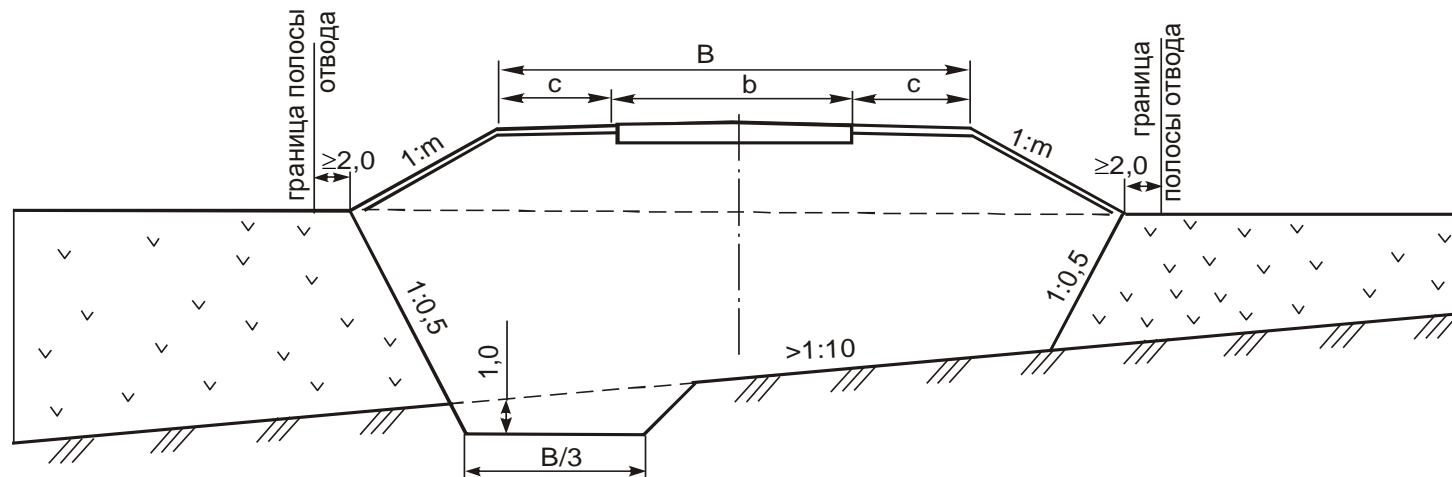


Примечания

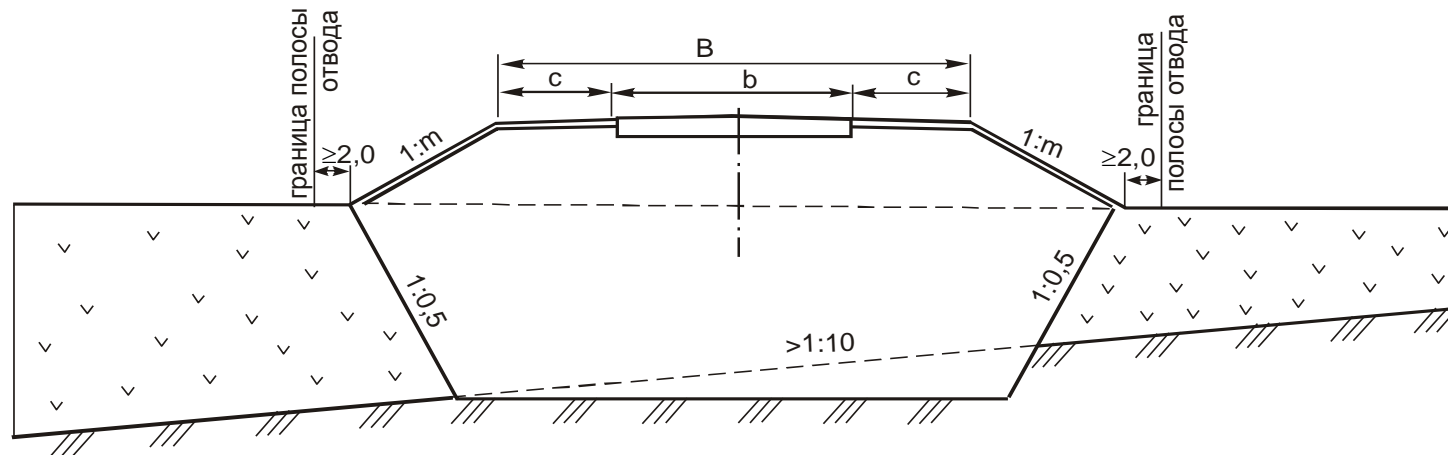
- 1 Тип 6-Б применяется на болотах I и II типов глубиной более 4 м для дорог III—V категорий с высотой насыпи до 3 м.
- 2 Вертикальные дрены устраиваются с расчётом срока консолидации основания 4—6 мес.
- 3 Дрены устраиваются из песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 6 м/сут. Эффективность 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 её высоты и вида грунтов, из которых насыпь проектируется, в соответствии с ТКП 45-3.03--19.
- 5 При необходимости устройства продольного водоотвода, канавы вдоль насыпи устраиваются на расстоянии не менее 2 м от её подошвы.
- 6 При высоте насыпи более 3 м конструкция земляного полотна разрабатывается на основе индивидуального расчёта.

Рис. 11.1.5. Насыпь на болоте с вертикальными дренами

Тип 7 - Б



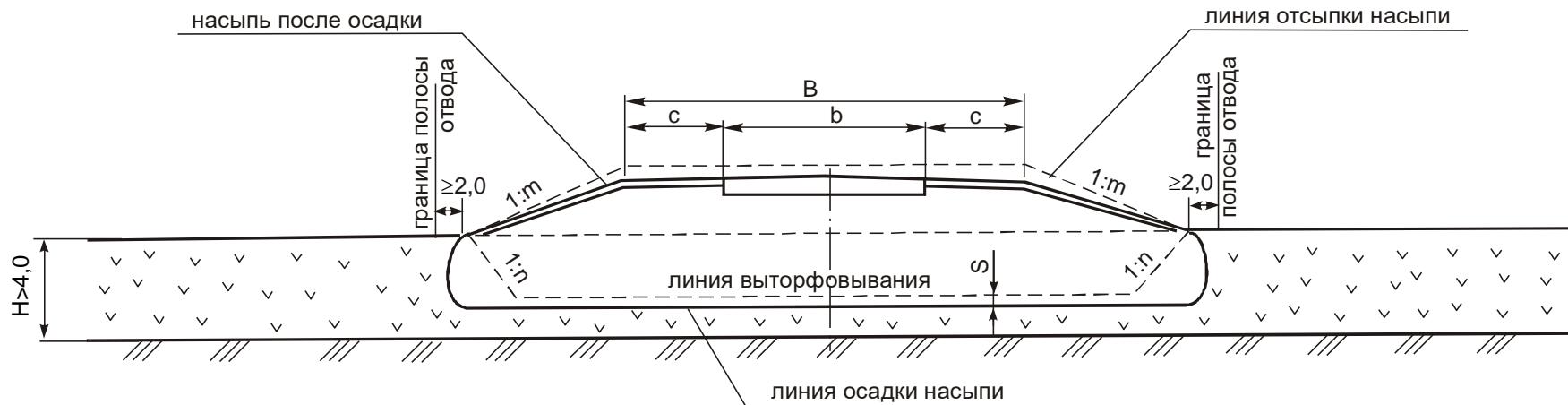
Тип 8 - Б



Примечания

- 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 её 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 ТКП 45-3.03-19.
- 5 При необходимости устройства продольного водоотвода канавы вдоль насыпи устраивают на расстоянии не менее 2 м от её подошвы.
- 6 При наличии торфа с высокой волокнистостью допускается его использование для упрочивания откосов насыпи с заложением 1:6 на высоту отметки низа дорожной одежды.

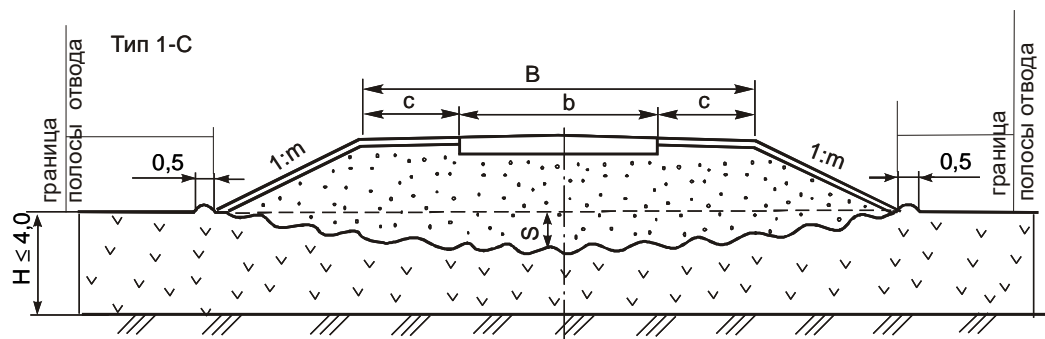
Рис. 11.1.6. Насыпи на болотах с поперечным уклоном дна 1:10 и более



Примечания

- 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 учётом 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 счёт создания более крутых откосов в торфе (1:n). Заложение откосов (1:n) при выторфовывании определяется путём проходки пробного шурфа с вертикальными стенками. Если вертикальный откос в данном пласте торфа удерживается не менее 3 сут, в проекте предусматриваются вертикальные стенки. В противном случае проектируются более пологие откосы.
- 4 Крутизна откосов в верхней части насыпи принимается в зависимости от грунта, из которого она проектируется, в соответствии с таблицей 11.
- 5 Нижнюю часть насыпи на болотах проектируют из дренирующих грунтов. Толщина дренирующего слоя должна быть на 0,5 м больше суммы значений расчётной осадки и глубины выторфовывания.
- 6 При необходимости устройства продольного водоотвода, канавы вдоль насыпи устраиваются на расстоянии не менее 2 м от её подошвы.
- 7 Осадка оставшегося слоя торфа определяется расчётом. Покрытие устраивается после завершения расчётной осадки.
- 8 Торф высокой волокнистости можно использовать для уположения откосов насыпи с заложением 1:6, на высоту до отметки низа дорожной одежды.

Рис. 11.1.7. Насыпи на болотах I и II типов с частичным выторфовыванием



Расход геотекстиля на 1,0 м земляного полотна, м²

Ширина земляного полотна В, м	Высота насыпи 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

Примечания

- 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 расчётную степень консолидации (I_p) по сравнению с нормативной (I_n):

$$I_p = K I_n = 0,95 I_n$$

- 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. Полотна соединяют между собой склеиванием или сшиванием.
- 4 Минимальная высота насыпи определяется из условий снегозаносимости, возвышения верха дорожной одежды над уровнем поверхностных вод и исключения возможных упругих колебаний от проходящего транспорта.
- 5 Величина осадки определяется расчётом.
- 6 Насыпь в нижней части на величину осадки плюс 0,5 м возводится из дренирующих грунтов.
- 7 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.
- 8 Расход геотекстиля подсчитан для полотен шириной 1,5 м и перекрытием их на 0,15 м.

Рис. 11.1.8. Насыпи на слабых основаниях с геотекстилем

Глава 12. Особенности проектирования автомобильных дорог в горной местности.

В горных районах в связи с невысокой плотностью сети железных дорог и малым числом аэродромов основные объемы перевозок осуществляются по автомобильным дорогам. Однако проектирование и строительство автомобильных дорог в горных районах имеет специфические особенности и часто связано с решением ряда сложных проблем. Горный рельеф характеризуется значительными перепадами высот на относительно коротких расстояниях, крутыми склонами гор и обрывами, глубокими извилистыми долинами бурных рек.

Сложное геологическое строение горных районов, часто сильно меняющееся на коротких расстояниях, интенсивное неравномерное во времени выпадение атмосферных осадков и наличие, в связи с этим большого количества бурных водотоков, обладающих огромной разрушительной силой, приводят к эрозии горных пород.

Вследствие этого происходит интенсивный перенос больших объемов продуктов выветривания по крутым склонам, перенос их многочисленными горными потоками и аккумуляция в пониженных местах. Неустойчивость форм рельефа и горных геологических напластований приводит к появлению многочисленных оползней, осыпей, обвалов, селевых потоков, что определяет сильное удорожание строительства автомобильных дорог в связи с необходимостью строительства большого количества искусственных сооружений и проведение других инженерных мероприятий по обеспечению устойчивости полотна дорог на горных склонах. Сильное удорожание стоимости строительства автомобильных дорог в горной местности определяют также большие объемы земляных работ, к тому же часто проводимые в скальных грунтах, а также необходимость строительства разного рода многочисленных искусственных сооружений: водопропускных труб, мостов, подпорных и одевающих стенок, лавинозащитных галерей, тоннелей и т.д.

По условиям проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог различают следующие характерные геоморфологические зоны горных районов:

- предгорные районы;
- долины горных рек;
- горные склоны;
- водораздельные (перевальные) седловины или плато.

Природные условия горных районов резко меняются на коротком протяжении с четким проявлением вертикальной зональности — изменением

природно-климатических условий по мере возвышения 390 над уровнем моря: средняя температура воздуха понижается на 0,5 °С на каждые 100 м высоты, атмосферное давление падает в среднем на 1 мм ртутного столба на каждые 15 м высоты, годовые суммы атмосферных осадков возрастают на 40—60 мм на каждые 100 м высоты.

В отличие от других типов местности направление трассы горных дорог определяется главным образом расположением горных хребтов и отрогов, которые являются водоразделами бассейнов горных рек. Переход дороги с одного бассейна в другой осуществляется через пониженные места хребтов — седловины.

12.1.1. Трассирование дорог в горной местности

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

- в предгорьях;
- в долинах горных рек;
- на перевальных высокогорных участках.

Предгорье обычно представляет собой наклонную равнину, переходящую в холмистую местность вблизи гор.

При трассировании дорог в предгорье наибольшая сложность 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.

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. Возникает необходимость в более гибких элементах трассы, которые могут 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.

В связи с этим для проектирования автомагистралей стало характерным использование переходных кривых как самостоятельного элемента трассы, равноправного с прямыми и кривыми. Введение *переходных кривых* повышает оптическую плавность трассы.

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.

Длины переходных кривых клотоидной трассы, как правило, значительно превышают необходимые для плавного нарастания бокового усилия при въезде на кривую малого радиуса. Однако введение переходных кривых для обеспечения оптической плавности трассы необходимо лишь при радиусах кривых в плане, меньших чем 5000...6000 м. Искажение в перспективе кривых больших радиусов настолько мало, что поворот сохраняет плавный вид и без переходных кривых.

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;
- на кривых водитель менее подвергается опасности ослепления фарами встречных автомобилей;
- при движении по кривым водитель более контрастно видит ситуации и элементы ландшафта, 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;
- трассирование сопрягающимися переходными кривыми позволяет лучше вписать дорогу в ландшафт, обеспечив повышение устойчивости земляного полотна и уменьшение объемов земляных работ.

Трассирование дорог по долинам горных рек связано 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. 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.

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 сопоставлении вариантов, учитывающем стоимость их строительства и транспортные расходы. Для современного строительства горных дорог с интенсивным движением характерно смелое трассирование по дну долины с неоднократным пересечением реки на близком расстоянии и устройством коротких тоннелей.

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 прилонные 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.

Существует много способов укрепления земляного полотна:

- 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, тетраэдров и др.), сцепляющихся друг с другом и опускающихся при подмыве;
- применение бетонных тюфяков из связанных друг с другом блоков, опускающихся при подмыве.

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 ложин с опасными селевыми выносами трассу переносят с одной стороны до-

лины 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 склоном, следуя за основными изгибами 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.

Поперечные профили на горных склонах обычно снимают ватерпасовкой. На обрывистых скальных склонах, где ватерпас применить невозможно, съемку ведут с помощью теодолита засечками характерных точек склона местности. При этом, однако, нельзя получить подробную характеристику склона. Более успешно съемку поперечных профилей можно выполнить при помощи фототеодолитной наземной стереоскопической съемки.

Переходные участки от долинных трасс к перевальным высокогорным участкам 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 дороги прокладывают с продольными уклонами, близкими к максимальным, используя каждую возможность набора высоты. Применяются и более сложные способы развития трассы, как, например, проложение трассы дороги по спирали с тоннелями и эстакадами.

Развитие трассы по склону зигзагами влечет за собой наличие большого числа кривых малого радиуса, а также проектирование серпантинных. Также перевальные участки характеризуются большим объемом скальных работ и устройством снегозащитных галерей и тоннелей.

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.

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. Линию развивают, ориентируясь не на предельный, а на несколько меньший уклон, который называется руководящим. Его принимают на 10-15% меньше предельного, учитывая неизбежность последующего сокращения длины трассы при окончательном трассировании из-за спрямления мелких переломов 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.

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. В связи со сложностью работ в горной местности целесообразно вначале выбрать трассу по материалам аэрофотосъемки или по крупномасштабным планам в горизонталях.

Во многих случаях место для развития трассы на крутом косогоре очень ограничено и трассу приходится проглаживать зигзагами. В горных дорогах трассу дороги удлиняют, проектируя серпантины.

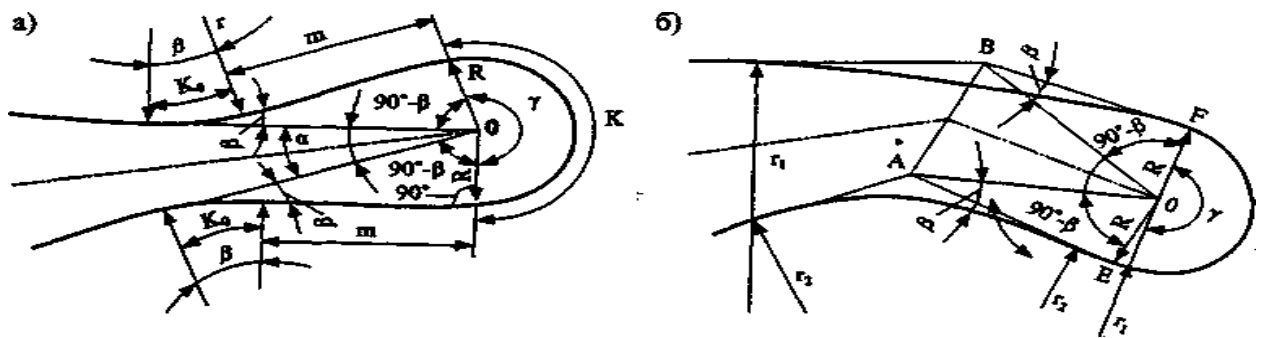
Серпантины – это участки трассы, на которых резко (до 180°) изменяется ее направление с размещением кривых не внутри, а снаружи угла поворота. Трассирование дороги по серпантинам позволяет уменьшить продольные уклоны дороги и земляные работы.

Серпантина состоит из нескольких элементов: основной кривой, обратных кривых и вставок. Для устройства серпантины выбирают наиболее пологий геологический устойчивый участок косогора. Проектирование серпантин заключается в установлении величин отдельных элементов для ее разбивки и проверки возможности размещения земляного полотна на местности.

Серпантины характерны применением малых радиусов кривых и большим углом поворота трассы, вызывающих значительное снижение скоростей и безопасности движения. Кроме этого, при устройстве серпантин значительно увеличиваются объем и стоимость строительных работ и, как правило, увеличивается длина трассы. Поэтому всегда предпочтительнее вариант трассы, имеющий меньшее количество серпантин при прочих равных условиях.

Серпантины бывают двух основных видов (рис. 12.11.1):
-серпантины 1-го рода, у которых вспомогательные кривые расположены выпуклостями в разные стороны. Они могут быть симметричными (радиусы

обратных кривых равны и длина прямых вставок одинакова, центр окружности основной кривой в вершине угла серпантин) и не симметричными (центр основной кривой вне биссектрисы, центр окружности может располагаться в любой из четырех четвертей прямоугольной системы координат). -серпантины 2-го рода, у которых обратные кривые обращены в одну сторону. Они могут быть полные (центр основной кривой может занимать любое положение относительно вершины угла поворота) и полусерпантины (центр основной кривой расположен на линии, перпендикулярной к одной из сторон угла поворота).



а — первого рода; б — второго рода

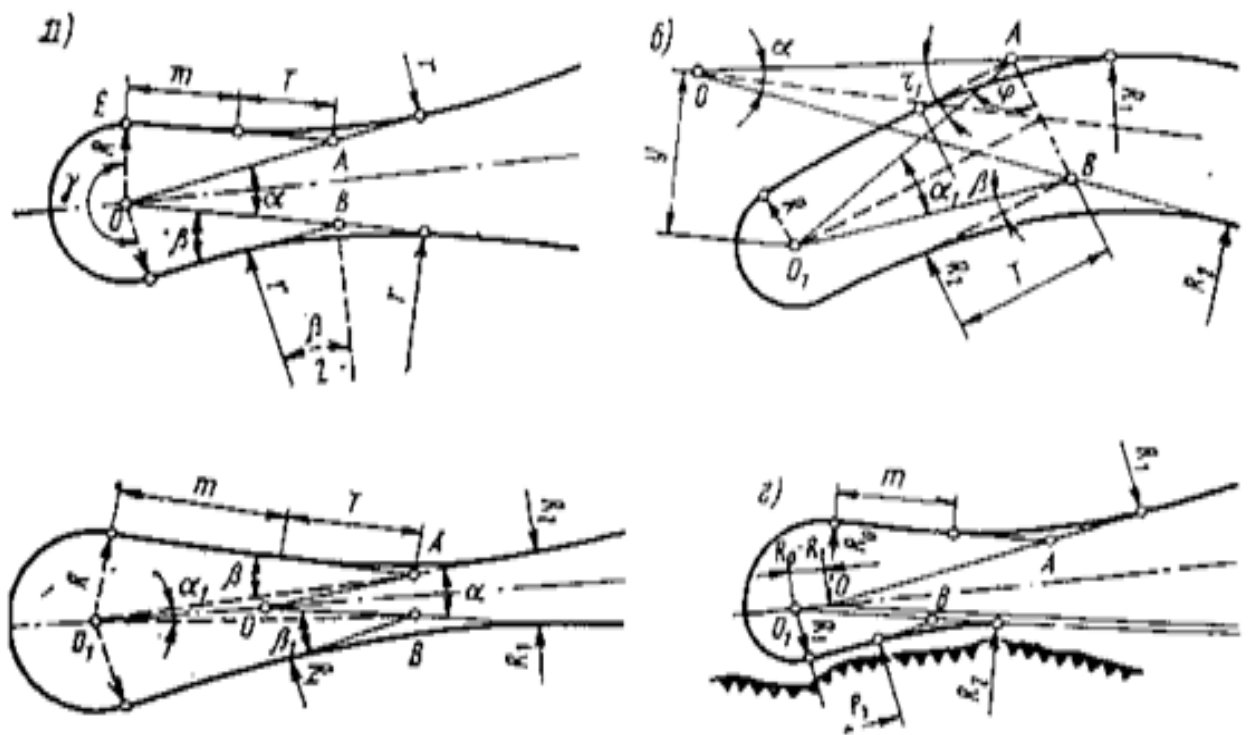
Рис. 12.1.1. План трассы серпантины

Основные элементы серпантин:

- угол серпантины
- радиус основной кривой
- радиусы вспомогательных (обратных) кривых
- угол поворота обратных кривых
- прямая вставка
- тангенс обратной кривой
- горловина серпантины (расстояние между вершинами обратных кривых серпантины определяется условиями размещения земполотна)
- центр окружности основной кривой
- основная кривая-центральный угол

При проектировании серпантин внимание уделяют обеспечению устойчивости земляного полотна, нормальных условий движения автомобилей и наименьшего объема земляных работ. Очертания серпантины необходимо приспособлять к рельефу местности. Геометрические элементы серпантины назначают в зависимости от принятой скорости и интенсивности движения.

Разновидности серпантины представлены на рис.12.1.2.



а - первого рода; б - второго рода; в - первого рода со смещенным центром основной кривой; г - несимметричная первого рода

Рис. 12.1.2. Разновидности серпантины

12.1.2. Профили горных дорог

Земляное полотно горных дорог на большей части их протяжения сооружают на косогорах. Для обеспечения устойчивости насыпи от сползания по косогору при поперечном уклоне местности более 1:5 после удаления дерна делают уступы шириной 1—4 м, которым придают поперечный уклон в низовую сторону 10—20 % (рис. 12.1.3). Откосам насыпей и выемок земляного полотна горных дорог придают заложения в соответствии с прочностью горных пород. В изверженных скальных породах откосы выемок назначают близкими к вертикальным. В осадочных породах допустимая крутизна откоса зависит от направления и угла падения пластов. При изменении вида и строения пород по глубине крутизну откоса назначают переменной.

Если откосы обладают прочностью, обеспечивающей устойчивость при большой крутизне заложения, но подвержены выветриванию, у их подошвы устраивают закуветные полки шириной до 2,0 м, предназначенные для накапливания продуктов выветривания, которые периодически удаляются в процессе эксплуатации дороги.

Для назначения правильной величины заложения откосов выемок особое значение имеют данные инженерно-геологических изысканий и наблюдений за состоянием естественных обнажений и откосов на существующих дорогах, а также данные о предполагаемом способе производства работ в скальных породах.

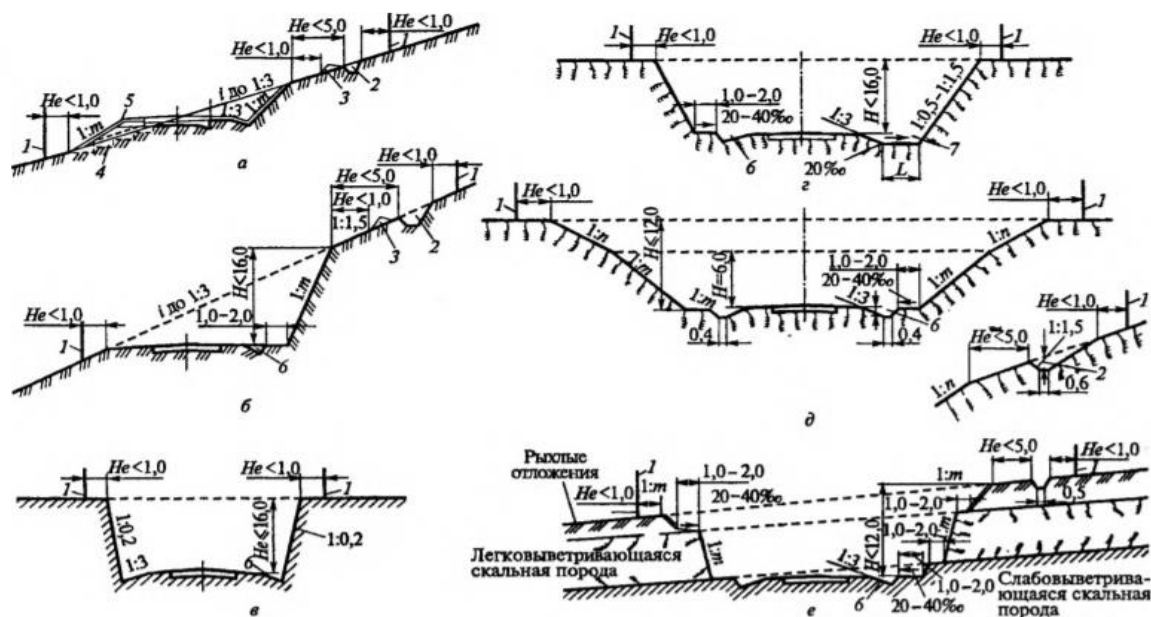


Рис. 12.1.3. Типовые поперечные профили горных дорог

Кюветы в скальных грунтах делают треугольного сечения с заложением внутреннего откоса 1:3 (рис.12.1.4).

Глубину и ширину кюветов определяют гидравлическими расчетами. При расположении дороги на косогоре в полувыемки-полунасыпи с поперечной компенсацией объемов работ теоретически обеспечивается минимум объемов земляных работ. Однако при возведении насыпной части земляного полотна теряются большие объемы грунта, скатывающиеся вниз по крутым склонам. Разделка склона ступенями не всегда обеспечивает необходимую устойчивость насыпной части земляного полотна.

В результате неравномерных осадок в покрытии часто появляются продольные трещины, а в сейсмических районах при землетрясениях насыпная часть земляного полотна вообще может сползти вниз по склону. Поэтому в настоящее время при строительстве горных дорог отказываются от конструкции земляного.

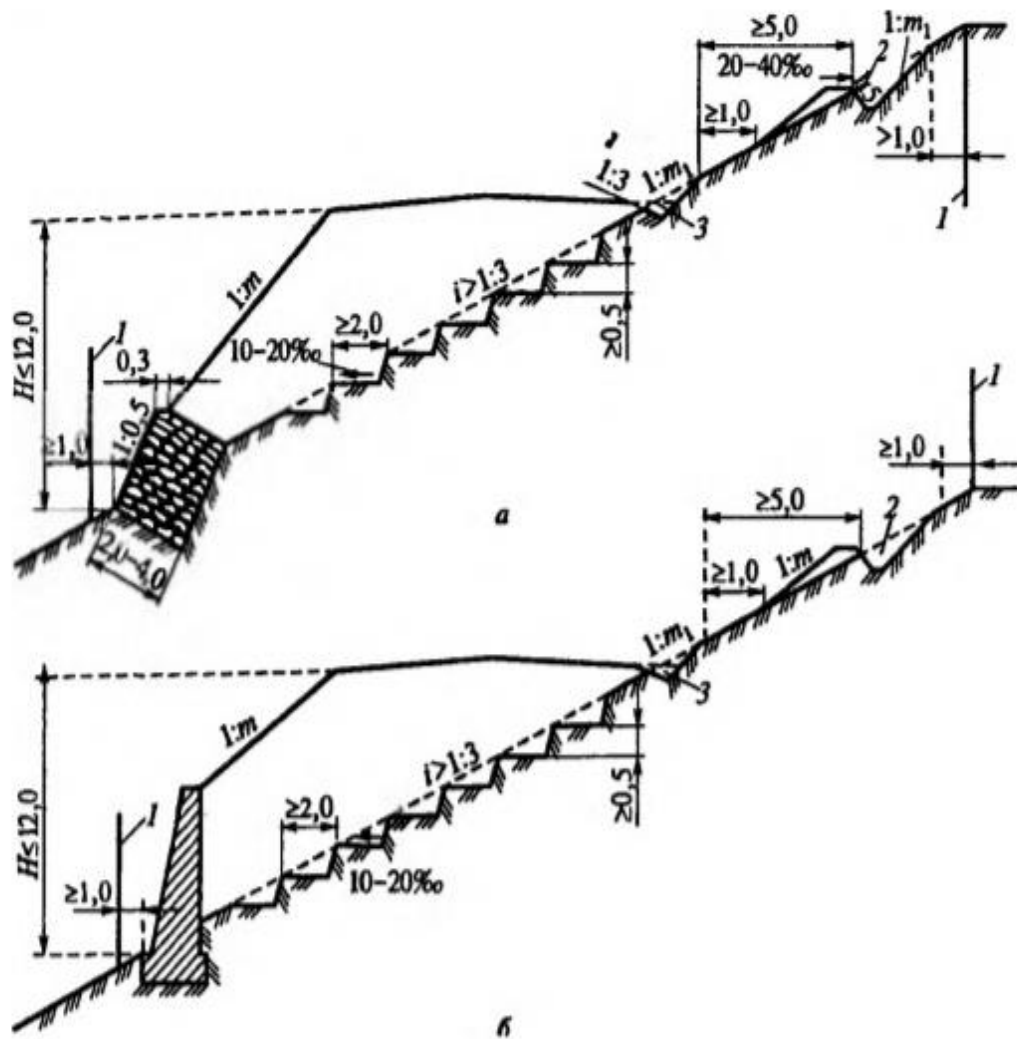


Рис. 12.1.4. Типовые поперечные профили кюветов

Полотна по типу полувыемки-полунасыпи, а полностью размещают земляное полотно в открытой с одной стороны выемке — в полке. Поперечный профиль в полке, несмотря на некоторое увеличение объемов земляных работ, обеспечивает полную устойчивость земляного полотна дорог на горных склонах.

На крутых склонах при устройстве насыпей объемы земляных работ существенно возрастают, так как внешние откосы располагаются под небольшим углом к склону. Поэтому на косогорах с уклоном 1:3 и круче прибегают к устройству с низовой стороны капитальных подпорных стен или банкетов из сухой кладки.

Банкет сооружают из камней не выветривающихся пород размером до 0,4 м.

Подпорные стенки делают из бутовой кладки, бетона или железобетона. Размеры их определяют расчетом.

12.1.3. Проложение дороги по участкам осыпей и камнепадов

При трассировании дороги по долинам горных рек иногда приходится пересекать осыпи — отложения мелкообломочных продуктов распада сильно подверженных выветриванию горных пород на крутых склонах. Осыпи скапливаются у подошвы склонов в виде валов или конусов, состоящих из природного щебня с небольшой примесью грунтовых частиц. В верхней части в зависимости от крупности частиц и их петрографического состава осыпи имеют крутизну до 40—45°, соответствующую углу естественного откоса материала осыпи в водоиасыщенном состоянии. В нижней части (шлейф осыпи) осыпь более полого.

В зависимости от интенсивности поступления материала различают осыпи действующие, рост которых продолжается, затухающие и затухшие. Затухшие осыпи зарастают травой, кустарниками и деревьями. Материал осыпей, даже заросших находится в состоянии неустойчивого равновесия. Подрезка нижней части осыпи выемкой, сейсмические толчки, перегрузка построенной насыпью могут вновь активизировать осыпь и привести ее в движение.

При трассировании дороги подвижные осыпи следует обходить; если это невозможно, необходимо предусмотреть мероприятия для обеспечения устойчивости земляного полотна. Осыпи с коэффициентами подвижности менее 0,5 могут быть использованы для размещения земляного полотна в насыпях без дополнительных сооружений.

Спускающиеся в реку шлейфы осыпей, сложенных из крупнообломочного, хорошо фильтрующего материала, можно пересекать дорогой. Если осыпь закрепилась и на ее поверхности сформировался слой почвы, покрывшийся растительностью, дорогу

проектируют обычным методом, прокладывая в насыпях. 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 м, шириной 0,8—1 м при глубине заложения не менее 0,5 м.

При малом поступлении материала осыпи стенку периодически наращивают и строят дополнительные на массиве осыпи.

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. Обвалам способствуют: разрушение горных пород процессами выветривания, подрезка наклонных пла-

стов при устройстве земляного полотна, трещиноватость горных пород как естественная из-за тектонических нарушений, так и вызванная применением при строительстве массовых взрывов, расширение воды при замерзании в трещинах горных пород, сейсмические толчки и др.

Для оценки обвалов используют измерение объема обвалившихся горных пород.

Исходя из этого объема, обвалы условно подразделяются на

- 1) очень малые (объем менее 5 куб. м);
- 2) малые (5-50 куб. м);
- 3) средние (50-1000 куб. м);
- 4) крупные (более 1000 куб. м).

По составу пород различают обвалы скальные, или каменные, земляные и смешанные, а по объёму обрушений — обвалы крупные (сотни или тысячи м³), малые (до 200 м³) и камнепады (падение и скатывание отдельных камней).

Участки обвалов при изысканиях всегда целесообразно обходить. При невозможности этого за такими участками в процессе эксплуатации дороги должен осуществляться непрерывный контроль.

Рабочие-верхолазы должны регулярно осматривать откосы и сбрасывать в периоды отсутствия движения крупные камни, начинающие терять устойчивость.

Мероприятия направлены на укрепление скального массива. С этой целью обычно используют метод анкерирования. Такое же назначение имеют покрытия склонов из набрызг- или торкрет-бетона, одновременно защищающие породы, обнажающиеся на склоне, от выветривания.

Для улавливания отдельных падающих камней применяются специальные сети.

Для защиты шоссейных и железных дорог от обвалов наиболее эффективны канавы, валы, ограждающие стенки, лесопосадки

На участках, где обвалы и камнепады особенно вероятны, для защиты от падения мелких камней около дороги устанавливают на склонах металлические удерживающие решетчатые щиты или завешивают откос сеткой из толстой проволоки ($L = 3$ мм) с ячейкой 6х5 см.

На дорогах с интенсивным движением на участках с камнепадами в некоторых случаях приходится строить защитные галереи.

Глава 13. Особенности проектирования дорог в зоне распространения вечной мерзлоты, в зоне подвижных песков, в зоне оврагов, карста.

13.1.1. Проектирование дорог в районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов.

Вечномерзлыми (многолетнемерзлыми) называют грунты, содержащие замерзшую воду и имеющие температуру ниже 0°C в течение длительного периода времени.

Вечномерзлые (ВМГ) и многолетнемерзлые (ММГ) грунты составляют 47% территории бывшего СССР и 65% территории современной Российской Федерации.

Строительство и эксплуатация автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты имеет целый ряд особенностей, связанных с суровыми природно-климатическими условиями и особенностями социально-экономического развития таких регионов:

- наличие огромных территорий, занятых озерами, болотами, переувлажненными участками местности;
- повсеместное отсутствие качественных дорожно-строительных материалов, необходимых для строительства дорог;
- широкое распространение глинистых пылеватых грунтов, не пригодных для строительства;
- очень короткий теплый период года, когда можно выполнять дорожно-строительные работы (2,5 – 4,5 месяца);
- затяжной зимний период (7 – 9 месяцев) с экстремальными температурами минус 60-70 °С;
- большое количество ВМГ и ММГ, вытаивание которых приводит к катастрофическим провалам и просадкам полотна дорог и сооружений на них;
- высокая стоимость производства работ из-за значительной удаленности от экономически развитых районов, отсутствия развитой сети дорог (стоимость в три и более раз превышает среднюю стоимость в европейском регионе России).

13.1.2. Дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты.

При проектировании дорог в зоне вечной мерзлоты учитывается дорожно-климатическое районирование территории.

На примере территории РФ. Территория делится на два региона:

- первый (основной, занимает 30 – 35 % территории), особенностью которого является сезонное промерзание грунтов, т.е. верхний слой грунта, который в теплое время года оттаивает, а зимой вновь замерзает – деятельный слой.
- второй (занимает 65 – 70 % территории), особенностью которого является протаивание слоя летом на некоторую глубину (сезонное оттаивание грунта), а остальную часть года находится в мерзлом состоянии.

Линия раздела регионов проходит по границе распространения многолетнемерзлых грунтов на территории РФ.

В основу дорожно-климатического районирования зоны вечной мерзлоты положены факторы, оказывающие основное влияние на устойчивость дорожных конструкций в зоне вечной мерзлоты:

- вид грунта деятельного слоя, его мощность и влажность;
- характер распространения ММГ и их температуры;
- среднегодовые температуры воздуха в регионе;
- рельеф местности и гидрологические условия.

В схеме деления территории зоны вечной мерзлоты на дорожно-климатические подзоны (рис. 11.1.1.) принята нумерация подзон I_1 , I_2 , I_3 .

Наиболее неблагоприятной для дорожного строительства является первая Северная подзона (I_1).

Природно-климатические условия второй Центральной подзоны (I_2) более предсказуемы и стабильны, более приемлемы для дорожного строительства.

Третья Южная подзона (I_3) высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов характеризуется островным распространением вечномерзлых грунтов.

В горных районах в связи с вертикальной зональностью изменение природно-климатических условий учитываются по мере увеличения высоты. В гористой местности вечномерзлые грунты обычно располагаются на заболоченных участках, северных склонах и в пониженных затененных местах.

Для более детального учета условий района расположения трассы автомобильной дороги принято деление на участки в зависимости от характера поверхностного стока и степени увлажнения (типы местности по увлажнению и мерзлотно-грунтовым условиям) (таблица 13.1).

Таблица 13.1

Типы местности	Условия увлажнения	Характерные признаки
1-й (сухие места)	<p>Без избыточного увлажнения.</p> <p>Поверхностный сток обеспечен.</p> <p>Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести</p>	<p>Каменистые возвышенности, крутые склоны, песчаные и гравийно-галечниковые косы с мощностью сезоннооттаивающего слоя более 2,5м</p> <p>Грунты гравийно-галечниковые, песчаные, а также супесчаные, непросадочные и малопросадочные</p>
2-й (сырые места)	<p>Избыточное увлажнение в отдельные периоды года.</p> <p>Поверхностный сток не обеспечен.</p> <p>Естественная относительная влажность грунтов от 0,8 до предела текучести</p>	<p>Плоские водоразделы, пологие склоны гор с мощностью сезоннооттаивающего слоя от 1,0 до 2,5м</p> <p>Грунты глинистые, просадочные</p>
3-й (мокрые места)	<p>Избыточное постоянное увлажнение.</p> <p>Водоотвод не обеспечен.</p> <p>Надмерзлотные и длительно стоящие поверхностные воды (более 20 суток).</p> <p>Естественная относительная влажность грунтов выше предела текучести</p>	<p>Заболоченные тальвеги, мари, замкнутые впадины с развитым мохоторфяным покровом и малой мощностью сезоннооттаивающего слоя (до 1м).</p> <p>Глинистые грунты, сильнопросадочные и чрезмерно просадочные грунты</p>

Дорожно-климатическое районирование

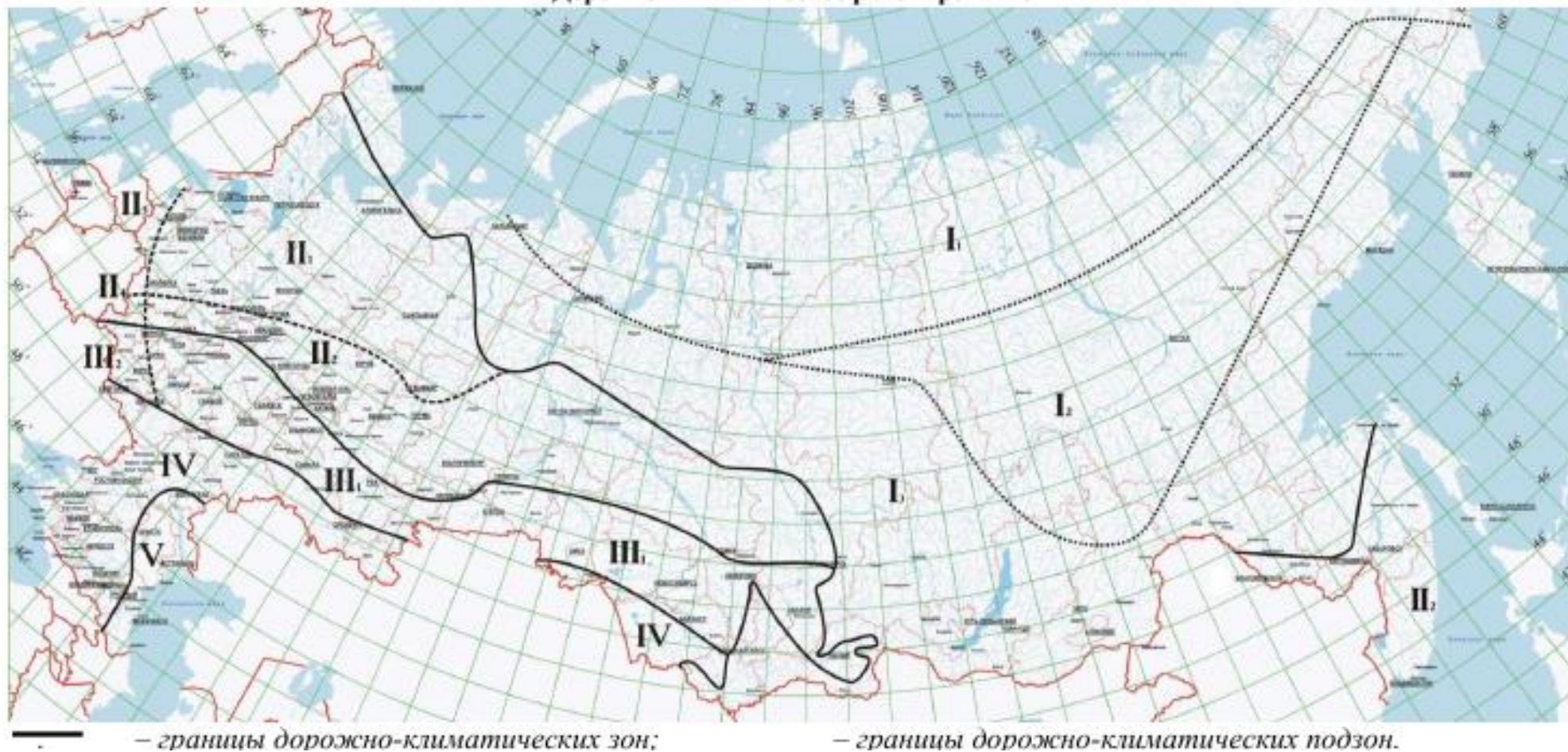


Рис. 13.1.1. Схема деления территории зоны вечной мерзлоты на дорожно-климатические подзоны

13.1.3. Изыскания автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты.

В процессе изысканий при проектировании и строительстве дорог и площадок под аэродромы в районах распространения ВМГ и ММГ необходимо тщательно учитывать особенности природно-климатических условий рассматриваемой зоны:

- вид и влажность грунтов сезоннооттаивающих и сезоннопромерзающих слоев;
- физико-механические свойства грунтов деятельного слоя, мощность деятельного слоя;
- мерзлотно-геологические процессы (бугры пучения, наледи, термокарст, солифлюкация) с выявлением причин их образования;
- температурный режим грунтов
- наличие и вид грунтовых (надмерзлотных и межмерзлотных) вод;
- климатические показатели района строительства.

В зависимости от изученности местности в топографическом, инженерно-геологическом и гидрогеологическом отношении может быть применен тот или иной вид аэрокосмических методов сбора информации и других типов получения информации:

- съемка на трехслойную фотопленку, передающая окраску снимаемой местности в естественных цветах;
- спектральная съемка на двухслойную фотопленку в районах ВМГ и ММГ для изучения состава, влажности и типов грунтов;
- инфракрасная (тепловая) съемка с использованием тепловизоров, чувствительных к малейшим изменениям температуры снимаемой поверхности;
- воздушное и наземное лазерное сканирование поверхности.

Аэрокосмические методы сбора информации имеют преобладающее значение на стадии обоснования инвестиций и технико-экономического обоснования конкурирующих вариантов трассы дороги или других транспортных объектов.

Наземные инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания целесообразно выполнять на значительной территории, намечаемой под строительство объектов мобильными комплексными экспедициями, состоящими из нескольких изыскательских отрядов.

При трассировании автомобильных дорог в районах распространения ВМГ и ММГ руководствуются следующими правилами:

- трассирование по наиболее сухим местам, на крупнообломочных скальных, песчаных и гравелистых грунтах без ледяных прослоек;
- обход участков с неблагоприятными мерзлотными и грунтово-гидрологическими условиями (высокое залегание подземных льдов, распространение солифлюкации, повышенная влажность и пылеватость грунтов, образование наледи);
- трассирование по склонам и террасам южной экспансии, избегая северных склонов косогоров;
- пересечение пониженных мест по кратчайшему направлению, при невозможности обойти;
- обход глубоких оврагов, а также жилых и производственных построек с подветренной стороны;
- расположение трассы, по возможности, по направлению господствующих ветров или под углом к ним менее 20°.

На всех стадиях изысканий дорог в районах распространения ВМГ и ММГ проводят мерзлотно-грунтовые исследования, включающие комплекс обследований, которые обычно при изысканиях в других районах не проводят:

- определение площади ВМГ и ММГ по конкурирующим вариантам трассы;
- определение глубины залегания и распространение по глубине ВМГ и ММГ, нередко льдонасыщенных грунтов;
- установление по глубине температуры и влажности талых и ММГ грунтов;
- определение мощности деятельных слоев грунта;
- определение теплофизических и физико-механических свойств мерзлых, оттаивающих и талых грунтов.

Учитывая сложность инженерно-геологических изыскательских работ для выполнения такого рода работ используются методы геофизической разведки: вертикальное электроразведывание, электропрофилирование, сейсморазведка и радиолокация с использованием самоходных георадаров.

В связи со сложностью природно-климатических условий регионов с ВМГ и ММГ в ходе выполнения проектно-изыскательских работ одновременно предусматриваются комплексы работ по экспериментальному обследованию мерзлотно-грунтовых условий с последующим многолетним мониторингом показателей (не менее 5-7 лет).

В программу мониторинга входит круглогодичное изучение:

- водно-теплого режима грунтов земляного полотна и грунтов естественного залегания (температура, влажность, глубина и скорость оттаивания и промерзания, источники увлажнения);
- осадок и пучения грунтов земляного полотна и грунтов естественного залегания;
- прочности и деформативности земляного полотна и грунтов естественных оснований (модули упругости, модули деформаций, сцепление и углы внутреннего трения);
- метеорологические условия.

13.1.4. Принципы проектирования и строительства дорог на вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтах.

Многолетний опыт строительства автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах СССР, а также в последствии в США и Канаде доказал целесообразность проектирования и строительства земляного полотна насыпей из нецементированных обломочных грунтов. Однако применение таких грунтов в качестве материала для земляного полотна не решает полностью проблему обеспечения его прочности и в то же время определяет высокую стоимость строительства дорог.

!Основные принципы проектирования и строительства автомобильных дорог на ВМГ и ММГ:

- первый принцип – сохранение многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна в течении всего периода эксплуатации дороги (рис. 13.1.2). Этот принцип используется в особо неблагоприятной зоне для строительства (Северная подзона I_1), где целесообразно строительство дороги с сохранением естественного режима местности, предусматривая поднятие верхней поверхности ММГ в насыпи с сохранение их в мерзлом состоянии в течении всего периода эксплуатации дороги. Это достигается возведением насыпей такой высоты, при которой не происходит оттаивание грунтов в ее основании, а также использованием различных теплоизолирующих прослоек.

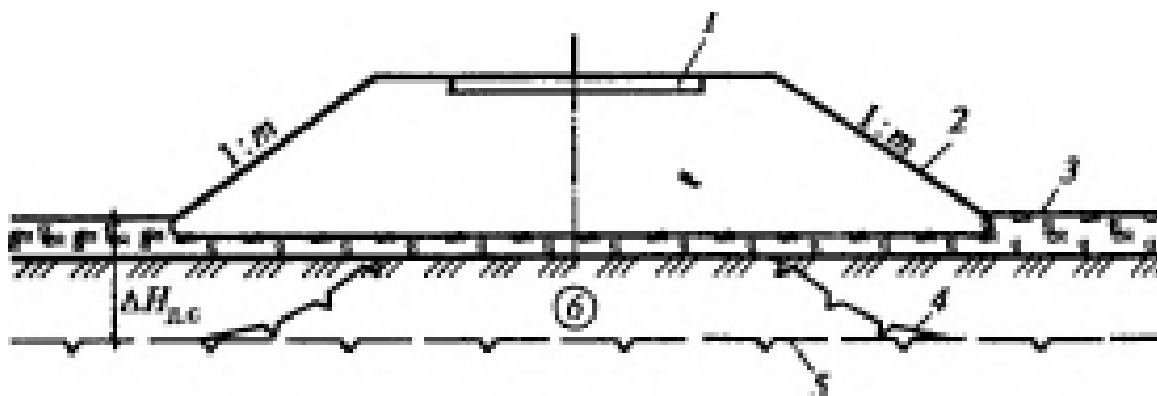


Рис. 13.1.2. Конструкция земляного полотна с сохранением мерзлоты в основании

- второй принцип – допущение частичного оттаивания многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна на величину, определяемую расчетом по допустимым деформациям дорожных покрытий (рис. 13.1.3.). Этот принцип чаще применим в природных условиях второй Центральной подзоны I_2 , где при меньшей влажности местности можно проектировать земляное полотно с частичным оттаиванием грунтов в основании с учетом возникающих деформаций. В этом случае появляется возможность значительного удешевления строительства за счет использования местных глинистых грунтов взамен дорогих привозных крупнообломочных дренирующих грунтов

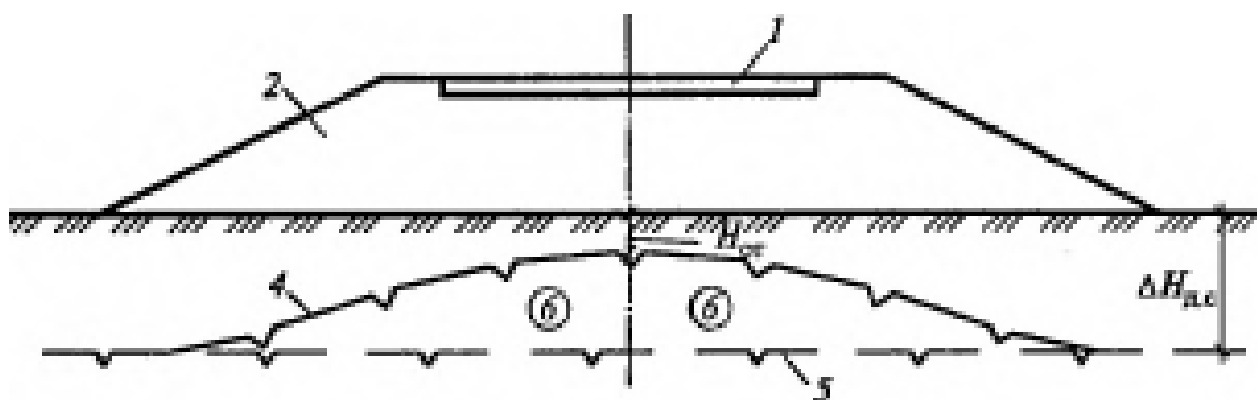


Рис. 13.1.3. Конструкция земляного полотна с допущением частичного оттаивания мерзлоты в основании с учетом деформации дорожных покрытий

- третий принцип – предварительное оттаивание ММГ за год до начала строительства дороги, подготовка и осушение придорожной полосы. (рис.13.1.4). Этот принцип используют в природных условиях третьей

13.1.5. Конструкции земляного полотна дорог в районах вечной мерзлоты.

Для возведения насыпей в районах распространения ВМГ и ММГ используются преимущественно местные грунты или привозные несвязные песчаные и крупнообломочные грунты. При сохранении под насыпью моховорастительного слоя нижний слой толщиной 0,3-0,5м устраивается из крупнообломочных грунтов с камнями крупностью не более 10см. переувлажненные глинистые грунты используются только в средней части насыпи при хорошем качестве уплотнения. Верхняя часть насыпей не менее чем на 0,5м отсыпается из дренирующих грунтов (непылеватые пески, щебень, гравий) (рис. 13.1.5).

При обосновании необходимой высоты насыпи учитывается необходимость обеспечения заданного температурного режима ВМГ и ММГ. Необходимая высота насыпи определяется равной толщине деятельного слоя с учетом ряда поправок, характеризующих условия оттаивания.

Для уменьшения высоты насыпи в теле насыпи или ее основании предусматриваются теплоизолирующие прослойки. Естественные теплоизолирующие прослойки (торф, мох, древесная щепка) эффективны лишь в сухом состоянии. Насыщение их водой сильно повышает их теплопроводность, поэтому требуются дополнительные меры защиты от грунтовых и поверхностных вод. Искусственные теплоизоляционные материалы – пористые материалы (пенопласт, полиуретан, полистирол) при небольшой толщине (5-10см), уложенные в нижней части земляного полотна, способны сократить в 1,5 – 2 раза глубину сезонного оттаивания (толщину деятельного слоя) и, как следствие, высоту проектируемой насыпи.

При проектировании дорог с частичным оттаиванием основания при определении необходимой высоты насыпи учитывают уплотнение оттаявшего грунта под весом насыпи и действия транспортной нагрузки, а также зимнее вспучивание и последующую осадку, нарушающую ровность покрытия и приводящую к его разрушению.

Насыпи на косогорных участках со стороны низовых откосов защищают от протаивания путем устройства теплоизоляционных присыпок. Вместо нагорных канав с верховой стороны устраиваются нагорные валики, вдоль которых вода отводится в пониженные места.

В случае вынужденного устройства выемок в районах с ВМГ и ММГ с благоприятными грунтово-гидрологическими условиями им придают пологие откосы и защищают теплоизолирующими слоями (рис. 13.1.6).

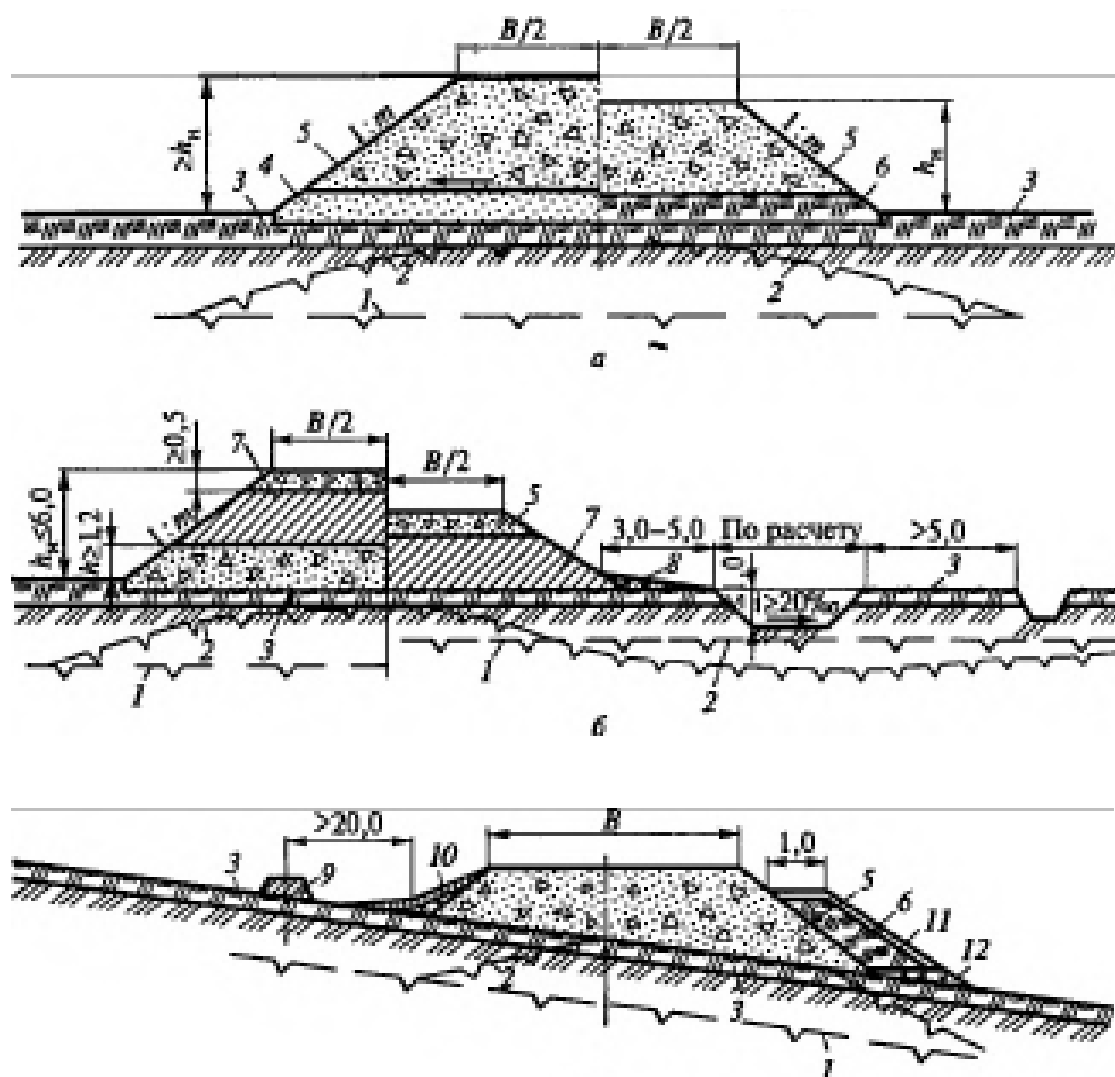


Рис. 13.1.5. Поперечные профили насыпей на ВМГ и ММГ:

а — из дренирующих грунтов на льдонасыщенном основании с устройством защитного дренирующего слоя из песка или мелкого гравия либо теплоизолирующего 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 постройки насыпи; 3 — моховой покров; 4 — защитный слой из мелкого дренирующего грунта; 5 — песчано-гравийный грунт; 6 — теплоизоляционный моховой слой; 7 — глинистый грунт; 8 — берма; 9 — нагорный валик; 10 — укрепление мощением; 11 — защитный слой растительного грунта толщиной 15 см; 12 — дренирующая присыпка

Пылеватые пучинистые грунты в основаниях заменяют дренирующими и обеспечивают отвод воды из выемок и дренирующих слоев.

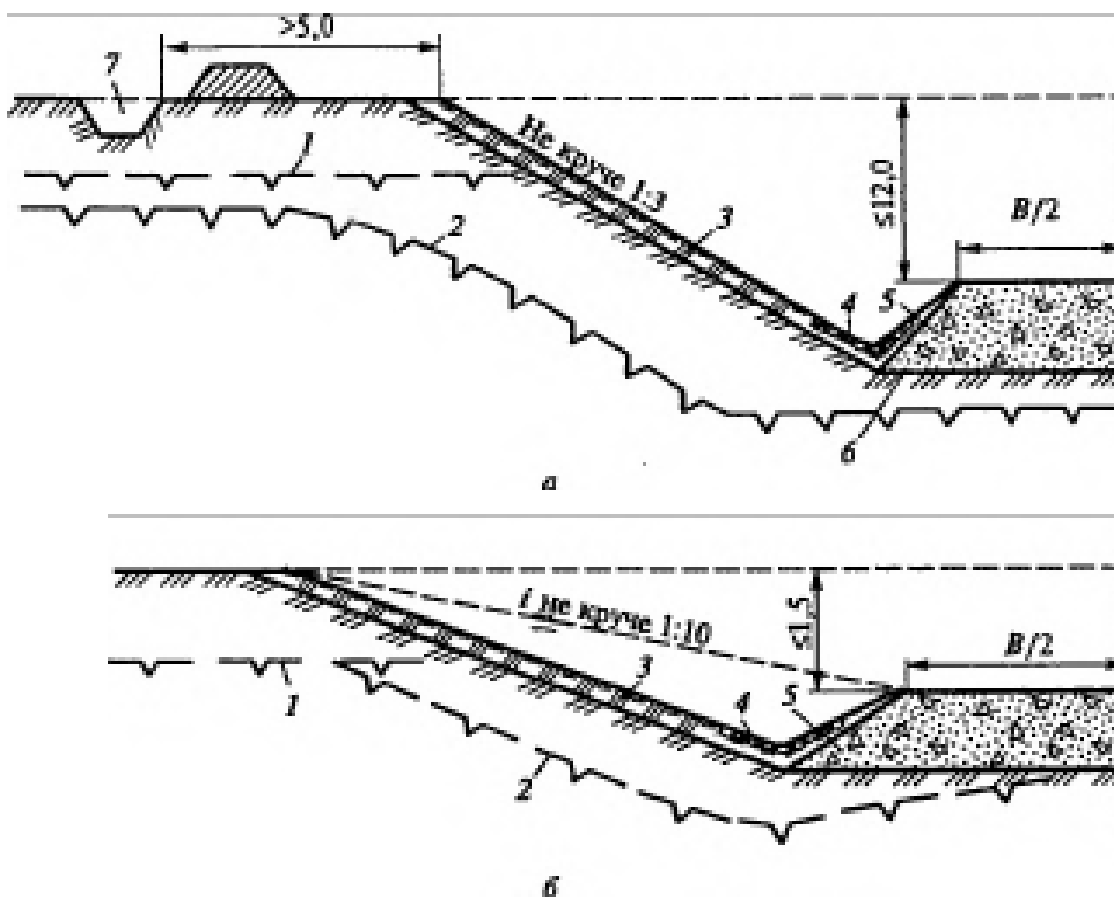


Рис. 13.1.6. Поперечные профили выемок в слабольдонасыщенных грунтах
 а — глубокая выемка; б — мелкая выемка; 1 — верхний уровень вечномёрзлых грунтов до устройства выемки; 2 — то же, после устройства выемки; 3 — теплоизоляционный слой; 4 — укрепление мощением; 5 — песчано-гравийный грунт; 6 — глинистый грунт; 7 — нагорная водоотводная канава

13.2.1. Проектирование дорог в зоне подвижных песков, в зоне оврагов, карста.

Подвижные пески.

К территориям подвижных песков относят местность, на которой имеют место следующие особенности:

- повсеместное распространение мелких однородных песков;
- безводность;
- активность ветрового режима;
- подвижность форм песчаного рельефа;
- активность перемещения ветропесчаных потоков.

Согласно ГОСТ 25100 и ГОСТ 33063 следует разделять виды подвижных песков:

- очень подвижные;

- подвижные;
- малоподвижные;
- неподвижные.

В движении песков необходимо различать следующие режимы:

- поступательное движение с господством ветра в одном направлении в течение года;
- колебательное движение с примерно уравновешенным влиянием летних и зимних ветров;
- поступательно-колебательное движение при неуравновешенном влиянии летних и зимних ветров с преобладанием одного направления над другим.

Проектирование автомобильных дорог в условиях подвижных песков должно включать:

- оценку пригодности условий района строительства и обоснование трассы с позиции угрозы песчаных заносов;
- обеспечение условий, облегчающих перенос леска через дорогу в виде ветропесчаного потока и применение активных методов борьбы с песчаными заносами в полосе отвода автомобильной дороги;
- закрепление пересекаемых дорогой, а также близко расположенных к ней участков с подвижными формами рельефа.

При проложении трассы и проектировании земляного полотна в условиях подвижных песков следует исходить из того, что необходимо максимально сохранить естественный рельеф местности и существующий растительный покров.

При трассировании в условиях распространения подвижных песков необходимо соблюдать следующие общие принципы:

- размещать трассу преимущественно на участках неподвижных или малоподвижных песков;
- выбирать участки с наименьшими колебаниями высот подвижных форм рельефа и наименьшей протяженностью в случае, если их пересечение неизбежно;
- прокладывать трассу, стремясь «вписать» ее в существующий рельеф без нарушения условий его развития.

Земляное полотно в подвижных песках следует проектировать преимущественно в виде насыпей с учетом форм рельефа. Устройство выемок целесообразно избегать.

Для принятия рациональных проектных решений следует анализировать:

- а) годовой ход активных ветров и движение песков;
- б) глубину залегания и минерализацию грунтовых вод;
- в) засоленность песков и ее источник;
- г) мощность слоя песков в понижениях, водопроницаемость и засоленность подстилающих грунтов;
- д) распространение и ориентировку барханных форм рельефа;
- е) естественную влажность песков, наличие горизонта подвешенной воды;
- ж) сроки, способы, результаты и т. п. ранее проведенных работ по закреплению песков в данном районе;
- и) наличие растительности и условия ее существования:
 - 1) видовой и возрастной состав;
 - 2) густоту и приуроченность к элементам рельефа травянистой растительности и кустарников.

При трассировании в песках, рельеф которых сформирован одиночными и групповыми барханами, необходимо учитывать размеры как всего массива этих песков, так и отдельных барханов:

- при небольшой ширине пересекаемого массива положение трассы следует назначать с таким расчетом, чтобы соседние участки оказались в наиболее благоприятных условиях (такыры, закрепленные растительностью, межбарханные понижения и т. п.);
- обширные массивы подвижных песков следует пересекать таким образом, чтобы основная часть их оказалась с подветренной стороны дороги;
- при прочих одинаковых условиях трассу дороги следует прокладывать по участкам распространения мелких барханов.
- При трассировании вдоль барханных цепей выбор положения трассы должен учитывать характер движения песков:
- при поступательно-колебательном движении необходимо преимущественно использовать в качестве насыпи одну из наиболее прямолинейных цепей, предусмотрев закрепление растительностью как этой цепи, так и двух-трех соседних со стороны преобладающего ветра;
- при колебательном движении земляное полотно следует располагать в середине межбарханного понижения, ограничиваясь закреплением соседних цепей (по одной с каждой стороны).

В условиях грядового рельефа трассу следует прокладывать по межгрядовым понижениям, не приближая ее к подножьям крутых склонов. Не следует располагать трассу на вершинах гряд и верхних частях пологих склонов.

В условиях неподвижных и малоподвижных песков трассу следует прокладывать с учетом степени зарастания рельефа:

- в равнинных, кучевых, бугристых, лунковых и грядово-ячеистых песках — по кратчайшему расстоянию;
- в условиях грядового рельефа — преимущественно по межгрядовым понижениям.

Необходимо увязывать трассу с рельефом местности таким образом, чтобы дорога была проложена преимущественно с нулевыми рабочими отметками и минимальной протяженностью участков насыпи.

При разработке конструктивных особенностей земляного полотна следует предусматривать:

- а) закрепление земляного полотна, прилегающих территорий и подвижных форм рельефа приспособленной растительностью;
- б) устройство сплошных, решетчатых и отражающих щитов;
- в) спланированные придорожные полосы;
- г) закрепление придорожных полос системами многорядной защиты;
- д) придание обтекаемых форм поперечному профилю земляного полотна:

- плавное сопряжение земляного полотна с откосами;
- пологие откосы;
- скругленные бровки;
- обочины минимально допустимого уклона;

е) применение щитовых систем защиты, учитывающих изменение направления господствующих ветров;

- ж) предохранение земляного полотна от ветровой и водной эрозии;
- и) сохранение существующей растительности.

Закрепление подвижных грунтов растительностью должно являться основным мероприятием. Другие мероприятия должны быть направлены на обеспечение незаносимости автомобильной дороги песком до момента полного закрепления подвижных участков растительностью.

Закреплению растительностью должны подлежать:

- барханные и слабозаросшие пески;
- очаги дефляции (котловины выдувания) в полузаросших и заросших лесках.

- Закрепление песков растительностью следует осуществлять:
- по обе стороны дороги, если ее ось ориентирована в направлении движения песков:
- преимущественно с наветренной стороны дороги, если движение песков осуществляется поперек ее.

Засоленные грунты.

По степени засоления согласно ГОСТ 25100 и ГОСТ 33063 грунты, используемые в качестве материала земляного полотна и его основания, следует различать на:

- незасоленные.
- слабозасоленные:
- средnezасоленные;
- сильнозасоленные;
- избыточно засоленные.

Проектировать автомобильные дороги на засоленных грунтах следует преимущественно на насыпях.

Следует предусматривать мероприятия, не допускающие повышение степени засоления грунта земляного полотна и основания в течение жизненного цикла дороги по отношению к первоначальному их состоянию.

Возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод или поверхностных вод при слабо- и средnezасоленных грунтах следует увеличивать против нормативного с учетом вида и степени засоления грунтов.

При проектировании дороги в насыпи, если основание земляного полотна является сухим или осушаемым, допускается использовать слабозасоленные и средnezасоленные грунты в качестве материалов земляного полотна или его основания, как в нормативных условиях. При этом может быть использован грунт из резервов, притрассовых карьеров, ближайших выемок или отходы производства.

Применение сильнозасоленных грунтов в качестве материалов земляного полотна или основания, а при устройстве высоких насыпей и использовании слабо- и средnezасоленных грунтов следует обосновывать расчетами устойчивости земляного полотна и прочности основания.

На участках с сухим или осушаемым основанием и глубоким залеганием грунтовых вод сильнозасоленные грунты допускается использовать в качестве материала земляного полотна при применении мер, направленных на предохранение верхней части земляного полотна от большего засоления (гидрофобизация грунтов, капилляроррывающие и гидроизолирующие слои и др.).

На избыточно засоленных грунтах для предотвращения нарушения устойчи-

чивости земляного полотна от процессов суффозии следует предусматривать указанные мероприятия:

- а) водозащитные:
 - 1) понижение уровня грунтовых вод;
 - 2) устройство противодиффузионных завес.
- б) конструктивные;
- в) замену засоленных грунтов;
- г) закрепление, уплотнение или нейтрализацию грунтов;
- д) предварительное рассоление грунтов.

Понижение уровня грунтовых вод следует предусматривать на мокрых и сырых участках путем устройства дренажных и водоотводных систем.

В качестве конструктивных мероприятий следует предусматривать оптимизацию рабочих отметок, устройство капиллярпрерывающих и гидроизолирующих слоев, прорезку толщи засоленных грунтов фундаментами дорожных сооружений, устройство притрассовых резервов, укладку геотекстильных материалов в основании земляного полотна и др.

Замену избыточно ил и сильно засоленных грунтов необходимо осуществлять кондиционными грунтами. На участках мокрых солончаков, в пределах которых в течение всего года сохраняется высокий уровень грунтовых вод, насыпи следует проектировать из привозных, преимущественно песчаных грунтов или супесей.

При необходимости закрепления грунтов, как правило, следует применять геосинтетические материалы, а также инъекционные методы.

Снижение растворяющей способности подземных вод следует осуществлять путем искусственного еодонасыщения фильтрационного потока солями.

Просадочные грунты.

К просадочным фундаментам относят лессы, лессовидные, глинистые грунты, мелкие и пылеватые пески.

Устранение просадочных свойств грунтов основания следует достигать:

- заменой фундамента;
- разрушением природной структуры и уплотнением грунта;
- химическим или термическим закреплением грунта;
- глубинным уплотнением грунтовыми сваями;
- предварительным замачиванием грунтов основания.

Переувлажненное основание насыпи должно быть осушено либо нижний

слой насыпи должен быть отсыпан из дренирующего грунта. На просадочных фундаментах следует избегать проектирования подтопляемых насыпей.

Для возведения насыпей просадочные грунты следует использовать при условии разрушения их природной структуры, раздробления комков и тщательного послойного уплотнения грунта.

В сухих просадочных грунтах выемки следует проектировать аналогично нормативным условиям.

Крутизну откосов насыпей из просадочных грунтов следует назначать, руководствуясь общими принципами проектирования равноустойчивых откосов, с учетом физико-механических свойств просадочных грунтов.

Поверхности откосов земляного полотна, закуветных полок, канав и фундамента в пределах полосы отвода необходимо тщательно защищать от размыва и инфильтрации воды в грунт. При косогоркости и возможности фильтрации воды к откосу выемки из фундамента за пределами защищенной зоны эту воду необходимо перехватывать дренажами.

Следует предусматривать такое размещение водопропускных и водоотводных сооружений, при котором основание земляного полотна и прилегающая местность не будут подвергаться длительному увлажнению.

Если предусмотрено пересечение дорогой действующего водотока, необходимо сохранять его русло.

Вместо канав целесообразно проектировать водоотводные валики. При необходимости проектирования канав следует предусматривать вдавливание грунта.

Опасные геологические и гидрогеологические процессы.

К опасным геологическим и гидрогеологическим процессам, оказывающим влияние на автомобильные дороги, следует относить:

- склоновые процессы;
- карсты;
- развитие оврагов;

К опасным склоновым процессам относят обвалы, оползни, лавины, осыпи, сели.

Устойчивые горные склоны крутизной более 1:3 следует приравнять к склонам с опасными склоновыми процессами и при размещении на них конструкции земляного полотна необходимо обосновывать соответствующими расчетами с учетом устойчивости склона как в природном состоянии, так и после сооружения дороги.

В необходимых случаях следует предусматривать комплексные мероприятия, обеспечивающие устойчивость земляного полотна и склона.

Оползни и обвалы

На оползнеопасных территориях и территориях, подверженных образованию обвалов, следует:

- учитывать границы оползнеопасных и обвалоопасных территорий;
- осуществлять выбор проложения трассы с учетом минимизации негативного воздействия опасных склоновых процессов. Трассу следует размещать преимущественно в верхней части оползневого склона, если земляное полотно проектируется выемкой, и в нижней части, если земляное полотно проектируется насыпью;
- выполнять расчеты оползневой устойчивости склонов с учетом дополнительной нагрузки от автомобильной дороги и транспортных средств;
- избегать проектных решений, обуславливающих подрезку склонов;
- ограничивать проведение буровзрывных работ;
- применять преимущественно дренирующие материалы для возведения земляного полотна.

Следует предусматривать мероприятия, обеспечивающие поверхностный водоотвод с верховой стороны на потенциально опасных территориях, предотвращение инфильтрации воды, застаивание вод на бессточных участках, попадание на склон вод с присклоновой территории и искусственное понижение уровня грунтовых вод.

При наличии подземных вод следует предусматривать гидроизоляцию по верховой грани подпорных стен и устройство застенного дренажа с выводом вод за пределы подпираемого грунтового массива.

В основании амортизирующей грунтовой отсыпки противообвальных галерей необходимо укладывать гидроизоляцию, а также предусматривать отвод с кровли галерей поверхностных вод.

Для отвода подземных вод, поступающих к галерее с верховой стороны, требуется устраивать продольный застенный дренаж.

На оползнеопасных и обвалоопасных территориях необходимо предусматривать мероприятия и сооружения, направленные на предотвращение и стабилизацию опасных склоновых процессов;

- изменение рельефа склона в целях повышения его устойчивости;
- регулирование стока поверхностных и подземных вод;
- предотвращение эрозионных процессов;

- агролесомелиорация;
- закрепление грунтов (в том числе армированием);
- устройство удерживающих сооружений;
- прочие мероприятия (регулирование тепловых процессов с помощью теплозащитных устройств и покрытий, защита от вредного влияния процессов промерзания и оттаивания. установление охранных зон и т. д.).

Если применение мероприятий и сооружений активной защиты полностью не исключает возможность образования оползней и обвалов, а также в случае технической невозможности или нецелесообразности активной защиты следует, как правило, предусматривать мероприятия пассивной защиты.

При выборе защитных мероприятий и сооружений и их комплексов следует учитывать виды возможных деформаций склона (откоса), уровень ответственности защищаемых объектов, их конструктивные и эксплуатационные особенности.

Виды противооползневых и противообвальных сооружений и мероприятий следует выбирать на основании расчетов общей и местной устойчивости склонов (откосов).

Для сейсмических районов следует учитывать сейсмическое воздействие на сооружения инженерной защиты и на удерживаемый массив грунта.

Искусственное изменение рельефа склона (откоса) следует предусматривать для предупреждения и стабилизации процессов сдвига, скольжения, выдавливания, обвалов, осыпей и течения грунтов.

Образование устойчивого профиля склона (откоса) достигается приданием ему соответствующей крутизны и террасированием склона (откоса), удалением или заменой неустойчивых фунтов, отсыпкой в нижней части склона упорной призмы (контрбанкета).

Удерживающие сооружения следует предусматривать для предотвращения оползневых и обвальных процессов при невозможности или экономической нецелесообразности изменения рельефа склона (откоса) с учетом его инженерно-геологического строения.

Удерживающие сооружения должны применяться следующих видов:

- подпорные стены (на естественном или свайном основании);
- свайные конструкции и столбы;
- анкерные крепления;
- поддерживающие стены;
- контрфорсы;
- опояски (упорные пояса);

- облицовочные стены;
- пломбы;
- покровные сетки в сочетании с анкерными креплениями.

Улавливающие сооружения и устройства (стены, сетки, валы, траншеи, полки с бордюрными стенами, надолбы) следует предусматривать для защиты от воздействия вывалов, падения отдельных скальных обломков, а также обвалов, если устройство удерживающих сооружений или предупреждение обвалов, вывалов и камнепада путем удаления неустойчивых массивов невозможно или экономически нецелесообразно.

Размеры улавливающих сооружений и устройств следует назначать по расчетам на прочность и устойчивость, а также из условия исключения возможности перелета, выскакивания и выкатывания скальных обломков, падающих со склона (откоса).

Противообвальные галереи необходимо размещать на обвальных участках автомобильных и пешеходных дорог для защиты от падающих обломков и глыб и рассчитывать на нагрузки и воздействия.

На кровле противообвальных галерей необходимо устраивать амортизирующую фунтовую отсыпку.

Мероприятия по агролесомелиорации следует предусматривать путем укрепления грунта корневой системой, осушения фунта, предотвращения эрозии, уменьшения инфильтрации в грунт поверхностных вод, снижения воздействия выветривания.

Для обеспечения устойчивости склонов (откосов) в слабых и трещиноватых грунтах допускается применять цементацию, смолизацию, силикатизацию, электрохимическое и термическое закрепление грунтов.

Для защиты обнаженных склонов (откосов) от выветривания, образования вывалов и осыпей допускается применять защитные покрытия из торкретбетона, наносимые на предварительно навешенную и укрепленную анкерами сетку.

Для уменьшения высоты насыпи в теле насыпи или ее основании предусматриваются теплоизолирующие прослойки. Естественные теплоизолирующие прослойки (торф, мох, древесная щепа) эффективны лишь в сухом состоянии. Насыщение их водой сильно повышает их теплопроводность, поэтому требуются дополнительные меры защиты от грунтовых и поверхностных вод. Искусственные теплоизоляционные материалы – пористые материалы (пенопласт, полиуретан, полистирол) при небольшой толщине (5-10 см), уложенные в нижней части земляного полотна, способны сократить в 1,5 – 2 раза глубину сезонного оттаивания (толщину деятельного слоя) и, как следствие, высоту проектируемой насыпи.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Примерный перечень тем практических занятий

Основы проектирования дорог (5 семестр обучения):

1. Установление категории автомобильной дороги. Назначение элементов дорожного полотна.
2. Назначение параметров трассы автомобильной дороги.
3. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса. Проектирование поперечного профиля закругления.
4. Проектирование отгона виража на автомобильной дороге с двухполосной проезжей.
5. Проектирование отгона виража на дорогах I категории.
6. Проектирование плана трассы автомобильной дороги. Составление чертежа «План дороги». Определение глобальных координат основных точек закругления.
7. Продольный профиль автомобильной дороги. Построение черного профиля. Назначение контрольных и руководящих рабочих отметок. Обоснование параметров продольного профиля трассы дороги. Составление чертежа «Продольный профиль дороги».
8. Проектирование кюветов. Нанесение геологического профиля.
9. Земляное полотно и общие требования к нему. Типовые поперечные профили насыпей Типовые поперечные профили выемок. Расчет объемов работ.

Проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог (7 семестр обучения):

1. Подготовка материала для проектирования транспортной развязки.
2. Дорожное полотно пересекающихся дорог и соединительных ответвлений. Обоснование необходимости сквозного распределительного проезда.
3. Определение длины балочного путепровода. Определение длины среднего пролета. Определение длины путепровода.
4. Проектирование продольного профиля пересекающихся дорог. Проектирование продольного профиля дороги нижнего уровня. Проектирование продольного профиля дороги верхнего уровня.
5. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений (ЛПО). Проектирование плана трассы ЛПО по типу 1 (2). Определение положения начала и конца плана трассы ЛПО по типу 1 (2). Дорожное полотно левоповоротных соединительных ответвлений (ЛПО). Определение длины полос торможения и разгона. Схемы сопряжения ЛПО, ПСП и участков переплетения потоков.
6. Проектирование продольного профиля ЛПО. Определение отметок и уклонов продольного профиля в контрольных точках.

7. Проектирование плана трассы правоповоротных соединительных ответвлений (ППО). Определение положение оси ППО на биссектрисе угла пересечения дорог. Проверка возможности разбивки ППО. Определение пикетного положения основных точек плана трассы ППО. Дорожное полотно правоповоротных соединительных ответвлений (ППО). Определение длины полос торможения и разгона. Схемы сопряжения ППО и ПСП. Дорожное полотно на сопряжении ППО и ПСП

8. Проектирование продольного профиля ППО. Определение отметок и уклонов продольного профиля в контрольных точках. Проектирование продольного профиля ППО в увязке с продольным профилем ЛПО на участке совмещенной проезжей части.

9. Проектирование сквозного распределительного проезда (СРП). Проектирование плана трассы начального (концевого) участка СРП. Определение длины полос торможения и разгона.

Перечень тем лабораторных занятий

Проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог (7 семестр обучения):

1. Проектирование канализированных пересечений и примыканий.
2. Проектирование кольцевого пересечения.
3. Проектирование транспортной развязки «Неполный клеверный лист».
4. Проектирование транспортной развязки типа «Ромб».
5. Проектирование транспортной развязки по типу «Труба».

Проектирование дорог в сложных природных условиях (8 семестр обучения):

1. Расчет осадки земляного полотна.
2. Статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна.
3. Динамический расчет земляного полотна.
4. Расчет устойчивости слабого основания дорожной насыпи.
5. Прогноз осадки во времени.
6. Расчет временной пригрузки.
7. Ускорение осадки путем частичного выторфовывания и путем устройства вертикальных дрен и дренажных прорезей.

Перечень тем курсовых проектов

1. Основы проектирования участка автомобильной дороги (5 семестр).
2. Проект транспортной развязки (7 семестр).

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Перечень вопросов, выносимых на экзамен по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен для студентов 3 курса по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» 5 семестр обучения

1. Общие сведения об автомобильных дорогах. Определение термина «автомобильная дорога» по закону Республики Беларусь об автомобильных дорогах.
2. Состав автомобильной дороги.
3. Полоса отвода. Придорожные полосы.
4. Классификация автомобильных дорог по функциональному назначению.
5. Классы и категории автомобильных дорог.
6. Перечень важнейших республиканских автомобильных дорог.
7. Транспортные коридоры, проходящие по территории Республики Беларусь.
8. Основные элементы дорожного полотна и их численное значение по категориям автомобильных дорог.
9. Состав транспортного потока на автомобильных дорогах и допускаемые параметры транспортных средств. Основные характеристики движения транспортных потоков.
10. Интенсивность движения и пределы интенсивности движения по категориям автомобильных дорог.
11. Скорость движения. Расчетная скорость движения по категориям автомобильных дорог.
12. Пропускная способность и её разновидности.
13. Коэффициент загрузки автомобильной дороги и его экономически целесообразная величина.
14. Сопротивления движению автомобиля.
15. Критерии возможности движения автомобиля.
16. Требования к видимости на автомобильных дорогах.
Расстояние видимости для остановки, по условию обгона. Боковая видимость.
17. Обоснование параметров вертикальных кривых.
18. Обоснование ширины проезжей части.
19. Уширение проезжей части на кривых.
20. Особенности движения автомобиля по криволинейному участку плана автомобильной дороги.
21. Обоснование радиусов горизонтальных кривых.
22. Переходные кривые, назначения. Уравнения клотоиды.
23. Общие положения по проектированию трассы автомобильной дороги. Технические требования к трассе автомобильной дороги. Экономические требования. Экологические требования. Эстетические требования.
24. Проектирование закругления по круговым и переходным кривым.

- Проектирование закругления по круговой кривой.
25. Проектирование закругления с симметричными переходными кривыми.
 26. Проектирование плана трассы в локальных системах координат.
 27. Определение глобальных координат начала и конца отрезков ломаной трассы автомобильной дороги.
 28. Определение углов поворота ломаной трассы автомобильной дороги.
 29. Определение радиусов горизонтальных кривых плана трассы.
 30. Проверка достаточности длин отрезков ломаной трассы для размещения соседних закруглений.
 31. Составление ведомости углов поворота, кривых и прямых. Проверка ведомости.
 32. Продольный профиль автомобильной дороги. Продольный профиль трассы автомобильной дороги. Различия их. Элементы продольного профиля автомобильной дороги и элементы продольного профиля трассы автомобильной дороги.
 33. Общие правила проектирования продольного профиля трассы автомобильной дороги.
 34. Типы местности по степени увлажнения.
 35. Определение руководящих рабочих отметок по типам местности. Определение контрольных отметок продольного профиля на водопропускных трубах.
 36. Проложение ломаного продольного профиля трассы автомобильной дороги. Определение длины и продольных уклонов отрезков продольного профиля. Проверка.
 37. Вертикальные кривые. Определение их параметров (длина кривой, тангенс кривой), определение пикетного положения и отметок пикетного положения начала и конца кривой, вершины кривой и промежуточных точек.
 38. Назначение радиуса вертикальных кривых с учетом категории автомобильной дороги и рельефа местности.
 39. Определение пикетного положения и высотных отметок начала и конца вертикальных кривых, составление ведомостей продольного профиля трассы. Проверка их.
 40. Проектирование кюветов.
 41. Проектирование поперечного профиля дорожного полотна. Двухскатный поперечный профиль дорожного полотна. Виражи.
 42. Проектирование отгона виража на двухполосных дорогах. Особенности проектирования отгона виража на многополосных дорогах.
 43. Земляное полотно и общие требования к нему. Деформации земляного полотна.
 44. Типовые поперечные профили насыпей.
 45. Типовые поперечные профили выемок.
 46. Водно-тепловой режим земляного полотна.
 47. Зимнее перераспределение влаги в рабочем слое. Условия образования пучин.
 48. Регулирование водно-теплового режима рабочего слоя земляного полотна.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен для студентов 4 курса по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» 7 семестр обучения

1. Основные требования при проектировании узлов автомобильных дорог.
2. Схемы пересечений и примыканий, автомобильных дорог
3. Общие требования к проектированию пересечений и примыканий в одном уровне.
4. Обеспечение видимости пересечений. Обеспечение обзорности пересечений. Понятность пересечений (примыканий) дороги.
5. Продольный профиль пересекающихся дорог. Поперечный профиль второстепенной дороги.
6. Проектирование простого пересечения. Сопряжение кромок проезжей части по круговым кривым, по круговым с переходными кривыми.
7. Проектирование простого пересечения. Сопряжения кромок проезжей части по коробовым кривым.
8. Проектирование отгона поперечного профиля второстепенной дороги.
9. Назначение длины отгона поперечного профиля.
10. Проектирование канализированных пересечений и примыканий.
11. Дополнительные полосы на канализированных пересечениях и примыканиях.
12. Проектирование каплевидных направляющих островков.
13. Проектирование каплевидных направляющих островков КНО1.
14. Проектирование каплевидных направляющих островков КНО2.
15. Проектирование островка накопительной полосы.
16. Проектирование треугольных направляющих островков.
17. Проектирование кольцевых пересечений (примыканий) в одном уровне.
18. Общие сведения. Классификация кольцевых пересечений.
19. Центральный островок, проезжая часть кольцевого пересечения.
20. Въезды, выезды кольцевого пересечения.
21. Проектирование плана кольцевого пересечения автомобильных дорог.
22. Транспортные развязки. Элементы транспортных развязок.
23. Классификация и область применения транспортных развязок.
24. Основные схемы полных простых транспортных развязок для четырех направлений.
25. Полные улучшенные двухуровневые транспортные развязки для четырех направлений.
26. Многоуровневые транспортные развязки.
27. Схемы транспортных развязок для трех направлений.
28. Неполные транспортные развязки. Неполный клеверный лист.
29. Неполные транспортные развязки. Неполная транспортная развязка типа «ромб».

30. Проектирование транспортной развязки «клеверный лист».
31. Элементы транспортной развязки «клеверный лист». Дорожное полотно пересекающихся дорог. Сквозной распределительный проезд.
32. Дорожное полотно соединительных ответвлений (съездов развязок).
33. Общие сведения о путепроводах.
34. Определение длины балочного путепровода на транспортной развязке «Клеверный лист». Определение длины среднего пролета путепровода.
35. Проектирование продольного профиля пересекающихся дорог. Руководящие рабочие отметки.
36. Проектирование продольного профиля нижней дороги.
37. Проектирование продольного профиля верхней дороги. Проектирование ломаного продольного профиля на подходах к путепроводу.
38. Определение отметок промежуточных точек продольного профиля.
39. Проектирование плана трассы левоповоротных соединительных ответвлений.
40. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 1.
41. Проектирование плана трассы ЛПО по типу 2.
42. Проектирование плана трассы ЛПО по условию расположения путепровода вне ЛПО.
43. Проектирование плана трассы ЛПО по условию обеспечения требуемой длины полосы переплетения.
44. Проектирование правоповоротных соединительных ответвлений.
45. Проектирование плана правоповоротных соединительных ответвлений.
46. Проектирование продольного и поперечного профилей правоповоротных соединительных ответвлений.
47. Разбивка правоповоротных соединительных ответвлений.

Перечень вопросов, выносимых на зачет для студентов 4 курса
по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог»
специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» **8 семестр обучения**

1. В каких случаях применяются индивидуальные решения для проектирования земляного полотна насыпей.
2. В каких случаях применяются индивидуальные решения для проектирования земляного полотна выемок.
3. Какие виды грунтов относятся к категории «слабые грунты».
4. Принципы принятия проектного решения при возведении насыпи на слабом основании.
5. Какие параметры учитываются при принятии принципа и конкретного проектного решения по возведению земляного полотна на слабом основании.

6. Требование устойчивости для насыпи на слабом основании.
7. Требование стабильности для насыпи на слабом основании.
8. Требование прочности для насыпи на слабом основании.
9. От чего зависит минимальная толщина насыпного слоя насыпей, сооружаемых на слабом основании.
10. Какие работы проводятся при изыскании автомобильных дорог на слабом основании.
11. Какие данные получают в результате проведения инженерно-геологического обследования и камеральной обработки информации.
12. Какие данные необходимы при составлении технико-экономических расчетов при возведении земляного полотна на слабом основании.
13. Какие данные необходимы для разработки проектной документации при возведении земляного полотна на слабом основании.
14. Классификация слабых грунтов.
15. Классификация биогенных грунтов.
16. Физико-механические характеристики болотных грунтов.
17. Физико-механические характеристики переувлажненных глинистых грунтов.
18. Критерии выделения расчетных участков и расчетных слоев слабого основания.
19. Надежность (доверительная вероятность) при определении расчетных показателей характеристик слабых грунтов.
20. Назначение расчетных поперечников для проведения геотехнических расчетов.
21. Как оценивается возможность использования болотной залежи в качестве основания насыпи.
22. Типы слабого основания по устойчивости.
23. Чем характеризуется строительный тип болотного грунта.
24. Чем характеризуется величина полной осадки (погружения) насыпи в болотную залежь.
25. От чего зависит величина осадки отдавливаемых слоев слабого грунта.
26. От чего зависит величина осадки сжимающихся слоев слабого грунта.
27. Критерий статической прочности дорожной одежды и земляного полотна, возводимого на слабом основании.
28. Мероприятия, применяемые для обеспечения статической прочности.
29. Критерий динамической устойчивости земляного полотна на слабом основании.
30. Мероприятия, повышающие устойчивость земляного полотна на торфяном основании.
31. Прогноз осадки насыпи во времени.
32. Определение необходимого времени осадки насыпи для достижения требуемой степени консолидации слабого основания.
33. График режима возведения насыпи во времени.
34. Мероприятия, назначаемые для ускорения осадки насыпи на слабом основании.

35. Технологические схемы временной пригрузки насыпи.
36. Выторфовывание (полное, частичное).
37. Устройство вертикальных дренажей и дренажных прорезей.
38. Использование геосинтетических материалов при возведении насыпи на слабом основании.
39. Конструкции насыпи на слабом основании с полным выторфовыванием с погружением на минеральное дно.
40. Конструкция насыпи на слабом основании с частичным выторфовыванием.
41. Конструкция насыпи на слабом основании с дренажными прорезями.
42. Конструкция насыпи на слабом основании с вертикальными дренажами.
43. Конструкция насыпи на болотах со значительным уклоном минерального дна (более 1:10).
44. Конструкция насыпи на слабом основании с использованием геосинтетических материалов.
45. Особенности проектирования и строительства дорог в зоне распространения вечной мерзлоты.
46. Дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты (на примере РФ).
47. Характеристика типов местности по увлажнению в районах распространения ВМГ и ММГ.
48. Особенности изыскания автомобильных дорог в зоне распространения вечной мерзлоты.
49. Правила трассирования автомобильных дорог в районах распространения ВМГ и ММГ.
50. Принципы проектирования и строительства дорог в зоне распространения ВМГ и ММГ.
51. Конструктивные решения земляного полотна дорог в районах вечной мерзлоты.
52. Отличительные особенности горного рельефа, учитываемые при проектировании автомобильных дорог.
53. Проложение долинного хода при проектировании плана трассы автомобильной дороги в горной местности.
54. Учет гидрологических условий горной местности при проектировании плана трассы автомобильной дороги.
55. Способы укрепления берегов русел горных рек.
56. Перевальные участки автомобильных дорог, проектируемые в горной местности.
57. Основные элементы плана трассы серпантинной.
58. Поперечные профили горных дорог.
59. Продольные профили горных дорог.
60. Проектирование оптимального земляного полотна на косогорах.
61. Тоннели в горной местности.
62. Трассирование горных дорог по участкам осыпей и камнепадов.
63. Проектирование дорог на оползневых склонах.

64. Пересечение селевых конусов выноса.
65. Защита дорог от снежных лавин.
66. Проектирование дорог в сейсмоопасных районах горной местности.
67. Особенности проектирования дорог в закарстованных районах.
68. Особенности проектирования дорог в районах склоновой эрозии и оврагообразования.
69. Особенности проектирования дорог в пустынных районах.
70. Особенности проектирования дорог на участках засоленных грунтов.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Основная литература.

1. Автомобильные дороги. СН 3.03.04 – 2019. – Минск, 2020.
2. Автомобильные дороги. Примыкания и пересечения. Правила проектирования: ТКП 509-2014 (02190). – Минск, 2014.
3. Яцевич, И. К. Основы проектирования автомобильных дорог учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 "Автомобильные дороги" / И. К. Яцевич, Е. И. Кононова; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Проектирование дорог". – Минск: БНТУ, 2016.
4. Яцевич, И. К. Транспортные развязки. Основы проектирования [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 "Автомобильные дороги" / И. К. Яцевич, Е. И. Кононова Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Автомобильные дороги". – Минск: БНТУ, 2019.
5. Проект транспортной развязки (по типу "Полный клеверный лист"): методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине "Проектирование автомобильных дорог" для специальности 1-70 03 01 "Автомобильные дороги" / сост. И. К. Яцевич, Е. И. Кононова. - Минск: БНТУ, 2010.
6. Проектирование земляного полотна автомобильной дороги на слабом основании [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Изыскания и проектирование автомобильных дорог" для студентов специальности 1-70 03 01 "Автомобильные дороги" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Автомобильные дороги" ; сост.: Н. И. Шишко, Р. К. Гатальский. – Минск : БНТУ, 2019.

Дополнительная литература.

1. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования: ТКП 200–2018(02191). – Минск, 2018.
2. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях: ГОСТ 33149-2014. – Москва, 2014.
3. СН 3.03.04-2019 Автомобильные дороги [Электронный ресурс]. – Введ. 21.09.2020 // Режим доступа : <https://ips3.belgiss.by/TnpaDetail.php?UrlId=625183>. – Дата доступа : 01.09.2020.