

В.В. ЛУКША, П.В. ШВЕДОВСКИЙ

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

Часть 3

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

Брест 2005

УДК 625.72 (075.8)

ББК 94.311

Л13

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

Лукша В.В., Шведовский П.В.

Л13 Проектирование автомобильных дорог, мостов и транспортных сооружений (курс лекций). Часть 3. – Брест: Издательство БГТУ, 2005. – 302 с., илл. 169, табл. 93, библи. 19 назв.

ISBN 985-493-021-1

В третьей части курса лекций на основе отечественных и зарубежных данных освещен опыт проектирования и строительства автомобильных дорог магистрального типа, предназначенных для дальних пассажирских и грузовых перевозок с высокими скоростями. Рассмотрены особенности ввода автомобильных магистралей в населенные пункты, а также вопросы обслуживания и обеспечения безопасности движения.

Также рассмотрены вопросы проектирования дорог и площадок сельскохозяйственного значения. Даны основы повышения работоспособности автомобильных дорог, их ремонта и содержания.

В курсе лекций содержатся общие сведения о проектировании транспортных развязок и назначении параметров их элементов, приведена классификация пересечений, примыканий и разветвлений автомобильных дорог в разных уровнях. Рассмотрены общие вопросы водоотвода, вертикальной планировки и освещения транспортных развязок.

Приводятся сведения о проектировании и строительстве автомобильных дорог за рубежом – в странах ЕС, США и Японии.

Курс лекций предназначен для студентов дорожных специальностей высших учебных заведений и курсов повышения квалификации работников дорожной отрасли. Он может представлять интерес для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием автомобильных дорог.

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

УДК 625.72 (075.8)

ББК 94.311

ISBN 985-493-021-1

© Лукша В.В., 2005

© Шведовский П.В., 2005

© Издательство БГТУ, 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
27. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ	6
27.1. Общие сведения об автомобильных магистралях.....	6
27.2. Краткая история развития строительства автомобильных магистралей.....	7
27.3. Виды автомобильных магистралей.....	15
27.4. Эксплуатационные и строительные особенности автомобильных магистралей.....	18
27.5. Прогнозирование движения по автомобильным магистралям.....	20
27.6. Пропускная способность автомобильных магистралей.....	22
27.7. Особенности движения по автомобильным магистралям.....	25
27.8. Принципы обоснования технических условий на проектирование автомобильных магистралей.....	27
27.9. Особенности назначения технических нормативов автомобильных магистралей.....	30
27.9.1. Расчетные скорости движения.....	30
27.9.2. Видимость дороги.....	34
27.9.3. Параметры поперечного профиля.....	35
27.9.4. Краевые полосы.....	39
27.9.5. Полосы для остановки автомобилей. Обочины.....	41
27.9.6. Разделительная полоса.....	43
27.9.7. Радиусы кривых в плане.....	46
27.9.8. Проектирование виражей.....	46
27.9.9. Переходные кривые.....	50
27.9.10. Продольные уклоны.....	52
27.9.11. Дополнительные полосы на подъемах.....	53
27.9.12. Вертикальные кривые.....	54
27.9.13. Полосы разгона и торможения.....	55
27.10. Особенности трассирования автомобильных магистралей.....	57
27.11. Особенности проложения трассы автомобильных магистралей в районе населенных пунктов.....	57
27.12. Особенности конструкции земляного полотна и дорожных одежд автомобильных магистралей.....	58
27.12.1. Поперечные профили земляного полотна.....	58
27.12.2. Требования к земляному полотну.....	61
27.12.3. Водоотвод.....	62
27.12.4. Дорожные одежды.....	66
27.13. Особенности проектирования городских автомобильных магистралей.....	70
27.13.1. Дороги для скоростного движения в городах.....	70
27.13.2. Сети городских автомобильных магистралей.....	70
27.13.3. Конструкция городских автомобильных магистралей.....	73
27.13.4. Основы трассирования городских автомобильных магистралей.....	77
27.13.5. Технические условия на проектирование городских автомобильных магистралей.....	79
27.13.6. Транспортные развязки на городских автомобильных магистралях.....	83
28. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	87
28.1. Классификация внутрихозяйственных дорог.....	87
28.2. Требования к элементам плана, продольного и поперечного профилей.....	88
28.3. Тракторные дороги.....	90
28.4. Конструирование дорожной одежды на внутрихозяйственных дорогах.....	90
28.5. Особенности проектирования водопропускных сооружений на внутрихозяйственных дорогах.....	92
28.6. Пересечения, примыкания, съезды, разворотные площадки. Обустройство внутрихозяйственных дорог.....	93
28.7. Основные принципы размещения дорожной сети на гидромелиоративных системах (ГМС).....	95
28.8. Общая характеристика внутривладостных дорог.....	97
28.9. Основы проектирования сельскохозяйственных площадок.....	99
29. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	103
29.1. Развитие технологии ремонтных работ на автомобильных дорогах Беларуси.....	103
29.2. Основные причины появления дефектов на автомобильных дорогах.....	105

29.3. Основные критерии оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог.....	108
29.4. Определение работоспособности автомобильных дорог.....	112
29.5. Основы содержания автомобильных дорог.....	118
29.6. Меры по повышению надежности и работоспособности автомобильных дорог.....	119
30. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.....	131
30.1. Воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду.....	131
30.1.1. Загрязнение атмосферного воздуха.....	131
30.1.2. Шумовое загрязнение.....	132
30.1.3. Эрозия грунтовых поверхностей.....	132
30.1.4. Загрязнение воды.....	132
30.1.5. Загрязнение почвы.....	133
30.2. Рекультивация земель.....	133
30.3. Меры по нейтрализации негативных воздействий автомобильных дорог на окружающую среду.....	133
30.4. Экологический мониторинг и принципы его построения.....	135
30.5. Методика расчета выбросов транспортными средствами загрязняющих веществ.....	136
30.5.1. Легковые автомобили.....	136
30.5.2. Грузовые автомобили.....	137
30.5.3. Автобусы.....	139
31. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК.....	141
31.1. Обзор развития пересечений и примыканий автомобильных дорог.....	141
31.2. Классификация узлов автомобильных дорог.....	148
31.3. Назначение норм на проектирование пересечений и примыканий.....	153
31.3.1. Выбор типа пересечения и примыкания.....	153
31.3.2. Выбор коэффициентов сцепления.....	155
31.3.3. Выбор коэффициента поперечной силы.....	156
31.3.4. Радиусы съездов.....	156
31.3.5. Установление ширины проезжей части и земляного полотна на съездах.....	158
31.3.6. Определение длины переходных кривых.....	160
31.3.7. Определение длины отгона виража.....	161
31.3.8. Определение длины путей разгона и замедления.....	162
31.3.9. Размеры переходно-скоростных полос.....	164
31.3.10. Длина накопительных полос.....	166
31.3.11. Нормы видимости в плане и профиле.....	167
31.4. Технические изыскания транспортных развязок.....	167
31.5. Анализ типичных пересечений в разных уровнях.....	170
31.5.1. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы клеверного листа.....	170
31.5.2. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы кольца.....	172
31.5.3. Транспортные развязки с параллельным расположением право- и левоповоротных съездов.....	176
31.5.4. Транспортные развязки, на которых пересекающиеся дороги разделяются на отдельные ветви.....	178
31.5.5. Прочие типы транспортных развязок.....	180
31.6. Анализ комбинированных пересечений.....	181
31.7. Анализ примыканий и разветвлений автомобильных дорог.....	188
31.7.1. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы клеверного листа.....	188
31.7.2. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы кольца.....	190
31.7.3. Транспортные развязки с параллельным расположением право- и левоповоротных съездов.....	191
31.7.4. Прочие типы транспортных развязок.....	192
31.8. Установление расчетной скорости на транспортных развязках.....	197
31.9. Установление основных геометрических элементов транспортных развязок.....	202
31.9.1. Установление поперечного уклона проезжей части на съездах транспортных развязок.....	202
31.9.2. Установление радиусов горизонтальных кривых на транспортных развязках.....	203
31.9.3. Установление наибольших продольных уклонов на съездах.....	204

31.9.4. Определение расчетного расстояния видимости в плане для однополосных съездов	205
31.9.5. Определение расчетного расстояния видимости в плане для двухполосных съездов	207
31.9.6. Определение расчетного расстояния видимости в зоне выхода со съезда на основную дорогу	209
31.9.7. Определение расчетного расстояния боковой видимости	210
31.9.8. Определение расчетного расстояния видимости в продольном профиле	211
31.9.9. Установление радиусов вертикальных кривых на съездах	212
31.9.10. Установление разности отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог на транспортной развязке	214
31.10. Пропускная способность съездов транспортных развязок	215
31.11. Вертикальная планировка и водоотвод с транспортных развязок	217
31.12. Инженерное оборудование транспортных развязок	221
31.13. Последовательность проектирования транспортных развязок	224
31.14. Сравнение вариантов транспортных развязок	229
32. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЗА РУБЕЖОМ	236
32.1. Транспортное планирование в зарубежных странах (highway planning)	236
32.2. Национальная дорожная программа Великобритании	240
32.3. Дорожное планирование в США	241
32.4. Основные принципы трассирования автомагистралей в зарубежных странах	244
32.5. Особенности изысканий при трассировании автомагистралей в зарубежных странах	246
32.6. Анализ аварийности и затрат, связанных с ДТП	250
32.6.1. Затраты по ДТП в бывшем СССР	251
32.6.2. Затраты по ДТП в европейских странах	251
32.6.3. Затраты по ДТП в Украине	252
32.7. Экономические потери от снижения пропускной способности	252
32.8. Анализ покрытия расходов по расширению дорог	255
32.9. Характеристики транспортного потока	257
32.10. Измерения интенсивности транспортного потока на дорогах	259
32.11. Исследования скорости	263
32.11.1. Способы и анализ результатов измерения мгновенной скорости	263
32.11.2. Скорости пробега и скорости сообщения	268
32.12. Изучение нагрузок на ось	269
32.13. Изучение пунктов отправки и назначения	271
32.14. Основы прогнозирования транспортных потоков	274
32.15. Оценка способов и частоты поездок	275
32.16. Предложения западных консультантов по оптимизации технических нормативов Беларуси	279
32.17. Основы проектирования нежестких дорожных одежд за рубежом	280
32.17.1. Концепции проектирования дорожных одежд нежесткого типа	280
32.17.2. Расчетный срок службы нежестких дорожных одежд	283
32.17.3. Транспортные нагрузки на дорожные одежды	283
32.17.4. Оценка прочности грунтового основания	285
32.17.5. Оценка воздействия температуры на дорожную одежду	286
32.17.6. Метод AASHTO для расчета дорожных одежд (1993 год)	287
32.17.7. Метод проектирования дорожного покрытия компании Шелл (1995 год)	291
32.18. Особенности расчета поверхностного и подземного водоотвода	293
32.18.1. Учет атмосферных осадков	294
32.18.2. Определение максимального расхода паводка	295
32.18.3. Проектирование водопропускных труб	298
32.18.4. Влияние подземных вод на прочность дорожной одежды	299
Литература	302

27. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

27.1. Общие сведения об автомобильных магистралях

Высокие темпы автомобилизации, характерные практически для всех стран мира, способствовали повышению внимания к строительству специальных дорог – автомобильных магистралей, предназначенных для интенсивных пассажирских и грузовых перевозок. Автомагистраль обозначается дорожным знаком 5.1 «Автомагистраль».

Основными особенностями автомобильных магистралей являются:

- разделение встречных потоков автомобилей с выделением для каждого из этих потоков самостоятельной проезжей части;
- отсутствие пересечений в одном уровне;
- сведение к минимуму влияния на режим движения основного потока отдельных автомобилей, въезжающих на дорогу или сворачивающих с нее в сторону;
- запрещение движения тихоходных транспортных средств (при скорости менее 40 км/ч), мопедов, велосипедистов, конных повозок и пешеходов;
- запрещение движения грузовых автомобилей с максимальной массой более 3,5 тонн далее второй полосы движения;
- запрещение движения задним ходом, обучению вождению, буксировки (при эвакуации остановившегося на автомагистрали транспортного средства путем буксировки необходимо покинуть автомагистраль на ближайшем съезде с нее).

Обоснование методов проектирования магистралей вылилось в самостоятельный раздел науки о проектировании автомобильных дорог. Обеспечение безопасности движения с большими скоростями предъявляет специфические требования к элементам трассы дороги.

При проектировании автомобильных магистралей приходится учитывать:

- особенности психологического восприятия водителями дорожных условий при движении с высокой скоростью (150 км/ч и выше);
- необходимость пространственной плавности и логической ясности трассы;
- законы видимости дороги в перспективном искажении на больших расстояниях;
- вопросы устойчивости автомобилей на кривых при движении с высокими скоростями;
- повышенные требования к ровности покрытий и прочности дорожных одежд.

Поэтому проекты автомобильных магистралей требуют весьма глубокого технико-экономического обоснования. Все указанные факторы подлежат, конечно, учету и при проектировании автомобильных дорог более низких технических категорий. Однако их влияние на режимы движения по магистралям проявляется в значительно большей степени, а зачастую и в качественных отличиях.

Автомобильные магистрали предназначаются для перевозок на большие расстояния. Это выдвигает необходимость обеспечения возможности отдыха и питания пассажиров и водителей, снабжения автомобилей топливом и смазочными материалами, организации в случае необходимости их ремонта и технического обслуживания. На автомобильных магистралях предусматривают меры по четкой организации движения, предупреждающей водителей о дорожных и погодных условиях и предписывающей им оптимальные режимы движения, соответствующие обстановке на дороге.

Опыт проектирования автомобильных магистралей накапливался постепенно. В большинстве стран массовое строительство магистральных дорог началось в 1950 годах. Разработка теоретических методов их проектирования активно развивалась в 1960-1970 годах, но даже до теперешнего времени ее нельзя считать завершенной, а принципы проектирования автомобильных магистралей все еще нуждаются в развитии практической базы.

В условиях достаточного развития теории приобретает самостоятельное значение сопоставление технических нормативов на проектирование автомобильных магистралей различных стран, которые, несмотря на неизбежное влияние экономических, природных и других факторов, имеют общую, объединяющую их черту – отражение опыта большого числа водителей и ряда лет эксплуатации дорог.

Для дорог западноевропейских стран в прошлом веке был типичен отличающийся от СССР состав движения, характеризующийся резким преобладанием легковых автомобилей.

Это часто вызывало возражение при попытках переноса в практику бывшего СССР количественных выводов из данных зарубежных наблюдений за движением.

Сейчас при значительном увеличении количества легковых автомобилей на дорогах СНГ и росте выпуска легковых автомобилей разница в составах транспортных потоков постепенно сглаживается. Поэтому опыт службы зарубежных автомобильных магистралей может быть с пользой учтен при разработке требований к автомобильным магистралям СНГ.

Интенсивность движения на многих дорогах СНГ быстро возрастает и на отдельных перегонах приближается к величинам, типичным для автомобильных магистралей. Ряд дорог и подъездов к городам в связи с их большим народнохозяйственным значением должен строиться по типу магистралей. Массовое развертывание этого строительства в СНГ в непродолжительном будущем маловероятно из-за высокой стоимости строительства, ремонта и содержания автомобильных магистралей. В то же время существующие в Беларуси магистральные дороги М1-М12, в основном построенные в 80-х годах прошлого века, пока еще в достаточной степени удовлетворяют проектной пропускной способности. В своем большинстве тип «магистральные» присвоен им исходя из назначения, но не отвечает всем требованиям, предъявляемым к автомобильным магистралям I-а категории.

27.2. Краткая история развития строительства автомобильных магистралей

Развитие и совершенствование дорожной сети должно сочетать строительство магистральных дорог с общим увеличением плотности сети за счет строительства дорог более низких категорий. Эти дороги в дальнейшем постепенно, по мере роста интенсивности движения, будут совершенствоваться методами стадийного строительства, реконструкции или устройства параллельных разгружающих маршрутов. На главных направлениях участки с техническими параметрами, характерными для автомобильных магистралей, будут строиться на отдельных перегонах, преимущественно на подходах к городам, где имеется высокая интенсивность движения или необходимо обеспечить возможность движения с высокими скоростями (подъезды к аэропортам).

В большинстве стран Западной Европы сеть дорог с твердыми покрытиями создавалась с начала прошлого столетия, с периода интенсивного развития промышленности. Многочисленные месторождения каменных материалов, близкое залегание камня от поверхности земли и малая дальность перевозки способствовали тому, что большинство дорог имеет твердые покрытия.

Массовое строительство магистральных дорог приходится на 1960-1970 годы. В эти годы введено в эксплуатацию более 85% общей протяженности всех автомагистралей, начиная с послевоенного периода до настоящего времени.

Первую сеть магистральных дорог, имевшую стратегическое значение, начали строить в 1937 г. в *Германии*. К началу Второй мировой войны было передано в эксплуатацию 2140 км дорог. Быстрая автомобилизация Западной Германии после окончания второй мировой войны и развитие автомобильных перевозок, которые позволяют при сравнительно небольших размерах страны доставлять грузы из одного конца страны в другой, способствовали строительству магистралей. Это было связано также с тем, что существующая сеть дорог по своему техническому состоянию не могла выдержать напряженных послевоенных перевозок.

Англия также имеет исторически сложившуюся развитую сеть дорог. В 1970 г. плотность ее составляла 1,45 км/км². До Второй мировой войны считали, что возрастающие требования автомобильного транспорта можно удовлетворить путем последовательной реконструкции существующих дорог. Однако несоответствие многих участков их сети требованиям современного автомобильного движения вызвало необходимость строительства специальных автомобильных магистралей для движения с высокими скоростями. В 1957 г. был принят первый план дорожного строительства, который предусматривал строительство нескольких автомобильных магистралей, обеспечивающих связь Лондона с Шотландией, Уэлсом и портами Ла-Манша. Строительство дорог в Англии ведется выборочно, отдельными короткими участками, разгружающими наиболее напряженные участки дорожной сети, из которых в дальнейшем составляются магистрали. Значительное место в планах занимают обходы городов. Темпы строительства составляют около 100 км в год.

Примерно аналогичны планы и темпы строительства во **Франции**, где в середине прошлого века было намечено соединить Париж радиальной сетью автомобильных магистралей с крупными городами страны и проложить южную магистраль, проходящую вдоль испанской границы и связывающую между собой курортные районы Атлантического побережья и Средиземного моря. В конце прошлого века эти планы практически полностью реализованы. Основным элементом сети французских автомобильных магистралей является меридиональная дорога Лилль – Париж – Марсель протяжением 1050 км.

Интенсивное строительство автомобильных магистралей в Европе ведется и в **Италии**. Италия была первой страной, начавшей строительство дорог, предназначенных исключительно для автомобилей. В конце сентября 1924 г. было открыто движение на дороге Милан – Варезе, имевшей ширину земляного полотна 14 м и проезжую часть шириной 10 м. В 1955 г. в Италии был принят первый закон о строительстве 1130 км автомобильных магистралей и реконструкции 504 км существующих дорог с устройством второй проезжей части. Однако высокие темпы автомобилизации страны и выявившаяся высокая стимулирующая роль строительства автомобильных дорог в развитии народного хозяйства страны привели к принятию в 1961 г. нового закона о дополнительном вводе до 1972 г. еще 3200 км автомобильных магистралей. Магистральные дороги Италии, сокращая продолжительность проезда на большие расстояния почти в 2 раза, облегчают кооперацию промышленных предприятий, улучшают условия вывоза свежих фруктов из центральных и южных областей на север Италии и в страны центральной и северной Европы, а также способствуют привлечению в Италию зарубежных туристов, из которых 75% приезжают на своих автомобилях. *Темпы строительства автомобильных магистралей в Италии самые высокие в Европе, причем все они строятся как платные дороги* (рис. 27.1).



Рис. 27.1. Платная автомобильная магистраль в горном районе Италии

Из неевропейских стран наиболее обширное строительство автомобильных магистралей ведут Япония и США. Дорожная сеть **Японии** по окончании Второй мировой войны находилась в неудовлетворительном состоянии. Еще в 1961 г. средние скорости движения по главным дорогам были намного ниже, чем на автомобильных магистралях США (55 км/ч по сравнению с 75 км/ч). Между тем темпы автомобилизации страны были очень высоки. Количество автомобилей, составлявшее 2,4 млн. в 1959 г., возросло в 1965 г. до 7,0 млн., а в 1970 г. до 16,5 млн. Объем грузов, перевозимых автомобильным транспортом, быстро возрастал.

Поэтому в начале 70-х годов XX века был принят ряд законов о дорожном строительстве, предусматривавших реконструкцию существующей сети и строительство развитой сети платных автомобильных магистралей для скоростного движения, рассчитанной на окупаемость за 20 лет. Было предусмотрено, что густота намеченной сети обеспечивает возможность подъезда к ближайшей магистрали не более чем за 2 ч. Автомобильные магистрали свяжут между собой все большие города, между главными островами будут построены мосты или тоннели. В 1974 году введена в эксплуатацию дорога Токио – Нагоя – Осака – Кобе протяжением 536 км, пересекающая основные промышленные районы Японии, в которых проживает треть ее населения (рис. 27.2). Интенсивность движения по ней составляла в конце 1974 г. 38 тыс. авт./сут вблизи Токио и 50 тыс. на перегоне Осака – Нагоя.



Рис. 27.2. Автомобильная магистраль Токио – Нагоя в Японии

Наибольшее по масштабам строительство автомобильных магистралей ведется в **США**. В 1950 г. суммарная длина дорог типа автомобильных магистралей составляла 1100 км. К 1956 г., когда их протяжение примерно удвоилось, был принят план строительства «Национальной системы междуштатных и оборонительных дорог США», иногда называемый «планом Эйзенхауэра». Предусматривалось строительство в 1956-1973 годы 60000 км дорог, увеличенное потом до 68000 км, с затратой 50 млрд. долл. На 87% протяжения дороги должны иметь четыре полосы движения, на пригородных участках – шесть и восемь полос. В результате реализации этого плана ежегодно передавалось в эксплуатацию в среднем по 3400 км магистральных дорог. К началу 1972 г. протяжение системы автомобильных магистралей США достигло 52 800 км. Однако из-за ряда встретившихся трудностей, главным образом недостатка квалифицированного инженерно-технического персонала, план строительства был завершен только в 1975 г.

На сегодняшний день покрывающая территорию США сеть дорог соединяет 95% городов с числом жителей более 50 тыс. На эти дороги, составляющие лишь около 6% общей протяженности дорожной сети, приходится около 35% всех перевозок. Основой дорожной сети являются пять широтных и десять меридиональных маршрутов.

К строительству первой в **СССР** автомобильной магистрали Москва – Минск приступили в 1936 г. Дорога была запроектирована по специально разработанным для нее техническим условиям, предусматривавшим расчетную скорость 120 км/ч. Минимальный радиус кривых в плане был принят 1000 м, наибольший продольный уклон – 40‰, расстояние видимости – 300 м. Земляное полотно имело большое возвышение бровки и не заносилось снегом. Въезды на дорогу располагались в одном уровне, и только на пересечении с дорогой Смоленск – Витебск было предусмотрено пересечение в разных уровнях по типу клеверного листа. Поперечный профиль с земляным полотном 18 м и проезжей частью шириной 12 м был запроектирован без разделительной полосы по образцу построенной незадолго до этого в Германии первой автомобильной магистрали Кельн – Бонн. В дальнейшем предполагалось замостить обочины с каждой стороны на 2 м. На строительстве дороги впервые было применено искусственное уплотнение грунтов и выторфовывание болот. Строительство магистрали было закончено только после войны.

В 1956 г. по типу автомобильной магистрали был реконструирован головной участок дороги Москва – Горький до Ногинска (рис. 27.3), по которому проходили интенсивные местные перевозки между Москвой и Московской областью. Дорога следует по трассе старого Горьковского шоссе и имеет многочисленные съезды и въезды в одном уровне. Сохранение старых элементов трассы создает в отдельных случаях впечатление резких переломов («жесткая трасса»).

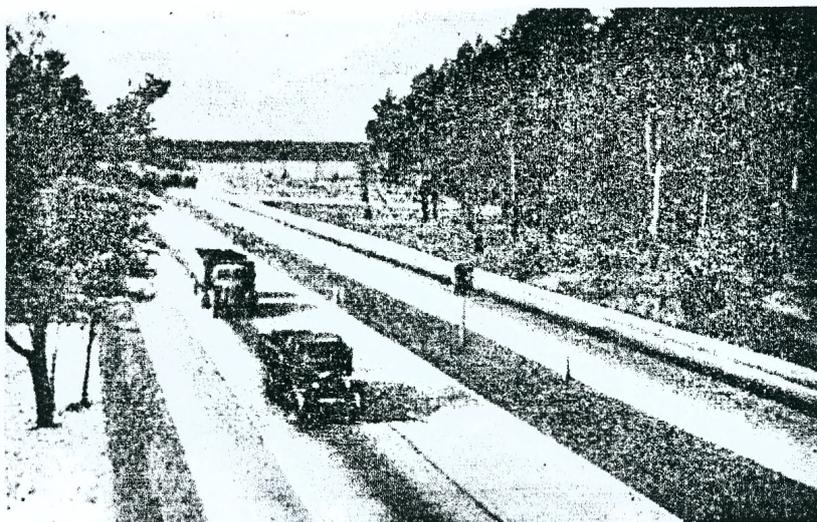


Рис. 27.3. Дорога Москва – Горький

Первой дорогой, удовлетворявшей требованиям к автомобильным магистралям, была переданная в 1962 г. в эксплуатацию Московская кольцевая автомобильная дорога протяженностью 109 км, проект которой был разработан под руководством инж. В. Б. Завадского в 1953-1955 гг. В проекте впервые в практике проектирования дорог в СССР были учтены принципы обеспечения пространственной плавности трассы, предусмотрены обтекаемые поперечные профили земляного полотна, запроектированы транспортные развязки в разных уровнях, планировка которых учитывает интенсивность транспортных потоков в разных направлениях. Для предотвращения пучин верхнюю часть земляного полотна отсыпали из песчаных морозоустойчивых грунтов. Впервые были применены ребристые краевые полосы из белого бетона (рис. 27.4).

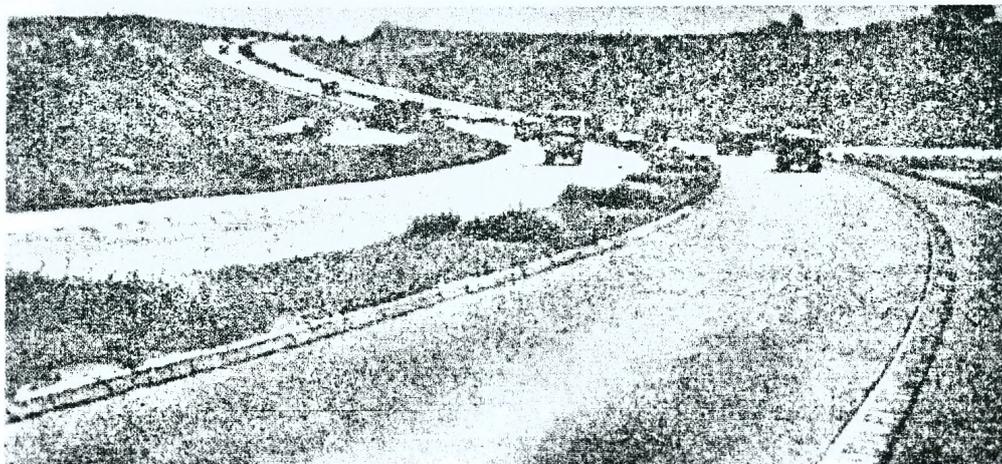


Рис. 27.4. Московская кольцевая автомобильная дорога

Московская кольцевая дорога явилась своеобразным опытным полигоном, который позволил выявить ряд рациональных проектных решений, вошедших теперь в повседневную практику проектирования и получивших развитие в последующих проектах. Опыт эксплуатации первой очереди кольцевой дороги позволил ввести ряд улучшений в проект второй очереди, в частности устройство переходно-скоростных полос на съездах пересечений в разных уровнях, существенно улучшивших условия движения.

При реконструкции в 1965 году сравнительно небольшого по протяжению пригородного участка дороги Ленинград – Выборг до Зеленогорска на некоторых участках применили самостоятельное трассирование проезжих частей с учетом ландшафта, местами удаляющихся на большое расстояние друг от друга. Вдоль дороги, проходящей вблизи от моря, проложены велосипедные и пешеходные дорожки.

В 1970 г. была введена в эксплуатацию построенная в порядке реконструкции ранее существовавшей дороги автомобильная магистраль Вильнюс – Каунас протяженностью около 100 км. Дорога удовлетворяла всем нормативам на дороги I-а категории и имела разделительную полосу шириной до 12,5 м. В одном месте для сохранения дубовой рощи проез-

жие части разведены на расстояние около 50 м. Все пересечения были осуществлены в разных уровнях по типу полного клеверного листа. Примыкания второстепенных дорог устроены с отводом движения по существующим или вновь строящимся дорогам к транспортным развязкам. При строительстве большое внимание уделяли формированию придорожного ландшафта, благоустройству и культурному оформлению дороги (рис. 27.5). Озеленение осуществляли групповыми посадками.

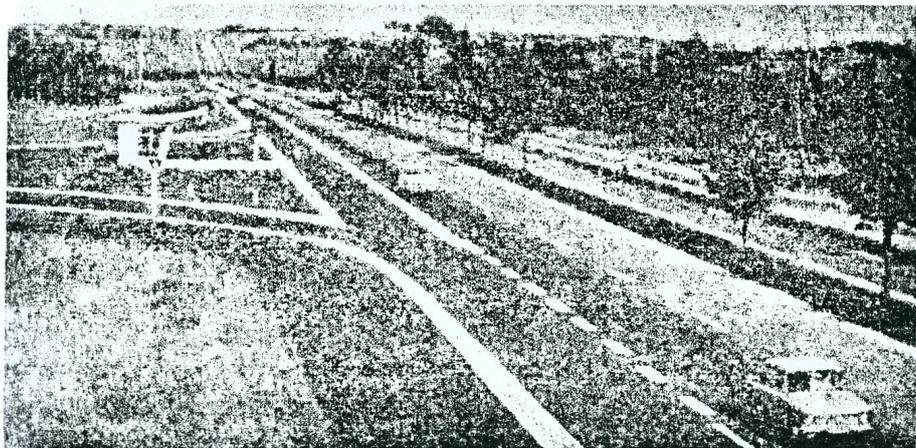
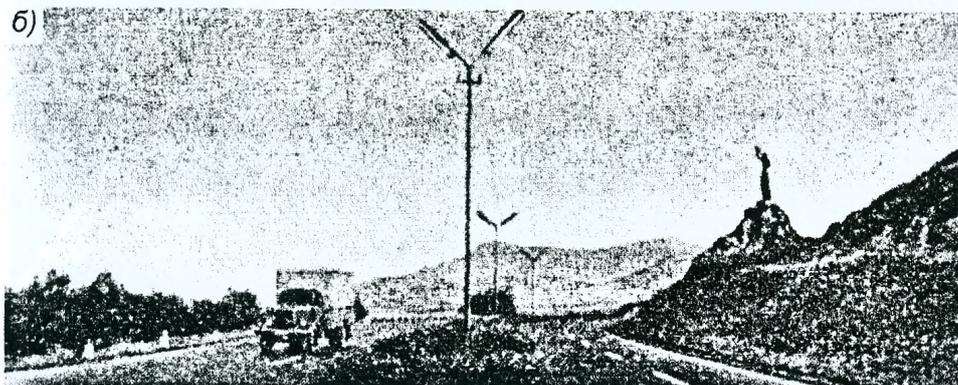
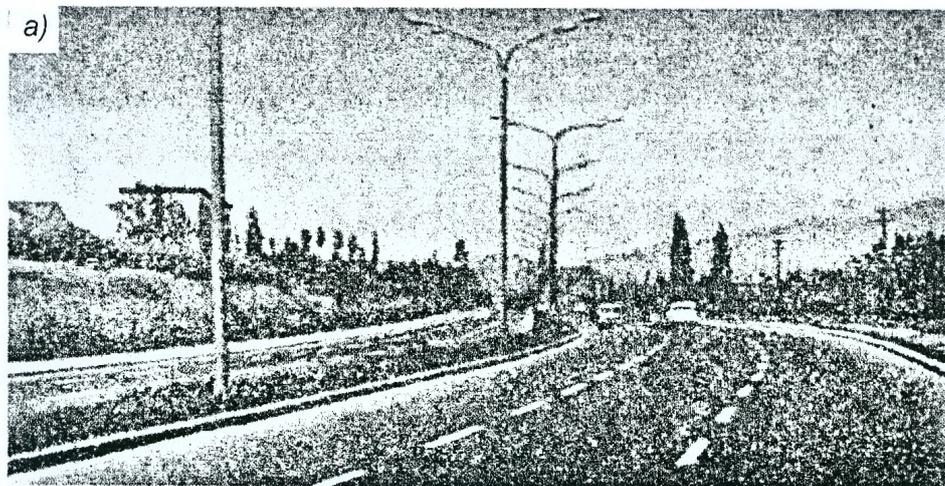


Рис. 27.5. Дорога Вильнюс – Каунас

Начиная с 1960 г., в СССР было построено большое количество сравнительно коротких участков дорог протяжением до 20-30 км на примыканиях к большим городам. Примером являются головные участки дорог Москва – Ленинград, Москва – Кашира, Москва – Ярославль, Рига – Даугавпилс, Таллинн – Ленинград, выход из Тбилиси на Военно-Грузинскую дорогу, Ташкент–Самарканд, Ереван – Эчмиадзин, Рига – Юрмала и др. Строительство этих участков позволило сравнить разные конструкции разделительных и краевых полос, дорожных одежд и др. (рис. 27.6).



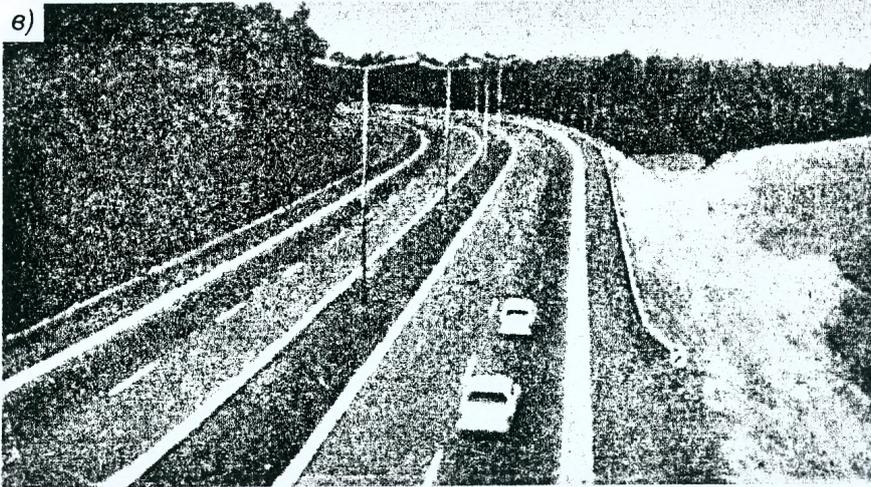


Рис. 27.6. Головные участки дорог: а – Ереван-Тбилиси; б – Тбилиси-Орджоникидзе; в – Рига-Юрмала

Особенно характерны сравнительно короткие по протяжению, но весьма совершенные по конструкции подъезды к международным аэропортам Шереметьево в Москве и Борисполе под Киевом. Эти участки, построенные на уровне передовой современной техники того времени, долгое время служили образцом для дальнейшего проектирования автомобильных магистралей в СССР.

Подъезд к Шереметьевскому аэропорту имеет земляное полотно шириной 35 м с обтекаемым поперечным профилем. Центральная разделительная полоса шириной 12,5 м вогнутого профиля, имеет уклон к оси дороги 1:8 с устройством подземных водостоков для отвода воды. Проезжие части с асфальтобетонным покрытием шириной 7,5 м окаймлены краевыми полосами из белого бетона по 0,75 м. Сбоку устроены остановочные полосы по 2,5 м с осветленным покрытием и грунтовые обочины по 0,75 м. Для каждого направления движения построены самостоятельные мосты (рис. 27.7). На примыкании к Ленинградскому шоссе был сооружен путепровод, криволинейный в плане и в продольном профиле.

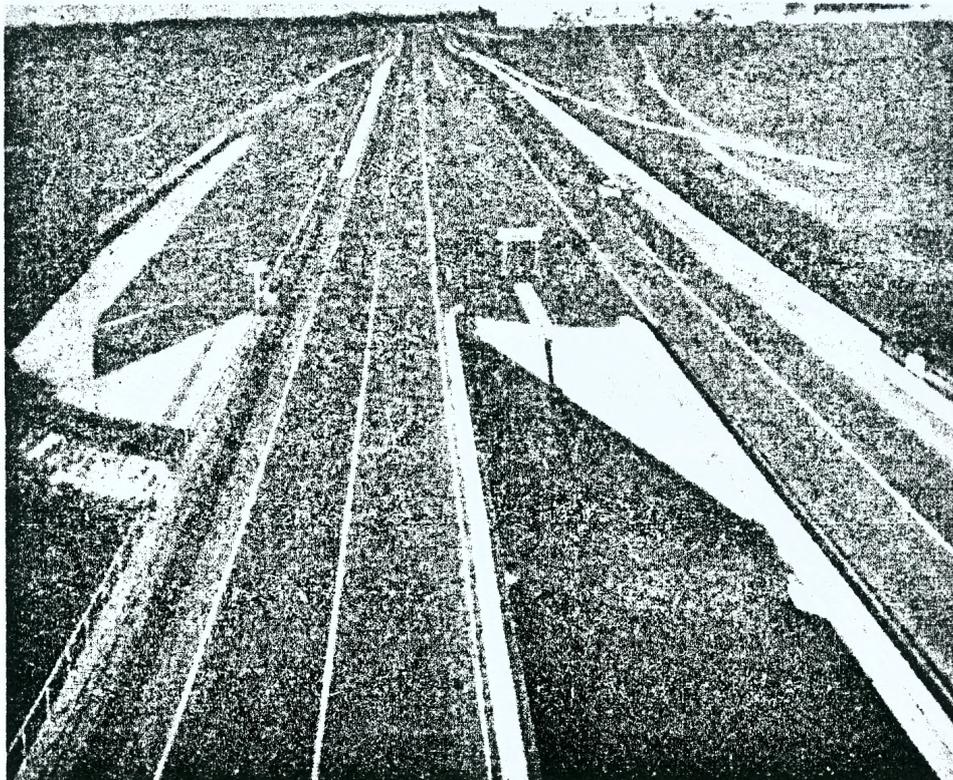


Рис. 27.7. Подъезд к аэропорту Шереметьево

Подъезд к Бориспольскому международному аэропорту является головным участком дороги Киев – Харьков. Он имеет проезжие части для движения трех рядов автомобилей в каждом направлении шириной по 11,5 м. Разделительная полоса имеет ширину 12,5 м. Со

стороны разделительной полосы предусмотрен бетонный бордюр и бетонная предохранительная полоса шириной 0,7 м, а с внешней стороны – более узкая краевая полоса 0,5 м. Стояночные полосы для автомобилей, потребовавших ремонта, имеют ширину 2,5 м.

На дороге устроено асфальтобетонное покрытие. Для лучшего разграничения полос движения, кроме разметки проезжей части, на среднюю полосу проезжей части укладывают асфальтобетон, приготовленный на красном гранитном щебне, а на крайние полосы – на сером граните.

Дорога ограждена металлической сеткой высотой 1,6 м и оборудована подземными переходами для пешеходов. На всем протяжении предусмотрено электрическое освещение.

В связи с ожидающимся бурным ростом интенсивности движения на подмосковных дорогах было принято решение реконструировать в 1975-1980 годах шесть из четырнадцати примыкающих к Москве радиальных дорог на участках от Московской кольцевой дороги до Серпухова, Каширы, Коломны, Клина и Волоколамска. Были построены дороги с проезжей частью с четырьмя полосами движения в каждом направлении с широкой разделительной полосой, обходящие населенные пункты. Дороги были проложены на местности с соблюдением всех современных принципов трассирования автомобильных магистралей – обеспечением пространственной плавности трассы, согласованием с ландшафтом, ступенчатым расположением проезжих частей на косогорных участках и др.

Дорожные традиции Беларуси уходят своими корнями во времена образования Полоцкого, Туровского, Пинского княжеств и Великого княжества Литовского. Занимая важное географическое положение, Беларусь издревле служила перекрестком транзитных путей сообщения с Запада на Восток и с Севера на Юг. И именно с дороги, с великого пути «Из варяг в греки» начиналась цивилизация белорусской земли.

В **Беларуси** дорогам всегда придавалось особое значение, поскольку осознавалась их важнейшая роль, учитывая транзитный характер территории государства, predetermined историей и его географическим положением. *Таким образом, история говорит о том, что транспортная система (и, прежде всего, автомобильные дороги), должна не следовать за развитием экономики, а по возможности опережать и стимулировать ее развитие.*

Развитие экономики любого государства невозможно представить без наличия нормально работающей системы магистральных и местных дорог, осуществляющих доставку грузов и пассажиров «от двери до двери», т.е. от отправителя до получателя, строго в заданные сроки и с высокой степенью сохранности. Поэтому, реализация Государственной программы «Дороги Беларуси» требует наличия и постоянного совершенствования научно-технического потенциала дорожной отрасли.

Автомобильные дороги являются важнейшей частью транспортной системы, которая в значительной степени определяет экономическое, социальное и культурное развитие государства. Этому способствует и географическое положение Республики Беларусь, расположенной на перекрестке транзитных трансъевропейских магистралей.

Основным государственным документом, определяющим экономические, правовые и организационные основы управления автомобильными дорогами является Закон Республики Беларусь «Об автомобильных дорогах», принятый в 1994 г. Республиканским органом государственного управления автомобильными дорогами и дорожным хозяйством является Комитет по автомобильным дорогам. Финансирование дорожной отрасли осуществляется за счет государственных целевых бюджетных дорожных фондов.

Цели и задачи развития сети автомобильных дорог сформулированы в Государственной программе «Дороги Беларуси на 1997-2005 гг.». *В программе определены основные приоритеты развития сети:*

- содержание сети автомобильных дорог и поддержание ее надежности на уровне современных требований;
- обеспечение устойчивыми транспортными связями с дорогами общего пользования 10 500 населенных пунктов республики, в которых проживает 500 тыс. человек, путем ликвидации грунтовых участков местных дорог;
- улучшение транспортно-эксплуатационного состояния существующих автомобильных дорог и, в первую очередь, повышение надежности дорожных покрытий;
- реконструкция наиболее грузонапряженных участков дорог и мостов, строительство объездов городов.

Важными являются также задачи повышения безопасности движения, улучшения информированности водителей, внедрения системы маршрутного ориентирования, улучшения качества инженерного обустройства: дорожных знаков, ограждений, разметки.

Как известно, все автомобильные дороги Республики Беларусь подразделяются на автомобильные дороги общего пользования и ведомственные автомобильные дороги. Автомобильные дороги общего пользования:

- республиканские автомобильные дороги, включенные в сеть международных дорог, соединяющие г. Минск с административными и промышленными центрами областей и районов, также административные центры между собой;
- местные автомобильные дороги, соединяющие административные центры районов с сельскими населенными пунктами, сельские населенные пункты между собой и также с автомобильными дорогами республиканского значения.

Ведомственные автомобильные дороги расположены на территории хозяйственных субъектов.

Сеть республиканских дорог к настоящему времени количественно сформировалась. Протяженность сети – более 70 000 км, в том числе республиканских дорог с твердым покрытием – 15 400 км, местных – 55 000 км. Республиканские дороги на протяжении 97% имеют усовершенствованные покрытия. На местных дорогах 93% длины занимает твердое покрытие (53% усовершенствованное, 40% переходное), 7% дорог – грунтовые. На сети имеется 4245 мостов и путепроводов.

Среднесуточная интенсивность движения на республиканских дорогах с индексом М находится в пределах 1500-12000 авт./сут, на основных дорогах с индексом Р – от 1000 до 4000 авт./сут, на местных дорогах с индексом Н от 10 до 1000 авт./сут. Количество легкового транспорта в составе потока – 40-85%. На транзитных маршрутах доля автопоездов находится в пределах 5-35%. Автопоезда с трехосными тележками, односкатными колесами, повышенным давлением воздуха в шинах, которые особо неблагоприятно действуют на покрытия, занимают 25-70% от всего их количества (в среднем – 60%). Всего по дорогам сети в год проходит до 700 000 автопоездов. Перевозится грузовым транспортом 1000 млн. тонн грузов, грузооборот более 20 млрд. т/км.

Для дорожной сети характерно увеличение сроков службы дорожно-мостовых сооружений без капитального ремонта, старение материалов элементов конструкций, интенсификация процессов внутреннего структурного повреждения, усугубляемого явлениями усталости за счет накопления проходов автотранспортных средств за длительное время. Средние сроки службы дорожных покрытий возросли с 10 лет в 1991 г. до 16 лет в 1999 г., мостов и путепроводов – соответственно, с 17 до 25 лет. Интервалы распределения этих сроков увеличились от 2 до 35 лет для дорожных покрытий и от 5 до 65 лет для мостовых сооружений.

Ежегодные объемы ремонтных работ на республиканских дорогах в период 1991–2000 г. по сети дорог Беларуси составили: реконструкции 20-80 км, капитальный ремонт покрытий 220-670 км, средний ремонт 1900-2700 км. Количество капитальных ремонтов мостов и путепроводов в этот период находилось в пределах 1,0-1,5%, средних ремонтов – 7-10% от их общего количества.

В 1990-х годах в связи с распадом СССР и кризисом экономик стран СНГ нового строительства автомобильных магистралей практически не велось. В настоящее время основные проектные работы на просторах СНГ сместились в сторону проектирования новых мостов, путепроводов и виадуков, а также реконструкции старых. Здесь хочется отметить, что в Беларуси на сегодняшний день не существует автомобильных магистралей в прямом понимании этого термина, т.е. как дорог I-а категории. Магистральная дорога Брест – Минск – Москва на многих участках соответствует категории I-б и II с расчетной скоростью 120 км/ч.

В целом в Европе и США к настоящему времени насыщенность автомобильными магистралями приблизилась к оптимальной, и дальнейшие усилия проектировщиков и строителей будут направлены на реконструкцию существующих магистралей и проектирование кольцевых объездных дорог у крупных городов.

27.3. Виды автомобильных магистралей

Автомобильные магистрали представляют собой дороги, специально предназначенные для пассажирских и грузовых автомобильных перевозок высокой интенсивности, осуществляемых без помех со стороны местного транспорта и пешеходов. Обязательным требованием к современной автомобильной магистрали является разделение встречных потоков автомобилей грунтовой или имеющей покрытие полосой, не используемой для проезда. Для этого их строят с двумя проезжими частями, каждая из которых должна быть достаточно широка, чтобы пропускать не менее двух рядов автомобилей (рис. 27.8).

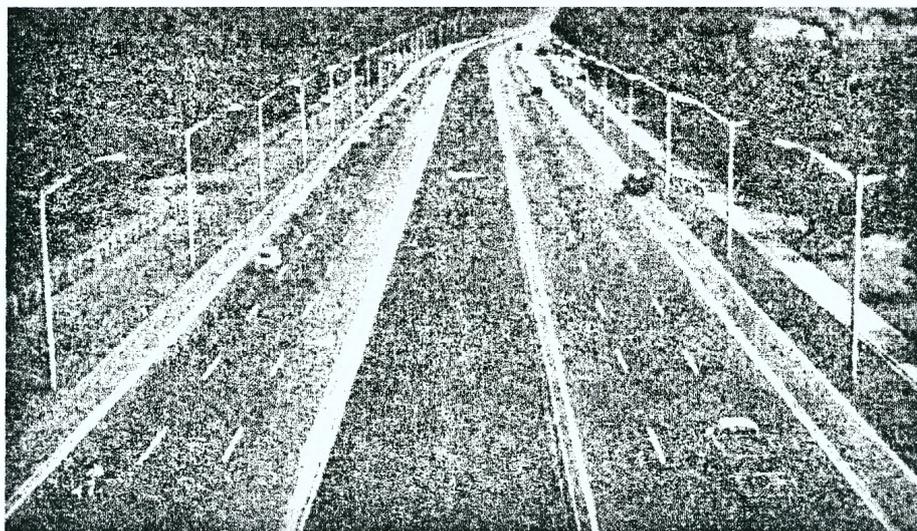


Рис. 27.8. Общий вид автомобильной магистрали (участок дороги Киев – Борисполь)

Въезд на автомобильные магистрали возможен только на специальных примыканиях, оборудованных дополнительными полосами проезжей части, которые позволяют въезжающим автомобилям предварительно развить скорость, соответствующую скорости движения по магистрали, и беспрепятственно влиться в поток автомобилей. На автомобильных магистралях, как правило, отсутствуют пересечения потоков движения в одном уровне, светофоры и знаки, накладывающие ограничения на режимы движения автомобилей на отдельных участках.

Автомобильные магистрали стремятся прокладывать по новым направлениям, в обход населенных пунктов. Не связанные с исторически сложившимися направлениями существующих дорог они дают возможность при их проектировании в полной мере реализовать итоги научных разработок и получить трассу, полностью удовлетворяющую требованиям движения автомобилей с высокими скоростями.

В зависимости от назначения перевозок и степени технического совершенства различают **несколько видов дорог магистрального типа**:

1. Скоростные автомобильные магистрали (Freeway, Thruway, Motorway, Autobahnen, Superstrade, Autostrade espresso, Superhighway, High speed traffic roads) – дороги, предназначенные обслуживать только дальние автомобильные перевозки. Для них характерны наиболее высокие скорости движения. Эту группу магистралей, обычно связывающих между собой крупные административные и промышленные центры, иногда называют *артериальными или скоростными* (Speed roadway, Arterial expressway, Via rapida).

В зарубежных странах (Японии, Италии, Франции, частично США) дороги этого типа часто строят частные компании и за проезд по ним взимается плата.

Платная автомобильная дорога – дорога, за движение по которой с пользователей взимается плата за проезд в целях снижения бюджетных расходов владельцев дорог и получения прибыли, а также обеспечения выгод пользователя по сравнению с издержками при движении по альтернативному бесплатному направлению. Целесообразность введения платы за проезд определяется условием наличия достаточно высокой интенсивности и возможностью государственного регулирования в форме оплаты части расходов на строительство и содержание платного объекта (табл. 27.1).

Таблица 27.1. Доля платных автомобильных дорог в сети автодорог разных стран

Показатель	Страны				
	США	Италия	Франция	Япония	Беларусь
Общая протяженность автомобильных дорог, тыс. км	6223	301	972	1100	70
Протяженность платных автомобильных дорог, тыс. км	8,0	5,1	9,0	7,9	0,6
Процент платных автомобильных дорог	0,1	1,7	1,0	0,7	1,0

Используют **два основных метода расчета платы** за проезд:

- 1) учет суммарных выгод пользователей при проезде платного дорожного объекта по сравнению с бесплатным проездом в нужном направлении;
- 2) учет фактических затрат на эксплуатацию дороги и возмещении инвестиций в ее развитие.

В итоге стоимость проезда должна соответствовать объему и качеству услуг, предоставляемых пользователю дорожного объекта, сделать его привлекательным для пользователя, частично покрывать инвестиционные затраты на реконструкцию дороги, ее эксплуатацию, а также получать нормативную прибыль эксплуатирующей организации.

Суммарные выгоды пользователей дорожного объекта складываются из экономии затрат на топливо и смазочные материалы для автомобиля, заработную плату водителей служебных автомобилей, замену шин, запасные части, обслуживание автомобиля и амортизационные расходы. Пользователи получают также экономический эффект от ускорения доставки грузов и сокращения времени в пути, повышения комфортности движения, уменьшения риска дорожно-транспортных происшествий.

Фактические затраты на эксплуатацию дороги состоят из затрат на ее ремонт и содержание за отчетный год и затрат, направленных на выплату кредитов и процентов по ним.

Выполненные РУП «Белгипродор» расчеты в соответствии с разработанной методикой, позволили рекомендовать тарифы ставок за проезд по автодороге М1/Е30 (в долларах США, табл. 27.2).

Таблица 27.2. Тарифы ставок за проезд по автодороге М1/Е30

Автотранспортные средства	Рекомендуемые тарифы, долл. США		Существующие тарифы на дорогу, долл. США	Тарифы за рубежом, долл. США	
	на дорогу	на 1 км		на дорогу	на 1 км
Легковой автомобиль	10	0,017	6	18-30	0,03-0,05
Легкий грузовой автомобиль	20	0,034	12	21-142	0,034-0,24
Тяжелый грузовой автомобиль и автобус с числом мест более 30	40	0,068	20	41-147	0,07-0,25
Автопоезда	60	0,102	50	62-89	0,106-0,151

Проезд по построенному в конце 2004 года во Франции виадуку длиной около 2,5 км и высотой 217 м (сметная стоимость около 400 млн. евро) стоит 5 евро.

Тарифы могут корректироваться или вводиться поэтапно с учетом экономической ситуации в стране, маркетинговых и социальных исследований, потребительского спроса для недопущения оттока автотранспортных средств на бесплатные дороги.

Обычно платные дороги (Turnpike, Toll roads) служат для сообщения между крупными городами. Например, итальянская «Дорога Солнца», соединяющая Милан и Неаполь, пересекает всю Италию с севера на юг. Дороги «Томэй» и «Мейшин», соединяя Токио, Нагою и Осаку, проходят через наиболее густо населенные промышленные районы Японии. Пенсильванская платная автомобильная магистраль в США соединяет крупнейшие промышленные центры – Пенсильванию, Филадельфию и Питсбург.

Проезд по платным дорогам обходится довольно дорого, и для поездок на короткие расстояния ими не пользуются. Поэтому въезды на платные магистрали устраивают только на пересечениях с важнейшими дорогами.

2. Частично скоростные дороги (Expressway; Schnellstrasse, Schnellverkehrsstrasse, Controlled access highway) – автомобильные дороги с разделением встречных потоков движения, въезд на которые разрешается только на специально оборудованных пересечениях. Эти дороги чаще всего предназначаются не для дальних скоростных сообщений, а для связи расположенных поблизости друг от друга населенных пунктов или промышленных районов, а также для загородных поездок на отдых в выходные дни. Для частично скоростных дорог характерны высокая интенсивность и разнообразие типов движения, иногда учиты-

ваемое выделением в поперечном профиле специальных проезжих частей для транзитного и местного движения, трамвайных путей и велосипедных дорожек. Скорость движения на этих дорогах ниже, чем на скоростных автомобильных магистралях, причем не всегда ее удается обеспечить постоянной на всем протяжении дороги. Магистрали этого типа иногда называют *местными или грузовыми* (Volume roadway, Regional motorway).

Расстояния между пересечениями и примыканиями значительно меньше, чем на скоростных магистралях, а типы пересечений более индивидуальны с учетом структуры вливающих или ответвляющихся потоков. Иногда допускаются пересечения в одном уровне с направляющими островками и со светофорным регулированием (Partial controlled access highway).

Частично скоростные дороги проходят близко к обслуживаемым населенным пунктам, а иногда входят в пределы их планировочной территории. Типичным примером частично скоростной дороги является дорога, соединяющая промышленные центры Рурского района в Германии (Ruhrschnellstrasse) (рис. 27.9).

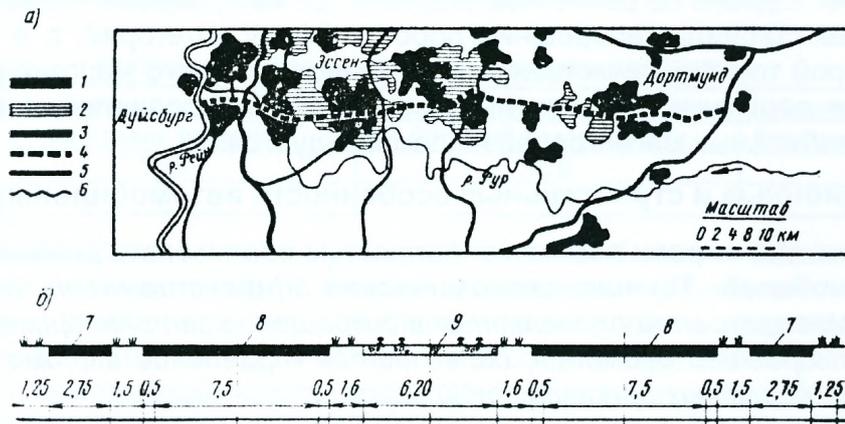


Рис. 27.9. Скоростная автомобильная дорога в Руре (Германия): а – трасса; б – поперечный профиль: 1 – населенные пункты; 2 – пригородные зоны населенных пунктов; 3 – автомобильные магистрали; 4 – Рурская скоростная дорога; 5 – прочие дороги; 6 – реки; 7 – вело-мотодорожки; 8 – проезжие части скоростной дороги; 9 – трамвайные пути

В СНГ к этой категории дорог могут быть отнесены многие пригородные участки дорог с высокой интенсивностью, например Рига – Юрмала (рис. 27.10) и Горьковское шоссе до Ногинска, а также некоторые участки дороги М1/Е30 – Брест – Москва.

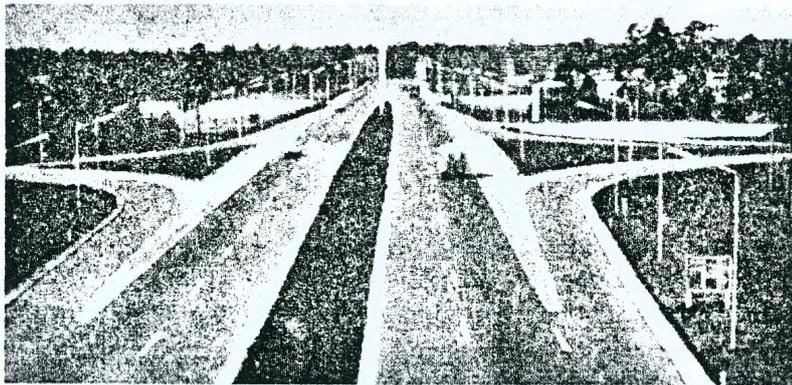


Рис. 27.10. Вид участка дороги Рига – Юрмала

3. Магистральные дороги. (Fernverkehrsstrasse, Arterial roads) – дороги для дальних грузовых и пассажирских перевозок, в том числе международных, проходят обычно в обход населенных пунктов и обеспечивают возможность интенсивного автомобильного движения. В отдельных случаях магистральные дороги могут иметь одну проезжую часть без разделительной полосы. К этому типу автомагистралей можно отнести большую часть дорог Беларуси с индексом М.

По принципам проектирования к автомобильным магистралям близки парковые и туристические дороги (Parkway, Fremdenverkehrsstrassen), предназначенные исключительно для движения легковых автомобилей с полным или частичным контролем въезда на пересече-

ния, проходящие обычно в красивой местности или по специально оформляемой под парк широкой полосе отвода. Иногда такие дороги строят для привлечения туристов, доходы от которых во многих странах являются существенным источником пополнения бюджета. Так, например, в Германии был построен ряд дорог в пограничных районах с Австрией, Швейцарией и Италией, проходящих по красивым горным районам со слабо развитой промышленностью (Баварские Альпы, Шварцвальд, Гарц и др.). В Японии ряд туристских дорог построен в курортном районе Хаконе вблизи вулкана Фудзияма.

Часто для характеристики дорог магистрального типа широко используют термины «автострада» и «автотрасса». Первый из них механически заимствован из итальянского языка и значит в переводе «автомобильная дорога», т. е. совершенно не отражает специфику дорог типа скоростных автомобильных магистралей. Он проник в ряд языков в конце двадцатых годов прошлого века, когда в литературе появились описания строившихся в Италии с 1923 по 1925 г. дорог, ведущих из Милана в курортные районы на озеро Маджиоре. На эти дороги, предназначенные исключительно для движения автомобилей, не допускались конные повозки. Однако по расчетной скорости (60 км/ч) первые итальянские автострады примерно соответствовали теперешним дорогам IV и V категорий, т. е. были далеки от совершенства. Второй термин заимствован из производственного жаргона автомобилистов. Проектировщикам и дорожным строителям применять эти неправильные термины для характеристики автомобильных магистралей не рекомендуется.

27.4. Эксплуатационные и строительные особенности автомобильных магистралей

Автомобильные магистрали позволяют полностью реализовать динамические качества современных автомобилей. **Технико-экономическая эффективность строительства автомобильных магистралей** проявляется в сокращении затрат времени на перевозки в связи с ростом скоростей движения, облегчается управление автомобилями и уменьшается количество дорожных происшествий.

Неоднократно проводившиеся сравнительные проезды по автомобильным магистралям и параллельным дорогам высоких технических категорий доказывали существенный выигрыш при использовании автомобильных магистралей.

Так, например, для нью-йоркской платной дороги при сравнительных проездах грузового автомобиля были получены следующие сравнительные показатели (табл. 27.3).

Таблица 27.3. Сравнительные показатели проезда по автомагистрали и обычной дороге

Показатели	Обычная дорога	Автомобильная магистраль	Выигрыш при использовании магистрали, %
Расстояние, км	524,8	520	1
Продолжительность проезда	9 ч 43 мин	7 ч 46 мин	20
Средняя скорость, км/ч	54	67	24
Расход бензина, л	148	120	12
Число переключений передач	504	127	74
Число торможений	167	9	95
Число остановок	79	4	95

В результате пользования автомобильной магистралью «Дорога Солнца» в Италии продолжительность проезда, например, из Милана во Флоренцию (311 км) сократилась для легковых автомобилей с 5 ч 20 мин до 2 ч 30 мин. Из Милана в Неаполь (755 км) стало возможным доехать за 7-8 ч.

Движение по автомобильным магистралям менее опасно, чем по обычным автомобильным дорогам. Это объясняется, в первую очередь, изменением условий обгона, производимого без выезда на полосу встречного движения, чем устраняются наиболее тяжелые виды происшествий – лобовые столкновения. Полностью исключается возможность наездов на пешеходов и велосипедистов. Проектирование автомобильных магистралей в плане и продольном профиле кривыми больших радиусов, малые величины продольных уклонов, более смелое вписывание в элементы рельефа способствуют тому, что на магистралях отсутствуют места, где требовалось бы резкое изменение режимов движения. Как известно, именно такие места характеризуются наибольшей опасностью дорожно-транспортных происшествий.

Сравнительные данные разных стран о количестве дорожно-транспортных происшествий на автомобильных магистралях и обыкновенных дорогах сопоставлены в табл. 27.4.

Таблица 27.4. Удельное количество ДТП на автомагистралях и дорогах общей сети

Происшествия	Страна	Количество происшествий на 1 млн. авт.-км	
		автомобильные магистрали	автомобильные дороги общей сети
Общее количество	Венгрия	0,37	2,75
	Франция	0,50	0,95
	Япония	1,55	4,65
Со смертельным исходом	Англия	0,037	0,055
	Италия	0,038	0,077
	США	0,028	0,098
	Германия	0,020	0,037

Неоднократно делались попытки выяснения причин пользования автомобильными магистралями, даже платными, несмотря на наличие рядом параллельных, вполне благоустроенных автомобильных дорог. Опрос едущих, проводившийся в Италии и США, показал интересные данные о мотивах выбора маршрута по автомобильной магистрали, приведенные в табл. 27.5.

Таблица 27.5. Основные мотивы выбора проезда по автомагистралям

Страна	Процент едущих, избравших движение по автомобильной магистрали по причине		
	выигрыша времени	большей безопасности	большей комфортабельности
Италия	55,0	16,0	22,0
США	77,1	4,0	13,5

Таким образом, основным преимуществом автомобильных магистралей признается *быстрота сообщений, достигаемая высокими скоростями движения.*

Современные скоростные автомобильные магистрали являются **дорогостоящими сооружениями**, особенно при проложении их в сложных условиях рельефа, в густонаселенных районах и при проходе через города. Это объясняется большими объемами строительных работ (в связи со значительной шириной земляного полотна), малыми продольными уклонами, большим числом пересечений в разных уровнях, многочисленными искусственными сооружениями.

Так, например, на магистралях, построенных в разных странах в последние годы, средние объемы земляных работ (в тыс. м³ на 1 км) составляли 100-150 в местностях со слабо пересеченным рельефом, 200-250 в холмистом рельефе и более 300 в условиях сильно пересеченного рельефа. **Средняя стоимость 1 км** четырехполосных автомобильных магистралей, построенных в разных странах на 2000 год составила (в тысячах долларов США): Франция – 1680, Бельгия – 1800, США – 2000, Финляндия – 2100, Германия – 3200, Россия – 3400, Япония – 7200, Австралия – 7800.

Характерен *непрерывный рост стоимости* строительства автомобильных магистралей. Это связано не только с падением денежных курсов и повышением стоимости строительных материалов. Рост интенсивности движения требует повышения капитальности дорожных одежд и земляного полотна, введения дополнительных работ – установки на значительном протяжении мощных ограждений, светоотражающей разметки, оборудования для активного регулирования движения. Средняя стоимость строительства автомобильных магистралей выросла с 1970 по 2004 год почти в 3 раза.

Относительные стоимости отдельных видов работ при строительстве зарубежных автомобильных магистралей существенно отличаются от типичных для СНГ. Высокая стоимость земляных работ на зарубежных автомобильных магистралях объясняется их значительными объемами, перевозкой грунта на большие расстояния из карьеров и высокими требованиями к тщательности уплотнения и отделки земляного полотна. Относительно меньшая, чем в наших условиях, стоимость дорожной одежды является следствием более низкой стоимости каменных материалов, дальность перевозки которых обычно не превышает нескольких десятков километров.

Характерны более высокие, чем в СНГ, затраты на проектно-изыскательские работы, что объясняется индивидуальным проектированием сооружений, широким внедрением вариантного проектирования трассы с точки зрения пространственной плавности и согласования с ландшафтом, весьма детальными грунтово-геологическими обследованиями. Относительно большой процент стоимости искусственных сооружений связан с частым строитель-

ством высоких виадуков вместо насыпей при пересечении долин и широким применением тоннелей.

27.5. Прогнозирование движения по автомобильным магистралям

Период после Второй мировой войны характерен быстрым процессом автомобилизации всех стран. Темпы развития дорожной сети не успевали за ним и интенсивность движения по дорогам с каждым годом значительно возрастала.

Прогноз дальнейшего роста интенсивности движения по дорогам, который положен в основу проектирования новых и реконструкции существующих автомобильных дорог, в настоящее время составляет значительную проблему, так как от интенсивности движения зависит необходимая степень капитальности и технического совершенства строящихся дорог.

Перспективная интенсивность движения по строящейся автомобильной магистрали составляется за счет **нескольких видов транспортных потоков**:

а) ежегодно увеличивающегося потока движения между пунктами, которые связывает автомобильная магистраль, ранее распределявшегося по существующим дорогам;

б) привлеченных с соседних параллельных дорог автомобилей, водители которых желают использовать ценой некоторого удлинения своего маршрута высокие транспортные качества участков новой автомобильной магистрали;

в) вновь возникающих перевозок, вызванных появившимися со строительством совершенной автомобильной дороги возможностями дальнейшего хозяйственного развития обслуживаемой ею полосы;

г) перевозок, связанных с расширившейся возможностью туристских поездок и открытия дальних автобусных линий.

Практика проектирования дорог во всех странах показала сложность определения расчетной интенсивности движения. В бывшем СССР в 1980-х годах при строительстве ряда магистральных дорог интенсивность движения нарастала так быстро, что расчетная с перспективой на 20 лет интенсивность движения из-за недоучета влияния магистрали на развитие района ее проложения и транзитного движения была превзойдена через несколько лет (5-6) после ввода дороги в эксплуатацию. Перспективная интенсивность движения оказывалась заниженной в 2,5-3,5 раза.

Невозможность полного учета перспектив развития промышленности и сельского хозяйства обслуживаемых дорогой районов заставляет проектировщиков практически во всех случаях идти по пути **экстраполяции данных учета движения за предшествующие годы**. Для этой цели на дорогах создают развитую сеть учетных станций, оборудованных автоматическими счетчиками движения. Для уточнения направлений основных грузопотоков опрашивают водителей или распространяют в транспортных или промышленных организациях анкеты о пунктах отправления и назначения основных грузов. Обычно исходят из средней интенсивности движения в наиболее напряженные периоды года (например, в Англии – в августе, в Швеции из средней летней интенсивности за июнь-август).

За расчетный период обычно принимают 15 (Англия) – 20 (ФРГ, Швеция) лет, считая, что экстраполяция на больший срок ненадежна.

В США, где степень автомобилизации страны весьма высока и близка к насыщению, пользуются прямолинейной экстраполяционной зависимостью, считая, что снижение прироста численности автомобилей будет компенсироваться ростом подвижности населения. В Англии и Германии в начале 1960 годов были предложены криволинейные экстраполяционные зависимости, исходящие из предполагаемых на 2000 год уровней автомобилизации. Время показало, что экстраполированные кривые коэффициентов прироста интенсивности в 2000 году практически совпали с реальными данными (ошибки около 10%). Также не обошлось без крупных просчетов, например, в Италии при планировании строительства сети платных магистралей предполагали ежегодный прирост интенсивности движения 5%. Фактически он достиг 20%.

В США рост интенсивности определяют простым умножением интенсивности в период проектирования на поправочный коэффициент. В Германии вводят к найденной аналогичным образом расчетной интенсивности движения поправку, учитывающую отклонение роста интенсивности на данной дороге от средней закономерности для страны. Для этого используют данные учета фактической интенсивности, проведенного через 5-7 лет после учета ин-

тенсивности, принятого за базовый (на данный момент – 1990 г.). Расчетную интенсивность движения определяют из выражения

$$N_{расч} = \frac{N_{факт}}{N_{баз}} \cdot \frac{K_{баз}}{K_{факт}} \cdot \frac{K_{расч}}{K_{факт}} \cdot N_{факт}, \quad (27.1)$$

где $N_{расч}$, $N_{баз}$, $N_{факт}$ – соответственно расчетная, базовая и промежуточная интенсивности движения, авт./сут; $K_{факт}$, $K_{баз}$ – коэффициенты прироста интенсивности по экстраполяционной кривой; $K_{расч}$ – расчетный коэффициент прироста интенсивности.

Английские указания по определению перспективной интенсивности движения с учетом происходящего в Англии изменения состава движения требуют приведения интенсивности смешанного состава движения к эквивалентному числу легковых автомобилей. Соотношение приведенной и фактической интенсивностей в Англии с каждым годом уменьшается в связи с опережающим ростом числа легковых автомобилей по сравнению с грузовыми. Так, если в 1980 году это соотношение составляло 1,21, то в 2000 – 1,17.

Для проектируемой дороги, используя данные учетов движения, сопоставляют значения фактического и планового коэффициента прироста за период с 1990 года по год учета и вводят поправочный коэффициент на величину расчетной интенсивности движения. При этом считают, что на каждые 0,1 отличия фактического коэффициента от планового расчетная интенсивность должна быть соответственно уменьшена или увеличена на 6%. Этим как бы предполагается, что на дорогах с относительно большим процентом грузового движения в дальнейшем будет происходить более быстрый рост количества легковых автомобилей.

Оценка перспективной интенсивности движения введением экстраполяционных коэффициентов обычно сочетается за рубежом с точными расчетами количества автомобилей, отвлекаемых на новую дорогу с существующей дорожной сети.

Особенно детально были поставлены такие обследования при проектировании английской скоростной магистрали Лондон – Бирмингем. На параллельных дорогах, расположенных в полосе шириной примерно 130 км, была развернута сеть постов, на которых в течение двух месяцев два дня в неделю с 6 ч утра до 10 ч вечера проводили учет движения. На двух дорогах, по которым происходило наиболее интенсивное грузовое движение, учет вели круглосуточно. Один раз был проведен на всей сети постов опрос ехавших о маршруте их следования.

Всего было опрошено около 41 000 водителей. На всех маршрутах при помощи испытательных автомобилей, следовавших в общем потоке движения, было установлено время, необходимое для проезда по каждому из маршрутов от Лондона до Бирмингема. Выигрыш во времени от использования автомобилями новой дороги был оценен путем сопоставления средней скорости движения по существующей дороге со средней скоростью движения на автомобильных магистралях Европы и на ранее построенном в Англии участке магистрали на объезде г. Престона.

Было установлено количество автомобилей, переключающихся на автомобильную магистраль, в зависимости от отношения продолжительностей проезда и длин пути по магистрали и по кратчайшей из параллельных автомобильных дорог. Даже при удлинении пути по автомобильной магистрали почти в 1,5 раза 20% автомобилистов предпочитает ехать по более совершенной дороге. Характерно, что это соотношение примерно соответствует равенству продолжительности проезда по обеим дорогам. При дальнейшем удлинении пути количество отвлекаемых автомобилей резко снижается.

В США при проектировании сети междуштатных автомобильных магистралей принимали, что на них переходит с параллельных дорог от 30 до 60% транспортного потока.

Наиболее сложно предугадать прирост движения в результате развития промышленности и сельского хозяйства местности, тяготеющей к вновь строящейся автомобильной дороге. Между тем даже при развитой дорожной сети новое дорожное строительство приносит большой экономический эффект. Автомобильная магистраль, обеспечивающая возможность быстрых перевозок на большие расстояния, открывает возможности кооперации промышленных предприятий и вывоза свежей сельскохозяйственной продукции на дальние расстояния. Это подтверждается, например, отмеченным в итальянской литературе фактом, что за несколько лет после открытия движения по «Дороге Солнца» вблизи от нее было построено 600 новых заводов.

В условиях малой плотности дорожной сети (например, в Российской Федерации) при назначении расчетной интенсивности особенно трудно оценить указанные выше второй и третий (б, в) источники формирования транспортных потоков.

Несколько легче оценить, в первом приближении, на основе долгосрочных хозяйственных планов, формирование грузопотоков на полосе, обслуживаемой дорогой, обязательно вводя достаточно большие коэффициенты увеличения на приближенность расчетов.

В бывшем СССР в 1960-1970 годы для определения перспективной интенсивности движения по магистральным дорогам использовались методы сложных процентов (7-14% в год), а коэффициент на развитие местных грузопотоков и привлечение их издалека на проектируемую дорогу в первом приближении принимался равным 1,5-2,0. С того времени методики сильно не изменились, лишь модифицировались и уточнялись значения коэффициентов в зависимости от района проектирования автомобильной магистрали.

Раньше каждая страна строила дороги, входящие в международную сеть, по собственным техническим условиям. Сегодня технические параметры этих дорог должны быть не ниже, чем специальные рекомендации, разработанные Европейской Экономической Комиссией ООН. Проект этих рекомендаций, рассматривающийся на Международном дорожном конгрессе в Праге, делит все дороги для дальних международных перевозок на *три категории*:

I. *Дороги смешанного назначения* (с проезжей частью, имеющей две полосы движения, шириной 7 м и проезжей частью с несколькими полосами движения, с разделительной полосой или без нее).

II. *Скоростные автомобильные дороги с развязками в разных уровнях или в одном уровне со светофорным регулированием.*

III. *Автомобильные магистрали с развязками в разных уровнях.*

Высокая стоимость автомобильных магистралей ограничивает их строительство только маршрутами с весьма большой интенсивностью движения. В начале 70-х годов прошлого века высказывалось предположение, что протяжение автомобильных магистралей для скоростного движения даже в странах, которые выполняют наибольшие объемы их строительства, будет относительно невелико и даже после выполнения намеченных планов строительства сети автомобильных магистралей их протяжение не превысит 1,5-2,0% от суммарной длины дорожной сети этих стран. Время показало, что эти цифры были несколько заниженными. Так, например, по состоянию на 2004 год в среднем по Европе процент протяженности магистральных дорог составил около 3,5-4,5%, а в США – около 6,5-7,0%.

27.6. Пропускная способность автомобильных магистралей

Автомобильные магистрали предназначены для весьма интенсивных потоков движения. Их строят на направлениях, по которым предполагаются весьма значительные перевозки или когда необходимо сильно сократить затраты времени на проезд. Эти требования не равнозначны. Расчетная пропускная способность всегда является компромиссом между желанием дать возможность проезда по дороге возможно большему количеству автомобилей и обеспечить при этом достаточно высокие скорости движения. При этом пропускная способность напрямую зависит от состава транспортного потока – количественного или процентного соотношения разных типов автотранспортных средств в потоке, различающихся грузоподъемностью, колесными формулами, функциональным назначением и конструктивным исполнением (табл. 27.6).

Таблица 27.6. Состав транспортного потока на дорогах общей сети Беларуси

Индекс дорог	Состав потока по типам автотранспортных средств								
	Легковые	Грузовые			Автопоезда			Автобусы	Другие
		Легкие	Средние	Тяжелые	3 оси	4 оси	5 осей и более		
М	74,0	6,1	4,1	2,0	1,1	3,3	5,7	2,5	0,9
Р	70,8	8,7	7,2	2,2	1,0	3,1	4,7	2,9	2,5

При анализе пропускной способности на этапе проектирования необходимо учитывать средний пробег – сумму путей всех автомобилей или групп автомобилей, имеющих некоторые общие характеристики, за данный период времени. Средний пробег (табл. 27.7) характеризует дорожное движение физических единиц движения без учета грузоподъемности

грузовых автотранспортных средств и вместимости пассажиров в легковых автомобилях и автобусах и определяется по формуле

$$P_c = T_c \cdot N_{сут} \cdot V_{с.в.}, \quad (27.2)$$

где P_c – средний пробег, км/год; T_c – расчетное число дней движения за год; $N_{сут}$ – средне-суточная интенсивность движения характерной группы автотранспортных средств в составе потока, авт/сут; $V_{с.в.}$ – средняя временная скорость, км/ч – скорость, получаемая путем усреднения скоростей движения отдельных автомобилей. Для заданного уровня обеспеченности средняя временная скорость определяется построением кумулятивных (накопленных) кривых распределения скоростей движения всех групп автомобилей, составляющих поток. Средняя пространственная скорость в данный период времени равна суммарному пробегу всех автомобилей, отнесенному к суммарному времени проездов по участку.

Таблица 27.7. Средний пробег по магистральным дорогам в различных странах

Страна	Средний пробег, км/год		
	Легковые автомобили	Автобусы	Грузовики и автопоезда
Франция	14000	30000	20000
Германия	12600	43100	23100
США	18215	15100	19562
Дания	20600	30300	24300

В странах, где на существующей сети дорог создавалась высокая интенсивность движения, считают возможным ориентироваться на меньшие скорости движения транспортных потоков. Желая обеспечить скоростные перевозки, допускают меньшее количество автомобилей на полосу движения. Это подтверждается, например, нормами Англии, которые рекомендуют в местностях с трудными условиями строительства предусматривать при проектировании дорог, используемых для поездок малой дальности, большую загрузку дороги движением (табл. 27.8).

Таблица 27.8. Рекомендуемая загрузка дорог движением в Англии

Средняя дальность поездки, км	Предельная возможность суточная интенсивность движения, тыс. авт./сут при числе полос			Предельная часовая интенсивность на полосу движения, авт./сут
	2	2x2	2x3	
>40	33	50	66	1000
15-40	40	60	80	1200
<15	50	75	100	1500

Таким образом, при назначении норм допустимой интенсивности движения речь идет о планируемом уровне загрузки дороги, подразумевая под ним отношение принимаемой пропускной способности к максимальному количеству автомобилей, которое физически может быть пропущено через участок дороги.

Проектные нормы всегда предусматривают известный резерв пропускной способности. На практике многие дороги СНГ с проезжей частью шириной 7 м (III категория) сегодня работают при интенсивностях, существенно превышающих перспективные 7 тыс. авт./сут, при которых СНиП 2.05.02-85 считают оправданным переход на дороги с отдельными проезжими частями и разделительной полосой (I-а и I-б категории).

Пояснительная записка к проекту технических условий Германии на автомобильные дороги (2000 год) содержит требование, чтобы магистраль с разделительной полосой и проезжими частями шириной 7,5 м имела пропускную способность 25000 авт./сут и оговаривает, что этот норматив содержит запас около 50%, как бы учитывающий возможные просчеты в оценке темпов автомобилизации страны на 2010 г. Это подтверждается данными исследований на магистрали Франкфурт–Висбаден, где средняя дневная интенсивность в одном направлении достигла в 2002 г. 28,7 тыс. авт./сут, а часовая во время периода «пик» – 3,8-3,9 тыс. авт./ч.

За критерий возможности перехода от дорог с двумя полосами движения к дорогам с разделительной полосой и самостоятельными проезжими частями для движения в разных направлениях по техническим условиям и осуществленным в последние годы проектам в разных странах принимают следующие значения (авт./сут): Бразилия – 3000, Испания и Франция – 5000, США – 6000, Япония – 7000, Германия – 7500, Канада – 8000, Англия и Швеция – 9000, Норвегия и Румыния – 10000, Швейцария – 16000.

В Беларуси, как и в бывшем СССР, исходят из интенсивности 7000 авт./сут, а при преимущественном движении легковых автомобилей (более 70%) – приведенной интенсивности в 14000 авт./сут (СНиП 2.05.02-85).

Характерно, что низкие значения интенсивности перехода от дорог с общей проезжей частью для встречных полос движения к дорогам с разделительной полосой чаще всего относятся к техническим условиям стран, где такие дороги еще не строили или строили по соображениям, связанным не с обеспечением пропуски уже сложившегося интенсивного автомобильного движения, а как пионерные дороги, способствующие освоению новых территорий (например, Бразилия). Опыт стран, где автомобильные магистрали существуют уже много лет, показывает, что устройство дорог с самостоятельными проезжими частями для движения в разных направлениях становится необходимым при средней фактической интенсивности движения 9-10 тыс. авт./сут.

Количество полос движения на проезжей части автомобильных магистралей зависит от интенсивности движения. Наибольшее распространение находят магистрали с двумя и тремя полосами движения в каждом направлении.

В разных странах оценивают расчетную пропускную способность автомобильных магистралей в двух направлениях в равнинной и холмистой местности следующим образом (табл. 27.9).

Таблица 27.9. Максимальная расчетная пропускная способность движения

Страны	Единицы измерения	Максимальная расчетная пропускная способность магистралей при числе полос движения		
		2x2	2x3	2x4
Беларусь	прив. авт./сут	40	80	–
Англия	прив. авт./сут	33	50	60
Бельгия	авт./сут	36	54	72
Норвегия	авт./сут	50	–	–
Финляндия	авт./сут	30	–	–
Франция, Германия	авт./сут	25	35	–
Швейцария	авт./сут	35	50	–
Япония	авт./сут	48	72	–
Австрия	авт./ч	3,0	4,0	–
Италия	авт./ч	2,4	3,6	–
Канада	авт./ч	4,0	6,0	8,0
Экономическая Комиссия ООН	авт./ч	3,0	4,5	–

Пропускная способность полосы движения на автомобильных магистралях зависит от большого числа факторов, в первую очередь от состава движения и рельефа местности. Оказывает влияние и возможность поездок на большие расстояния без помех со стороны въезжающих и съезжающих автомобилей.

В США считают, что в благоприятных условиях погоды при современных скоростях движения пропускная способность одной полосы движения шириной 3,65 м в условиях равнинной местности составляет:

- скоростные дороги с полным устранением пересечений в одном уровне и выездов – 1200 авт./ч;
- скоростные дороги с частичным контролем въезда (светофорное регулирование или канализированные пересечения) – 1000 авт./ч;
- магистральные дороги с малым числом пересечений – 700-900 авт./ч;
- то же, с большим числом пересечений – 500-700 авт./ч.

При увеличении числа полос движения пропускная способность возрастает практически прямо пропорционально числу рядов движения. Наблюдения в часы «пик» на автомобильных магистралях в Калифорнии, имеющих многополосные проезжие части, свидетельствуют, что для четырех полос движения в одном направлении снижение пропускной способности незначительно. Но уже при пятиполосном движении в одном направлении в часы «пик» загрузка дороги движением существенно уменьшается, что говорит о просчетах в назначении числа полос движения на перспективу.

Анализ данных технических условий разных стран дает основание ориентироваться при назначении числа полос движения на проезжей части на следующие расчетные величины пропускной способности (табл. 27.10).

Таблица 27.10. Ориентировочные значения перспективной интенсивности при назначении числа полос движения

Число полос движения в одном направлении	Интенсивность движения, тыс. авт./сут		
	Строительство оправдано	Нормальная нагрузка	Предельная допустимая нагрузка
2	10	20	30
3	25	30	45
4	35	40	60

Рекомендации СНиП 2.05.02-85 строить дороги с разделительной полосой при перспективной интенсивности движения более 7000 авт./сут предусматривают достаточный запас пропускной способности, компенсирующий на практике не всегда строгое соблюдение технологии и организации строительства.

27.7. Особенности движения по автомобильным магистралям

Высокие скорости движения по современным автомобильным магистралям требуют учета при проектировании следующих особенностей движения автомобилей и восприятия водителями дорожных условий.

1. Возрастает длина тормозного пути, так как при росте скорости происходит снижение величины коэффициента сцепления, а продолжительность реакции водителей увеличивается. При высоких скоростях меняется характер торможения. В этом случае при пониженных значениях коэффициентов сцепления шины с покрытием малейшие различия в регулировке тормозных колодок на разных колесах автомобиля при резком торможении могут приводить к заносу. Даже при необходимости экстренной остановки водители вынуждены осуществлять снижение скорости путем ряда последовательных притормаживаний. Эта проблема решена в начале 1980 годов путем установки на автомобили системы ABS (Anti-block system), которая устраняет эффект полной блокировки колес и практически ликвидирует занос.

2. На ровных гладких покрытиях автомобильных магистралей во время дождя, когда поверхность дороги покрыта тонким слоем воды, может возникать **гидропланирование** (аквапланирование) – накопление воды в зоне контакта передних колес с покрытием. Подъемная сила образующегося под колесом водяного клина приподнимает колесо, которое теряет контакт с покрытием, в результате чего автомобиль становится неуправляемым. Скорости, при которых возможно гидропланирование, близки к скоростям движения на автомобильных магистралях.

3. Опыт эксплуатации автомобильных магистралей выявил также необходимость принятия защитных мер против **воздействия на автомобили бокового ветра**, особенно внезапных его порывов. При движении в открытой местности водитель противодействует давлению бокового ветра установкой передних колес под некоторым углом к направлению движения, компенсирующим смещение автомобиля с полосы движения. При этом возникает **боковой увод шин**. Такое состояние равновесия нарушается при въезде автомобиля в зону затишья («ветровая тень») – в выемку, на мост со сплошными перилами или на участок дороги с густыми растительными ограждениями. Распрямляющиеся шины при устранении бокового увода создают боковой толчок, который может привести к заносу автомобиля. Аналогичное положение возникает и при выезде автомобиля при сильном боковом ветре из-за укрытия на открытое место. Боковой толчок бывает тем более интенсивным, чем выше скорость автомобиля. Расчеты, выполненные на кафедре мостов Московского автомобильно-дорожного института, показали, что опасность дорожных происшествий из-за сноса автомобиля ветром на полосу встречного движения возникает при тем меньшей скорости бокового ветра, чем выше скорость движения:

скорость легкового автомобиля, км/ч	60-80	100	120	150;
опасная скорость бокового ветра, м/с	15	10	5	4.

Боковой ветер особенно опасен на дорогах, проходящих в открытой степной местности, по берегу моря, на высоких насыпях и в условиях холмистого рельефа при чередующихся выемках и насыпях. Так, например, на автомобильной магистрали в Нидерландах, проложенной по гребню плотины, ограждающей осушенный участок моря, для предотвращения аварий потребовалось устанавливать вдоль служебных зданий решетчатые заборы высотой 3 м с просветами между вертикальными планками, постепенно уменьшающимися

от концов к середине. Имеются сведения, что вызванные сильным боковым ветром происшествия наблюдались и на Московской кольцевой дороге, проходящей в типичном ландшафте лесостепи с перемежающимися небольшими по длине участками полей и пересекаемых лесов.

Условия движения по автомобильным магистралям имеют ряд *отличий от движения по обычным дорогам*:

– *вождение автомобиля упрощается*. Геометрические элементы плана и профиля автомобильных магистралей обеспечивают возможность современным автомобилям проезжать большие расстояния без переключения передач, остановок перед светофорами и частых торможений. Движение по дороге с плавной трассой не требует больших поворотов руля. Поэтому управление автомобилем связано с большими затратами энергии водителями;

– *основные трудности в управлении* могут возникать только в связи с обгонами движущихся в том же направлении других автомобилей. При большой интенсивности в часы «пик» осложнения условий движения могут быть существенными, поскольку в условиях плотного потока автомобилей сохраняются достаточно высокие скорости. В другое время, когда на магистрали складываются условия свободного или группового движения, действия водителя определяются только особенностями восприятия им дорожных условий при высокой скорости;

– *взгляд водителя удаляется на большое расстояние от автомобиля*. Это является следствием как сознательного учета резко возрастающей длины тормозного пути, так и воздействием мелькания в глазах боковых предметов придорожной обстановки. Чтобы рассмотреть какой-либо предмет при высокой скорости, водитель должен сосредоточить на нем взгляд издалека, так как иначе у него просто не хватит для этого времени. Малое время, которое водитель может выделить на один элемент придорожной полосы, дает ему возможность оценивать только крупные элементы или обобщенные группы мелких. Красивый вид, открывающийся через узкую просеку в лесу, остается незамеченным едущими с высокой скоростью, так как он промелькнет раньше, чем удастся что-либо рассмотреть;

– *управление автомобилем всегда связано с возникновением у водителей нервно-психической напряженности*. Наиболее уверенные и безошибочные действия водителя соответствуют некоторой оптимальной степени напряженности, которая возбуждает его активность и способствует повышенной внимательности;

– *отличие восприятия водителями движения по автомобильным магистралям от движения по обычным дорогам связано с высокими скоростями и режимами движения*. Конструкция поперечного профиля магистралей, разделяющая встречные потоки автомобилей, существенно упрощает вождение автомобилей, так как обгон осуществляется в случае необходимости без заезда на полосу встречного движения. Движение пешеходов и велосипедистов отсутствует. Магистрали часто ограждаются от прилегающей местности изгородями, что исключает возможность неожиданного появления на дороге человека, животного или въезжающей с поля по пологим откосам невысокой насыпи сельскохозяйственной машины. В ряде случаев легкие условия движения по автомобильным магистралям приводят к снижению внимательности водителей. Психологическая уверенность в том, что при движении по магистрали неожиданности исключаются, вызывает существенное *увеличение продолжительности реакции водителей*, которое учитывается в технических условиях некоторых стран.

В часы малой интенсивности движения на длинных прямых участках, проходящих в однообразной степной местности или по лесным просекам, у водителей и пассажиров автомобилей иногда возникает своеобразное дремотное, граничащее со сном «заторможенное» состояние высшей нервной деятельности. Острота восприятия водителями окружающей обстановки снижается, мысли рассеиваются или переключаются на события, не имеющие отношения к движению по дороге. Возникает чувство апатии и отключения от окружающей обстановки.

Иногда, наоборот, как следствие особенностей дорожных условий автомобильных магистралей в однообразной открытой степи у водителей, особенно не имеющих опыта вождения по магистралям, возникает противоположная реакция, так называемый «гипноз скорости», приводящий к опасному росту скорости.

В обоих описанных случаях ошибочные последствия неправильного восприятия водителями особенностей движения с высокими скоростями могут приводить к возникновению аварийных ситуаций. Они тем более опасны, что при большой скорости предотвращение возможного происшествия требует очень быстрых и решительных действий, затруднительных для многих водителей из-за отмеченного выше возрастания продолжительности реакции.

В связи с этим на автомобильных магистралях **особенно опасными становятся места резкого изменения условий движения** – участки, где были допущены минимальные значения нормативов на элементы плана и профиля или неправильно установлены знаки или указатели, информирующие водителей о режимах движения. Как показал опыт эксплуатации автомобильных магистралей, на таких местах особенно часты дорожные происшествия.

Можно высказать достаточно обоснованное предположение, что для автомобильных магистралей минимальное значение коэффициента безопасности, характеризующее безопасные условия движения, должно быть повышено с 0,8 до 0,9. Это подтверждается, например, достаточно частыми случаями наездов на впереди идущие автомобили на переходных скоростных полосах пересечений в разных уровнях.

27.8. Принципы обоснования технических условий на проектирование автомобильных магистралей

Принципы проектирования автомобильных дорог и развитие теории их проектирования прошли ряд этапов. В начале прошлого столетия при проектировании дорог для гужевого транспорта факторами, определяющими положение дорог в плане и профиле, являлись **стоимость и удобство строительства**. Им были подчинены требования технических условий. Удлинение трассы всегда предпочиталось осуществлению больших объемов работ, необходимых для приложения более короткой дороги.

Появление автомобилей выдвинуло на первый план удовлетворение требований **динамики автомобиля**. Нормативы плана и профиля дорог начали рассчитывать на возможность движения с высокими скоростями. Впервые, в самом начале тридцатых годов прошлого столетия, выявилась необходимость обеспечения видимости дороги водителями на большом расстоянии.

Строительство автомобильных магистралей для интенсивных перевозок с высокими скоростями заставило обратить внимание на то, что обеспечение только требований устойчивости и возможности своевременного торможения автомобиля еще не решают проблем безопасности и удобства движения. Возникла потребность учета особенностей **восприятия водителями дороги и окружающего ландшафта** при движении с высокой скоростью. Быстрая езда не оставляет времени на долгое раздумывание для принятия решения. Поэтому направление движения должно быть ясно водителю на большом расстоянии, а искажение вида дороги в перспективе не должно вынуждать водителей необоснованно изменять режимы движения.

Начался новый этап учета психологических факторов воздействия дорожных условий на водителей при движении с высокими скоростями, который вызвал еще до начала Второй мировой войны появление идей пространственной плавности трассы, зрительного ориентирования и ландшафтного проектирования дорог.

В послевоенный период был накоплен большой опыт строительства автомобильных дорог в различных условиях климата и рельефа. Несмотря на это, нельзя считать технические условия на проектирование автомобильных магистралей разработанными с исчерпывающей подробностью и обоснованностью. Периодически во всех странах их подвергают пересмотру и уточнению на основе опыта эксплуатации построенных дорог и результатов новых научных исследований в области проектирования дорог и теории автомобиля. При этих пересмотрах отражают происходящие изменения в составе автомобильного парка и учитывают перспективы его дальнейшего развития.

Несмотря на неизбежные в разных странах различия в принципах подхода к обоснованию норм на отдельные элементы трассы автомобильных дорог, характерна повсеместная направленность на переход к изысканию закономерностей сочетания плана и профиля и величин их элементов, обеспечивающих **удобство и легкость управления автомобилем**.

ми, движущимися в насыщенном транспортном потоке, а также на **комфортабельность проезда и экономичность перевозок**.

Технические условия Гушосдора НКВД 1938 г. и немецкие технические условия 1936 г., равно как и технические условия других стран того же периода, предусматривали обеспечение устойчивости движения одиночного автомобиля с максимальной расчетной скоростью по отдельным, рассматриваемым изолированно друг от друга элементам дороги, не учитывая влияния интенсивности движения и взаимных сочетаний элементов плана и профиля. При этом условия движения значительно упрощались и схематизировались.

Для технических условий этого периода характерен напряженный режим движения автомобилей, предусматриваемый в расчетных схемах. Схемы видимости из условия обгона допускали поворот автомобилей с минимальными радиусами; в схемах остановки перед препятствием принимали минимальную продолжительность реакции водителя, полное использование тормозного усилия, максимально допустимое значение коэффициента сцепления и т. д. На самом деле водители управляют автомобилями менее напряженно, что приводит к расхождениям между расчетными предпосылками и фактическими условиями движения по дорогам.

В послевоенный период было обращено большое внимание на роль взаимного сочетания элементов дорог друг с другом, на установление закономерностей фактических режимов движения на дорогах и на связь между интенсивностью движения по дорогам, скоростью движения и пропускной способностью. Почти во всех странах были развернуты обширные исследования влияния интенсивности движения автомобилей на скорость и структуру транспортных потоков в различных дорожных условиях.

Наблюдениями охватываются десятки дорог, фиксируются проезды десятков тысяч автомобилей. **Целью подобных обследований** является выявление средних условий движения, типичных для большинства водителей. **Характеризующие поток движения параметры устанавливаются методами математической статистики применительно к достаточно большой обеспеченности, обычно порядка 85% от общего числа автомобилей.**

Использование характеристик режима движения по дорогам потоков автомобилей дает возможность надежно установить значения постоянных коэффициентов и параметров в формулах теории проектирования дорог для обоснования требования к элементам их плана и профиля.

Весьма показательным в этом отношении примером является *подход к установлению величины радиусов кривых в плане*. Первоначально их нормировали только по условию устойчивости автомобилей против заноса или опрокидывания, исходя из значения коэффициента поперечного сцепления шины с покрытием. Изучение движения автомобилей по кривым выдвинуло новые критерии подхода – удобство и неустойчивость управления автомобилями, комфортабельность проезда для пассажиров, ограничение износа шин, вызываемого их боковым уводом, хорошая видимость дороги на кривой водителем и другие, которые привели к необходимости увеличения радиусов кривых.

Дальнейшее развитие технических условий на проектирование автомобильных магистралей было связано с итогами проводимого в течение 1960-1970 годов углубленного изучения **двух вопросов**:

а) психофизиологических процессов в организме водителей при движении в различных дорожных условиях;

б) закономерностей движения транспортных потоков и связи их скоростей с дорожными условиями.

Исследование этих вопросов дало материалы для дальнейшего совершенствования технических условий на проектирование дорог, предназначенных для движения с высокими скоростями.

Установление объектов, привлекающих к себе внимание водителей, сравнительная оценка их информационной значимости, определение границ оптимальной эмоциональной напряженности водителей и пассажиров позволило лучше отразить в технических условиях требования удобства и неустойчивости управления автомобилем и поездок по дорогам.

Раскрытие закономерностей транспортных потоков дало возможность отразить в нормативах особенности интенсивного движения автомобилей и предусмотреть мероприятия по

организации и управлению движением в целях увеличения пропускной способности по сравнению со стихийно складывающимися на дорогах режимами движения.

Изучение режимов движения по дорогам связано с широким использованием *математической статистики*. Приложение ее методов к изучению закономерностей движения потоков автомобилей и, самое главное, к формулировке при их помощи требований к элементам профиля и плана дорог встречает некоторые возражения. Иногда возникают споры, правильно ли подчинять трассирование проектируемых в настоящее время дорог, которые будут использоваться десятилетиями, пожеланиям современных водителей, может быть, не во всех случаях достаточно обоснованным и связанным с современными типами покрытий и их состояниями.

Часто высказывается противоположная точка зрения о том, что элементы дороги должны определять режим движения автомобилей, организуя их потоки и обеспечивая безопасность движения. Это возражение ставит под сомнение возможность использования установленных в настоящее время закономерностей движения по дорогам для прогноза условий движения будущих автомобилей по более совершенным дорогам.

Эти возражения были преодолены в начале 1990 годов, когда при дальнейшем совершенствовании требований к элементам автомобильных дорог начали сочетать *комплексный генетический метод анализа*, детально исследующий механизм явлений, систематически наблюдаемых при движении потока автомобилей, и *статистический метод*, позволяющий на основе обработки данных многочисленных наблюдений наиболее верно и отчетливо выделить из массы второстепенных явлений суммарное влияние основных факторов на режим движения, поскольку устойчивость частоты повторяемости массовых явлений всегда вызывается объективно существующими, хотя иногда еще и не раскрытыми причинами.

Большое внимание, уделяемое изучению закономерностей потоков движения, не может полностью исключить необходимость анализа безопасности и удобства движения по дороге одиночных автомобилей с высокими скоростями с использованием новейших достижений теории автомобилей. Многообразие типажа выпускаемых автомобилей не позволяет выполнять эти расчеты применительно ко всем типам автомобилей, встречаемых на дорогах. Развитие международных торговых и культурных связей и расширение автомобильного туризма осложняет эту задачу, делая необходимым учет не только отечественных, но и заграничных марок автомобилей.

Поэтому в 1990 годах актуальным стало установление типовых расчетных автомобилей с нормированными характеристиками. В бывшем СССР эти показатели были нормированы всесоюзным стандартом, разработанным применительно к рекомендациям международной конвенции. Технические условия ряда стран (Швеции, Англии, Японии, США) включают габаритные размеры и другие характеристики расчетных автомобилей, необходимые для проектирования элементов плана, в частности пересечений в одном уровне с направляющими островками. В США, приведенные в нормах Ассоциации сотрудников дорожных организаций штатов (AASTHO), габаритные размеры расчетных автомобилей с обеспеченностью порядка 98-100% были получены путем статистического анализа размеров автомобилей выпуска 1992 г. с введением некоторых коррективов, направленных на учет тенденций изменения габаритов в течение последних лет.

Перед Второй мировой войной за границей (в Германии) предполагали, что автомобильная промышленность будет приспосабливать конструкцию автомобилей к дорожным условиям. Поэтому в начале 30-х годов при строительстве первых немецких автомобильных магистралей допускали большие продольные уклоны (в зависимости от рельефа местности 40-80‰) в надежде, что это приведет к последующему улучшению динамических качеств грузовых автомобилей. Эти расчеты не оправдались, и значительное снижение скорости грузовых автомобилей до сих пор является причиной уменьшения скорости транспортных потоков на подъемах, приводящей к повышению аварийности при попытках обгона легковыми автомобилями. В результате в послевоенный период германские дорожники были вынуждены снизить величину предельных уклонов до 40-65‰ и предусматривать на автомобильных магистральных специальных дополнительных полосах проезжей части для грузовых автомобилей.

Необходимость учета тенденций автомобилестроения при проектировании дорог связана с тем, что повышение комфортабельности легковых автомобилей и улучшение состоя-

ния дорожной сети приводят к уменьшению высоты просвета автомобилей с соответствующим снижением уровней глаз водителей над поверхностью проезжей части. Современные технические условия Франции и Германии, предвосхищая дальнейшие тенденции автомобилестроения, исходят при определении видимости в продольном профиле из возвышения глаза водителя всего лишь на 1 м над уровнем покрытия (в Беларуси – 1,2 м). В связи с возрастанием скоростей движения автомобилей это привело к необходимости увеличения расчетной видимости и радиусов выпуклых вертикальных кривых.

Необходима разработка согласованных с автомобильной промышленностью параметров типовых расчетных автомобилей, что позволит проектировать дороги с учетом более полного удовлетворения требований перспективного движения. Наряду с этим автомобильная промышленность должна более внимательно учитывать в конструкции автомобилей климатические и дорожные условия характерных природных районов, поскольку срок службы автомобилей меньше продолжительности использования существующих дорог.

27.9. Особенности назначения технических нормативов автомобильных магистралей

27.9.1. Расчетные скорости движения

Совершенствование конструкции автомобилей обеспечивает принципиальную возможность значительного повышения скоростей движения по дорогам, что доказывается результатами так называемых «шоссейных гонок» на автомобилях, переоборудованных из автомобилей массового производства. Современные автомобили могут развивать скорости до 200-250 км/ч и более. Средние скорости движения по дорогам постепенно, хотя и сравнительно медленно, возрастают. Это заставляет ряд стран нормировать верхний предел допустимой скорости движения.

В Германии на автомобильных магистралах, проходящих по незастроенным районам, средние скорости движения легковых автомобилей с 1950 по 1975 г. ежегодно возрастали на 2,5 км/ч, а на отдельных участках даже на 4,0 км/ч. В Англии установили, что на прямых участках автомобильных магистралей с обеспеченной видимостью в течение последних 20 лет средняя скорость движения ежегодно возрастала примерно на 1,5 км/ч. Несколько меньшим (0,8 км/ч) был темп прироста средней скорости на дорогах США за период с 1952 по 1972 г. Однако во всех случаях это возрастание происходило в основном за счет тихоходной части транспортного потока, скорость которой увеличивалась в результате повышения динамических качеств автомобилей, а также чисто дорожных мероприятий, например строительства дополнительных полос на подъемах. С начала 1970-х по настоящее время такого существенного роста средних скоростей движения уже не наблюдается, они ограничиваются безопасностью движения на автомобильных магистралах. Например, на дорогах Германии с 1975 по 2004 год средние скорости движения возрастали примерно на 0,3-0,5 км/ч в год.

Все время средние скорости движения оставались ниже расчетных скоростей, на которые проектируют автомобильные дороги, а максимальные были близки к ним. Исследования, проведенные в Германии в 2000 году, показали, что скорость в 140 км/ч (разрешенный предел скорости на категории I-a) существенно (на 30-40%) превышало малое количество автомобилей – около 5%. В то же время на платных дорогах разрешенный предел скорости существенно выше (на крайних левых полосах до 200-250 км/ч), что связано с совершенством их конструкции, большей безопасностью движения и удобством проезда.

Расчетной скоростью движения по дороге (Design Speed, Vitesse de referense, Vitesse de base, Entwurfsgeschwindigkeit) называют наибольшую безопасную скорость, с которой одиночный автомобиль может проезжать кривые в плане и продольном профиле при отсутствии помех движению, ясной погоде, чистом, ровном, слегка влажном покрытии, когда скорость движения зависит только от геометрических элементов трассы. Она соответствует примерно скорости 85% обеспеченности транспортного потока. *Расчетная скорость определяет размеры всех геометрических элементов дороги* (радиусы кривых в плане и продольном профиле, ширину полосы движения, продольный уклон), кроме числа полос движения на проезжей части.

Увеличение расчетной скорости вызывает существенный рост стоимости строительства автомобильной дороги, и поэтому к назначению расчетных скоростей подходят и из эко-

номических соображений, стремясь получить оправданное соотношение между стоимостью дорожных работ и себестоимостью перевозок с учетом в ней и потерь от дорожных происшествий.

На прямых участках дорог с малыми продольными уклонами, расположенных между участками, запроектированными на расчетную скорость, автомобили могут развивать более высокие скорости на перегонах. В отдельных местах участков могут быть еще большие скорости («Maximum speed at given point», «Vitesse instantanee maximale»).

Соотношение скоростей на перегонах и скоростей в «узких местах», ограничивающих скорость, характеризует однородность трассы и безопасность движения. Во Франции величину этого соотношения нормируют для разных расчетных скоростей, т. е. для дорог разных категорий:

расчетная скорость, км/ч	40	60	80	100	120	140;
скорость на перегонах, км/ч	65±5	75±10	90±5	100±5	110±5	130±5;
коэффициент безопасности	0,60	0,70	0,85	0,95	1,0	1,0.

В данном случае в несколько измененном виде реализуется та же идея, что и в используемых в Беларуси критериях для оценки безопасности движения коэффициентов безопасности.

В Германии техническими условиями установлено, что разница скоростей 85% обеспеченности при влажной чистой поверхности дороги не должна превышать на смежных участках 10 км/ч. Это соответствует при скорости 80 км/ч коэффициенту безопасности 0,88, а при скорости 140 км/ч – 0,93.

Средняя скорость транспортных потоков на автомобильных магистралях (Running speed, Vitesse pratiquee) ниже расчетных скоростей. Это связано с тем, что, поскольку характеристики параметров, определяющих условия взаимодействия колес автомобилей с покрытиями, обычно принимают применительно к влажным, но чистым покрытиям, для нормальных условий движения (по сухим покрытиям) создается дополнительный запас безопасности, обеспечивающий возможность 15% автомобилей ехать со скоростью, превышающей расчетную, правда, при меньшей степени безопасности. При исключительно неблагоприятных погодных условиях расчетная скорость не обеспечивается и движение может осуществляться лишь с пониженной скоростью. Поэтому совершенно неправильны суждения о том, что та или иная дорога построена для движения с определенной, точно указываемой скоростью движения. Фактически возможная скорость движения зависит от сочетания элементов плана и продольного профиля, от погодных условий и, кроме того, индивидуальна для каждого водителя и каждого автомобиля в зависимости от его состояния, степени износа двигателя, состояния шин, типа подвески и других факторов.

Отношение средней скорости транспортных потоков к расчетной тем меньше, чем выше расчетная скорость. Это объясняется как взаимным влиянием автомобилей, проявляющимся тем значительнее, чем интенсивнее движение, так и особенностями психологического восприятия дорожных условий водителями, большинство из которых едет по дороге с меньшими скоростями, чем позволяют ее проектные данные и техническое состояние.

В Бельгии считают, что в среднем фактическая скорость движения составляет 0,75 от расчетной, во Франции – 0,70, Германии – 0,73 и в США – 0,85. В то же время зависимость между расчетной скоростью и фактической средней скоростью движения в зависимости от расчетной скорости имеет нелинейный характер, т.е. при расчетной скорости 100 км/ч фактическая скорость движения составляет около 0,75, при 120 км/ч – 0,70, при 140 км/ч – около 0,65 от расчетной.

Несмотря на отмеченное выше непрерывное совершенствование конструкций автомобилей и рост средних скоростей транспортных потоков, **расчетные скорости при проектировании автомобильных магистралей мало изменились за период 1970-2004 годы**, а в ряде случаев (особенно для дорог низших категорий) имеют тенденцию к уменьшению. **Это объясняется рядом причин**, связанных как с экономикой строительства, так и с вопросами безопасности движения:

а) стоимость строительства значительно (в 2-3 раза) возрастает при незначительном (на 10-20%) повышении расчетной скорости движения;

б) при движении по дороге потока автомобилей в связи с различием типов автомобилей, их загрузки и технического состояния, а также в связи с индивидуальными особенно-

стями водителей *средняя скорость уменьшается с ростом интенсивности движения*. Чем больше интенсивность движения, тем меньше возможностей для обгона, и поэтому одновременно со снижением средней скорости уменьшается скорость самых быстрых автомобилей. Реализовать расчетные скорости при плотном или насыщенном транспортном потоке можно лишь на платных дорогах при большом (4 и более) количестве полос движения в одном направлении при выделении отдельных полос для групп типов автомобилей с одинаковыми динамическими факторами;

в) высокие скорости движения могут быть обеспечены только при *повышенных требованиях к ровности покрытия и тщательности его ремонта и содержания*;

г) при возрастании скоростей движения, как показывает статистика, *число дорожных происшествий и их тяжесть быстро увеличиваются*. Предъявляются более высокие требования к конструкции ограждающих устройств на дорогах, и стоимость их соответственно становится большей;

д) *пониженная безопасность движения* при высоких скоростях и наличии сильного бокового ветра, а также возникновения эффекта гидропланирования на мокром покрытии;

е) быстрый рост парка автомобилей во всех странах неизбежно влечет за собой вожделение их *менее опытными водителями*. Это еще более увеличивает опасность происшествий при высоких скоростях движения. В Англии считают, что при скоростях, превышающих 160 км/ч, не более 5% водителей могут уверенно и надежно управлять автомобилем;

ж) в странах, малых по площади, увеличение скоростей движения по дорогам, связанное с ростом затрат на дорожное строительство, не приводит к существенному выигрышу времени даже при поездках по наиболее длинным маршрутам. Поэтому, например, в Венгрии, хотя технические условия и предусматривают максимальную расчетную скорость 150 км/ч, дорогу из Будапешта на оз. Балатон проектировали на 120 км/ч.

Расчетные скорости автомобильных магистралей в последнее десятилетие не имеют тенденций к увеличению. Более того, во многих случаях первоначально предусматривавшиеся высокие скорости движения в дальнейшем были понижены. Так, при проектировании в Бельгии в 1934-1935 гг. дороги магистрального типа Брюссель – Остенде за расчетную принимали скорость 170-190 км/ч. В современных бельгийских технических условиях расчетные скорости снижены до 150 км/ч. В Италии на первых участках «Дороги Солнца» и во Франции на дороге Париж – Нормандия предусматривалась скорость 160 км/ч. В современных технических условиях она уменьшена до 140 км/ч. В Дании дорогу Копенгаген – Эльсинор проектировали на скорость 150 км/ч. Сейчас расчетная скорость в технических условиях снижена до 120 км/ч.

Еще более характерно изменение расчетных скоростей в Германии. Технические условия на автомобильные магистрали Германии 1936 года предусматривали в равнинной местности скорость 160 км/ч. В проекте (1963 г.) технических условий (RAL – L), которыми пользовались и при проектировании автомобильных дорог магистрального типа, скорость была снижена до 100 км/ч. В утвержденных в конце 2000 г. типовых поперечных профилях автомобильных магистралей федерального значения предусмотрена расчетная скорость 120 км/ч для магистралей, рассчитанных на дальние перевозки, которая в отдельных случаях может быть повышена до 140 км/ч, и 80-100 км/ч для дорог магистрального типа, связывающих отдельные крупные населенные пункты.

Экономическая Комиссия ООН по Европе рекомендует для сети международных автомобильных магистралей расчетные скорости 140 км/ч в равнинной местности, 120 км/ч в пересеченной и 100 км/ч в сильно холмистой местности.

Рельеф местности накладывает существенные ограничения на величину расчетных скоростей. Строительство автомобильных магистралей с техническими нормативами, обеспечивающими движение в трудных условиях рельефа с теми же скоростями, что и в равнинной местности, была бы связана с выполнением очень больших объемов строительных работ и удорожанием стоимости строительства дороги, которое лишь в редких случаях могло бы быть оправдано особенностями движения.

Поэтому технические условия большинства стран предусматривают также градацию расчетных скоростей в зависимости от сложности рельефа. В среднем, расчетные скорости для холмистого рельефа составляют 0,85; для сильно пересеченного и горного – 0,7 и для высокогорного – 0,65 от расчетных скоростей для равнинного рельефа.

В Венгрии при нормировании расчетных скоростей учитывают не только рельеф местности, но и *степень ее заселенности*, осложняющую прокладку трассы, удорожающую строительство и создающую опасность попадания людей на дорогу. Малонаселенные местности приравниваются к равнинным, плотнонаселенные – к холмистым, а плотнонаселенные в районах с частым (расстояние между населенными пунктами менее 10 км) расположением населенных пунктов – к горным.

В Японии расчетную скорость увязывают с интенсивностью движения. Даже в равнинной местности, где нет природных препятствий для продолжения трассы, расчетную скорость принимают 150 км/ч при интенсивности более 30 тыс. авт./сут. и уменьшают ее до 100 км/ч при интенсивности движения менее 10 тыс. авт./сут.

В странах со сравнительно малой территорией и густой сетью дорог, нуждающейся в реконструкции (Германия, Англия, Франция), в последние годы возникла идея нового подхода к назначению расчетных скоростей движения на строящихся отрезках автомобильных магистралей и реконструируемых участках дорог. При автомобильных перевозках в зависимости от расположения пунктов отправления-назначения обычно используется несколько дорог и по автомобильной магистрали происходит лишь часть поездки. Скорость при этом зависит от длины поездки и ее назначения. Редкие водители развивают высокие скорости при малой дальности поездки.

Поэтому, например, технические условия Германии на проектирование автомобильных дорог, находящихся в подчинении дорожных управлений федеральных земель, предлагают при назначении элементов поперечных профилей и типов покрытий исходить из второй расчетной скорости (120 км/ч), средней для маршрутов перевозок, названной оптимальной или сетевой (*Netzgeschwindigkeit, Optimalgeschwindigkeit, Bemessungsgeschwindigkeit*), которая учитывает дальность и цель основной массы поездок.

Сравнение с западными стандартами свидетельствует, что проектные скорости для дорог в Беларуси в целом немного выше, чем существующие в странах Западной Европы (табл. 27.11).

Таблица 27.11. Расчетные скорости, км/ч

Страна	Категория дороги					
	I-a	I-b	II	III	IV	V
Беларусь	150	120	120	100	80	60
Дания	120	100	90	80	60	50
Германия	140	120	100	80	60	40
Великобритания	120	–	120	100	80	60
Франция	140	120	100	80	60	60
Польша	–	120	100	100	70	60

Проектная скорость по нормам, применяемым в Беларуси, имеет отношение к высокому уровню безопасности, и что еще более важно, она рассчитывается для сухой поверхности, а поэтому отличается от большинства западных стандартов, рассчитывающих проектную скорость для чистой и влажной поверхности.

Коэффициент продольного сцепления, используемый для определения расчетной скорости равен 0,6 при скорости 60 км/ч, для сравнения 0,46 во Франции и 0,33 в США. Это может привести к повышению числа несчастных случаев и ДТП на дорогах Беларуси. Согласно информации Министерства строительства и архитектуры, в среднем, на 100 км автомагистралей М1-М12 приходится 4,3 ДТП, а на 100 км дорог республиканского, областного и местного значения – 22 ДТП.

В ближайшие годы в странах СНГ, до тех пор пока не получит широкое распространения спутниковая автоматизация управления автомобилями, нет оснований проектировать вновь строящиеся магистральные дороги для дальних перевозок в равнинной местности на расчетные скорости движения свыше 150 км/ч. Что касается стран ЕС и США, то существующие системы спутниковой навигации обеспечивают достаточно комфортные условия для поездок на большие расстояния с точки зрения объезда участков дорог с плотным и насыщенным транспортным потоком, минимизации расстояний и оптимизации проезда по платным автомобильным дорогам.

Как показала практика, дороги для интенсивных грузовых перевозок на сравнительно короткие расстояния можно рассчитывать на скорости 80-100 км/ч.

27.9.2. Видимость дороги

На автомобильных магистралях с разделительной полосой исключена возможность столкновения со встречным автомобилем при обгоне. Поэтому в технических условиях на проектирование магистралей предусматривают требования к видимости с учетом остановки при экстренном торможении перед препятствием на дороге. Нормативные значения видимостей, предусматриваемых в разных странах, колеблются довольно значительно (табл. 27.12) при рекомендуемых значениях около 450-500 м. Величины расстояний видимости при разных скоростях отражают в скрытом виде влияние рельефа местности, так как осложнению условий рельефа для автомобильных магистралей соответствует понижение величины расчетной скорости.

Таблица 27.12. Расчетное расстояние видимости (длина тормозного пути), м

Страна	Расчетная скорость, км/ч							
	140	120	100	80	60	50	40	30
Беларусь	290	250	200	150	85	75	55	45
Дания	–	210	120	85	70	40	–	–
Германия	380	275	185	115	70	50	35	25
Великобритания	–	290	200	130	90	–	–	–
Франция	320	230	160	105	65	50	35	25
Польша	–	280	190	120	70	50	35	–

Различия расстояний видимости в нормах разных стран связаны с тем, что хотя для их определения на автомагистралях используют обычные схемы, применяемые при расчетах видимости на автомобильных дорогах, однако при одинаковой структуре расчетных формул величины входящих в них параметров различны в разных странах. Различие объясняется как принятыми при расчетах величинами коэффициента сцепления и продолжительности реакции водителя, так и схемой видимости – возвышением глаза водителя над проезжей частью и высотой препятствия на дороге. Так, в Беларуси приняты нормы возвышения глаз водителя 1,2 м и высота препятствия – 0,2 м, в Германии соответственно – 1,0 м и 0,05 м, в США – 1,12 м и 0,15 м.

Продолжительность реакции водителей, включая в нее и период срабатывания тормозов, при проектировании автомобильных магистралей принимают равной 2,5 с в Австрии, Канаде, США; 2 с – в Германии, Италии, Франции и Швейцарии; 1,5 с – в Швеции.

В связи со значением расстояния видимости как параметра, определяющего безопасность движения и транспортные качества дороги, неоднократно делались попытки уточнения схем, положенных в основу расчетов расстояний видимости.

Так, например, во Франции было обращено внимание на необходимость учета особенностей торможения на криволинейных участках дороги, где обычно происходит большее, чем на прямых участках, количество происшествий. Рекомендуется исходить при определении длины тормозного пути на кривых из величины отрицательного ускорения при торможении, составляющего 0,6 от ускорения на прямых участках. Разница в расчетных расстояниях видимости получается существенной:

расчетная скорость, км/ч	80	100	120	140;
необходимая видимость на прямых, м	105	160	230	320;
видимость на кривых, м	120	180	280	380.

Учет разницы в расстояниях видимости в некоторых случаях увеличивал в 1,5 раза необходимую величину срезов видимости на кривых в плане.

Нормативные расстояния видимости для автомобильных магистралей, как правило, меньше расстояний видимости, требуемых на дорогах более низких технических категорий, не имеющих разделительной полосы, поскольку для магистралей видимость определяют из условия остановки перед препятствием. Формально это правильно, так как возможность появления встречного автомобиля исключается, если не считать случаев временного закрытия одной из проезжих частей для ремонта. Однако наблюдения за скоростями движения по дорогам показали, что когда расстояния видимости близки к ее минимальной нормативной величине, то скорости движения существенно снижаются. Водителю, едущему с высокой скоростью, для психологической уверенности в возможности поддерживать такую скорость необходимо видеть дорогу на расстояниях, значительно превышающих величину тормозного пути. Поэтому при проектировании автомобильных магистралей стремятся обеспечивать

видимость, существенно превышающую нормативную. В бывшем СССР в практике проектирования автомобильных магистралей стремились обеспечивать всегда, когда это возможно по местным условиям, видимость поверхности дороги не менее 600 м. В Германии принимают ее равной 750 м, хотя технические условия требуют для равнинной местности только 380 м. Технические условия Франции, которые также нормируют видимость из условия торможения, рекомендуют выдерживать при строительстве дорог указанные ниже расстояния видимости, несмотря на то, что это бывает связано с увеличением объема земляных работ и повышением стоимости строительства:

расчетная скорость, км/ч	80	100	120	140
рекомендуемая видимость, м	400	600	800	1000

Такая тенденция совершенно правильна, так как при малых расстояниях видимости невозможно обеспечивать трассирование дорог для движения с высокими скоростями с соблюдением современных требований пространственной плавности и зрительного ориентирования водителей.

Большое значение, придаваемое обеспечению видимости, проявляется также в том, что в настоящее время является обязательной оценка проектов дорог по обеспеченности видимости. На основе данных о плане и профиле при помощи ЭВМ строят линейные графики видимости, внося в случаях необходимости ее увеличения соответствующие исправления.

27.9.3. Параметры поперечного профиля

Для обеспечения безопасности движения при высокой скорости необходимо разделить различные виды транспортных средств по направлениям движения, типам и скоростям.

Тихоходные виды транспортных средств, приводимые в движение как мускульной силой (велосипеды, повозки на тяге животных), так и двигателями (маломощные мопеды, тракторы и сельскохозяйственные машины), на магистрали не допускаются. В случаях необходимости для них оборудуют специальные полосы, отделенные от проезжих частей для автомобилей. Такие же требования необходимо предъявлять и к маломаневренным транспортным средствам типа троллейбусов, которые иногда на кривых создают помехи для движения автомобилей.

Необходимость разделения транспортных средств, для того чтобы каждое из них смогло наилучшим образом реализовать свои динамические возможности, быстро выявилась в процессе строительства дорог для автомобильного движения. *Характерным примером может служить постепенное изменение требований к поперечному профилю дорог магистрального типа:*

1920-1925 гг. – проезжая часть с двумя полосами движения шириной 5,5-6,0 м;

1925-1930 гг. – проезжая часть с тремя или четырьмя полосами движения шириной 8,5-12,0 м;

1931-1935 гг. – самостоятельные проезжие части для движения в разных направлениях шириной по 6,7-7,0 м, с выпуклой разделительной полосой шириной 3-5 м;

1940 г. – самостоятельные проезжие части по 7,0-7,5 м с широкой разделительной полосой вогнутого профиля. Обтекаемые профили земляного полотна;

1945 г. – самостоятельные проезжие части по 7,5 м с широкой разделительной полосой переменной ширины в зависимости от рельефа местности. Ступенчатое расположение проезжих частей на косогорах;

1955-1960 гг. – тот же профиль, но с введением дополнительных полос для движения грузовых автомобилей на подъемы, с устройством сплошных укрепленных стояночных полос на обочинах и укладкой вдоль краев проезжих частей узких краевых полос, отличающихся по цвету от основного покрытия. Очень пологие откосы невысоких насыпей;

1960-1970 гг. – раздельное трассирование проезжих частей, с удалением в зависимости от местных условий на значительное расстояние друг от друга. Обозначение краевых полос на уширенном покрытии линиями разметки.

1970-2005 гг. – дальнейшее совершенствование конструкций покрытий, применение световозвращающих типов разметок, увеличение количества полос на подъездах к крупным населенным пунктам и аэропортам.

Для современных автомобильных магистралей типичен поперечный профиль, состоящий из следующих элементов (рис. 27.11):

- самостоятельные проезжие части для одностороннего движения в каждом направлении;
- грунтовая разделительная полоса между ними;
- переходные краевые полосы, отделяющие проезжую часть от грунтовой поверхности разделительной полосы, а также от смежной стояночной полосы или обочины;
- стояночная полоса для автомобилей или дополнительная полоса для тихоходных транспортных средств на подъемах;
- грунтовая обочина.

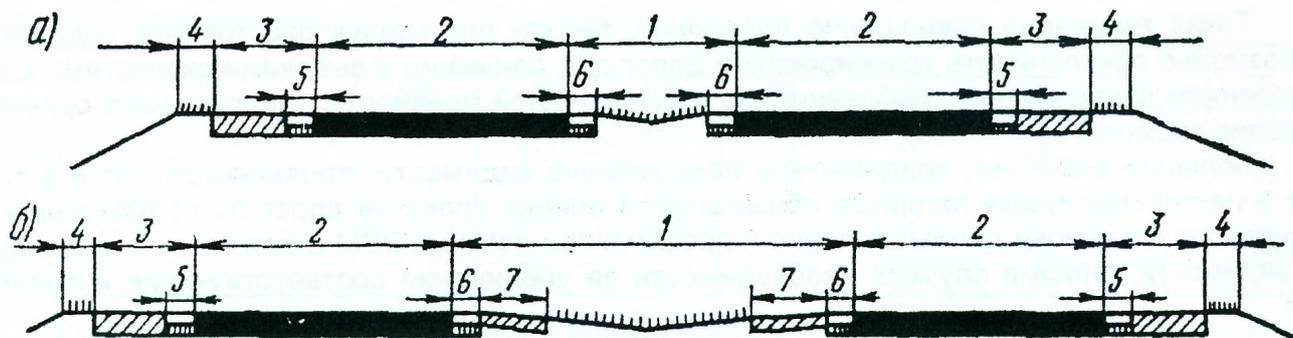


Рис. 27.11. Элементы поперечного профиля современных автомобильных магистралей: а – при узкой разделительной полосе; б – при широкой разделительной полосе: 1 – разделительная полоса; 2 – проезжая часть; 3 – стояночная полоса или дополнительная полоса для движения на подъеме; 4 – грунтовая обочина; 5 – внешняя краевая полоса; 6 – внутренняя краевая полоса; 7 – внутренняя укрепленная обочина

При широкой разделительной полосе или раздельном трассировании проезжих частей, кроме устройства краевой полосы, может быть укреплена прилегающая к ней часть разделительной полосы, как бы образуя внутреннюю обочину.

Как видно на рис. 27.11, большая часть обочины занята краевыми полосами и полосами для вынужденной стоянки автомобилей, имеющими дорожную одежду, почти не отличающуюся по прочности от одежды основной проезжей части. Эти стояночные полосы являются своеобразным резервом проезжей части в случаях резкого, «пикового» возрастания интенсивности движения, так как могут в этом случае быть использованы для пропуска движения. Собственно грунтовая обочина сводится к узкой полосе шириной от 0,5 до 1 м, используемой для установки ограждений.

Заезд автомобилей колесами на краевые полосы при движении не разрешается, и поэтому при определении ширины элементов проезжей части внутренние краевые полосы относят к разделительной полосе, а крайние – к стояночной полосе или обочине. На рис. 27.12 приведены профили автомобильных магистралей, построенных в разных странах или рекомендуемых техническими условиями. Несмотря на различия в размерах элементов и в отдельных деталях, всем этим профилям присущи указанные выше общие принципы компоновки.

Покрытиям на автомобильных магистралах чаще всего придают односкатный уклон от разделительной полосы к краю земляного полотна. Это связано с желанием обеспечить благоприятный водный режим земляного полотна и свести к минимуму количество воды, просачивающейся в него через разделительную полосу. Особенно характерен такой профиль для дорог с узкой выпуклой разделительной полосой.

С появлением широких разделительных полос вогнутого профиля, когда стало необходимым предусматривать периодический отвод воды по системе ливнеотводов в пониженные места рельефа, приведенные выше соображения потеряли свое значение. Возникло стремление уменьшить количество воды, стекающей во время дождя по крайней полосе движения в связи с опасностью гидропланирования шин.



Рис. 27.12. Схематические поперечные профили автомобильных магистралей в разных странах: а – СНГ (Киев – Борисполь); б – СНГ (Вильнюс – Каунас); в – Австрия (Вена–Зальцбург); г – Англия, технические условия; д – Бельгия, технические условия; е – Болгария, технические условия; ж – Венгрия (Будапешт – оз. Балатон); з – Германия (Дрезден – Лейпциг); и – Италия, технические условия; к – Италия (Пьяченца – Кремона – Бресция); л – Канада, технические условия; м – Мексика, технические условия; н – Нидерланды; о – Норвегия, технические условия; п – Новая Зеландия, технические условия; р – Египет (Кипр – Александрия); с – Португалия (Лиссабон – Порто); т – Сирия, технические условия; у – США, технические условия; ф – Финляндия (Хельсинки – Лахти); х – Франция, технические условия; ц – Франция (Париж – Лион); ч – Германия, технические условия; ш – Чехия (Прага – Мирошовиче); щ – Швейцария, технические условия; э – Швеция, технические условия; ю – Япония (Кобе–Нагоя)

Поэтому каждой проезжей части придают двускатный уклон со стоком воды к разделительной полосе и обочине. Технические условия США предоставляют проектировщикам право выбора между двускатным и односкатным поперечным профилем в зависимости от ширины разделительной полосы и климатических условий. В бывшем СССР применялись оба типа поперечных профилей (рис 27.13).

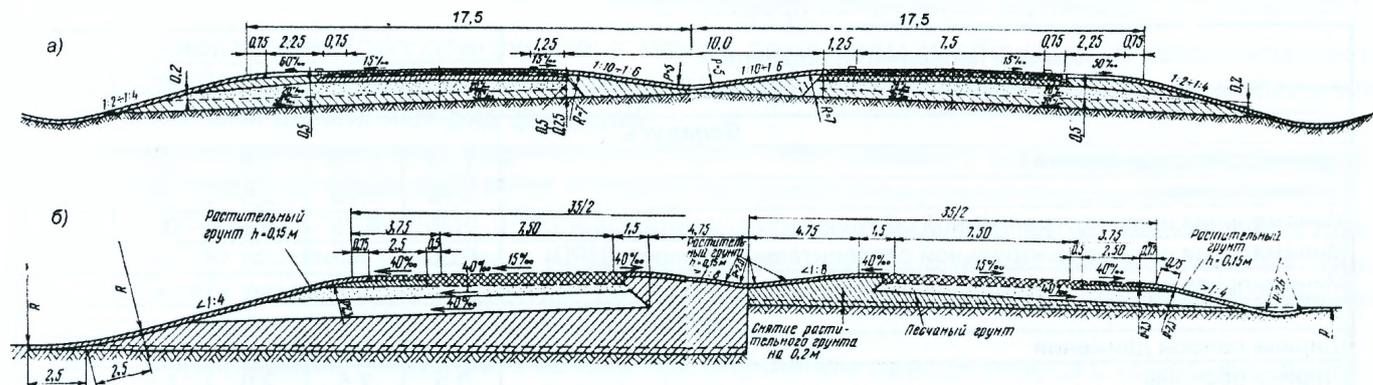


Рис. 27.13. Поперечные профили автомобильных магистралей: а – Вильнюс – Каунас с двускатными профилями проезжих частей; б – подъезд к аэропорту Шереметьево (г. Москва) с односкатными поперечными профилями проезжих частей

При современных методах трассирования дорог пространственными кривыми на значительной части своего протяжения магистральные дороги имеют виражи с односкатными

поперечными профилями и вопрос о выборе поперечных профилей проезжей части имеет значение только для прямых участков и кривых очень большого радиуса. Односкатный поперечный профиль более целесообразен при ширине разделительной полосы до 6-7 м. При большей ее ширине двускатный поперечный профиль, помимо улучшения стока воды с проезжей части, облегчает устройство виражей, так как требуется меньшая величина подъема внешней бровки проезжих частей.

В связи с устройством на автомобильных магистралях усовершенствованных асфальтобетонных или цементобетонных покрытий их проезжим частям придают малые поперечные уклоны, которые практически одинаковы во всех странах. Они составляют для покрытий всех типов 15‰ в СНГ, 17‰ в Нидерландах, 20‰ в Японии, Италии и Испании, а также для бетонных покрытий во Франции и асфальтобетонных в Венгрии. Уклон 25‰ принят для всех покрытий в Англии и для асфальтобетонных во Франции. В Финляндии уклоны составляют 25-35‰. В США для крайней внутренней полосы движения на покрытии принимают уклон 12‰, увеличивая его для каждой последующей на 5‰. Учитывая отмеченную выше способность гидропланирования при высоких скоростях движения, следует считать целесообразным увеличение поперечного уклона проезжей части автомобильных магистралей до 25‰.

Ширина полосы движения на проезжей части автомобильных магистралей колеблется в разных странах в довольно узких пределах – от 3,25 до 3,75 м. Можно считать, что опыт эксплуатации автомобильных магистралей доказал достаточность при современных скоростях полосы движения 3,75 м, которая принята сейчас в подавляющем большинстве стран, в том числе и в Беларуси. В Австралии и Новой Зеландии полосы движения равны 3,7 м, в Англии, США, Мексике и Швейцарии – 3,65 м, Нидерландах и Японии – 3,6 м, причем для специальных условий движения в Японии разрешено увеличивать ширину полосы движения до 3,75 м.

В связи с принятием во всех странах стандартов на габариты автомобилей, ограничивающих их ширину, полоса движения 3,75 м вполне обеспечивает безопасность и удобство движения автомобилей при современных расчетных скоростях в нормальных условиях эксплуатации – при сухом ровном покрытии, наличии краевых полос и отсутствии бокового ветра. Говоря о ширине полосы движения, необходимо учитывать, что на большинстве магистралей использование ширины проезжей части облегчается наличием сбоку от покрытий прочных краевых полос или укрепленных обочин, в результате чего водители имеют возможность вести автомобиль вблизи края покрытия. Если включить в общую ширину проезжей части размеры краевых полос, поскольку прочность их соизмерима с прочностью дорожной одежды, то ширина эффективной полосы проезжей части будет составлять 4,0-4,5 м.

Ширина полос движения и обочин в целом больше в Беларуси чем в ЕС, особенно это характерно для дорог I и II категорий. Эти показатели превышают аналогичные цифры для большинства стран Европы (за исключением автомагистралей и национальных дорог в Германии) (табл. 27.13).

Таблица 27.13. Параметры поперечного профиля, м

Параметры поперечного профиля	Категории дорог				
	I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6
Беларусь					
Ширина полосы движения	3,75	3,75	3,5	3,0	–
Ширина обочины	3,75	3,75	2,5	2,0	1,75
Минимальная ширина укрепленной обочины	0,75	0,75	0,5	0,5	–
Минимальная ширина центральной разделительной полосы (ЦРП)	6,00	–	–	–	–
Минимальная ширина укрепленной части ЦРП	1,00	–	–	–	–
Дания					
Ширина полосы движения	3,5	3,5	3,0	3,0	2,5
Ширина обочины	3,5	2,5	2,0	1,5	1,5
Минимальная ширина укрепленной обочины	2,5	0,5	–	–	–
Минимальная ширина ЦРП	3,0	–	–	–	–
Минимальная ширина укрепленной части ЦРП	0,5	–	–	–	–

1	2	3	4	5	6
Германия					
Ширина полосы движения	3,75	3,75	3,25	3,25	2,75
Ширина обочины	4,50	3,75	2,0	1,5	1,0
Минимальная ширина укрепленной обочины	3,00	2,25	0,5	–	–
Минимальная ширина ЦРП	4,00	–	–	–	–
Минимальная ширина укрепленной части ЦРП	1,00	–	–	–	–
Англия					
Ширина полосы движения	3,65	3,65	3,65	3,65	3,00
Ширина обочины	4,80	3,0	3,5	3,5	1,0
Минимальная ширина укрепленной обочины	3,30	1,0	1,0	–	–
Минимальная ширина ЦРП	4,00	–	–	–	–
Минимальная ширина укрепленной части ЦРП	1,00	–	–	–	–
Франция					
Ширина полосы движения	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0
Ширина обочины	5,0	3,5	3,25	2,75	2,75
Минимальная ширина укрепленной обочины	3,0	2,5	2,5	2,0	–
Минимальная ширина ЦРП	3,0	–	–	–	–
Минимальная ширина укрепленной части ЦРП	1,0	–	–	–	–
Польша					
Ширина полосы движения	3,75	3,5	3,5	3,5	3,0
Ширина обочины	4,25	3,5	2,5	1,25	1,0
Минимальная ширина укрепленной обочины	2,50	2,0	2,0	–	–
Минимальная ширина ЦРП	2,50	2,0	–	–	–
Минимальная ширина укрепленной части ЦРП	0,50	0,5	–	–	–

В табл. 27.14 приведена ширина проезжей части в зависимости от категории дорог и числа полос движения для Беларуси и стран ЕС. В целом, стандарты Беларуси по нормированию ширины проезжей части несущественно различаются со стандартами ЕС для дорог высоких категорий (I-III), в то время как для V категории, имеющих в Беларуси одну полосу движения (4,5м), эти различия более значимы.

Таблица 27.14. Ширина проезжей части, м

Страна	Категория дороги							
	I-a		II	III	IV	V		
	Число полос движения							
	4	3	2	2	2	2	2	1
Беларусь	15,0	11,25	7,5	7,5	7,0	6,0	–	4,5
Дания	14,0	10,5	7,0	7,0	6,0	6,0	5,0	–
Германия	15,0	11,25	7,5	7,5	6,5	6,5	5,5	–
Великобритания	14,6	11,0	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	–
Франция	14,0	10,5	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	–
Польша	–	10,5	7,5	7,0	7,0	7,0	6,0	–

27.9.4. Краевые полосы

Краевые полосы, располагающиеся между покрытием и обочиной и разделительной полосой, давно уже стали обязательным элементом поперечного профиля автомобильных магистралей. Они выполняют ряд **функций**:

- резко разграничивая покрытие и обочину, обеспечивают хорошую видимость водителями края проезжей части, помогая их зрительному ориентированию;
- способствуют лучшему использованию ширины проезжей части, так как, хотя проезд по краевым полосам и не разрешается, водитель может вести колесо автомобиля у самого края покрытия, не боясь попасть на размокшую грунтовую обочину или заехать на стояночную полосу;
- предотвращают опасность заноса при случайном съезде колеса с проезжей части;
- предохраняют край покрытия от обламывания, а при грунтовых обочинах предотвращают размягчение подстилающего грунта, которое может ослабить кромку покрытия.

В некоторых случаях при строительстве бетонных покрытий, используя ранее уложенные бетонные краевые полосы как основание для рельс-форм, удавалось добиться повышения ровности покрытия.

Наличие краевых полос положительно сказывается на обеспечении безопасности движения. По венгерским данным, их устройство снизило на некоторых дорогах количество происшествий на 21%. Однако ширина краевой полосы не оказывает существенного влияния на количество дорожных происшествий. В Венгрии не было отмечено разницы в этом отношении для дорог с краевыми полосами шириной 0,50 и 0,75 м при равной интенсивности движения.

Краевые полосы должны удовлетворять следующим требованиям:

- контрастно отличаться от поверхности покрытия по цвету или отделяться от него контрастными линиями разметки. В Англии, например, краевая линия разметки должна быть рефлектирующей или устроена из белого пластика;
- иметь равный с покрытием коэффициент сцепления;
- иметь прочность, равную основному покрытию, во избежание повреждений при заездах колес автомобилей;
- быть устойчивыми против износа, воздействия атмосферных факторов и гигроскопических солей, применяемых при борьбе с гололедом, не препятствовать стоку воды и очистке снега с дороги;
- быть водонепроницаемыми, не допускать проникания поверхностной влаги в грунтовое основание;
- иметь конструкцию, не осложняющую технологических процессов строительства.

Ширина краевых полос у обочины и у разделительной полосы на автомобильных магистралях, предусмотренная в нормах на проектирование разных стран, колеблется от 0,5 до 2,0 м. При этом большие значения (1,0-2,0 м) предусмотрены для краевой полосы у разделительных полос. В последние годы начала наблюдаться тенденция к уменьшению ширины краевых полос с внешней стороны проезжей части. Во многих случаях эти полосы сопрягаются со стояночными полосами для вынужденной остановки автомобилей, также имеющими прочную дорожную одежду. Поэтому ширина краевой полосы практически не отражается на условиях движения и полосы заменяют линией разметки, обозначающей край проезжей части.

Большее значение имеет ширина краевой полосы около разделительной полосы. При широкой разделительной полосе вогнутого поперечного профиля сравнительно узкая краевая полоса уже не дает водителю психологической уверенности в безопасности движения. Поэтому в поперечный профиль иногда вводят внутреннюю укрепленную обочину шириной 1,2-2,0 м, сопрягающуюся с разделительной полосой или непосредственно, или через краевую полосу (см. рис. 27.13). Широкие краевые полосы, безусловно, необходимы, при возвышающихся разделительных полосах, которые влияют на траектории движения автомобилей.

Одним из важнейших требований к краевым полосам является их *контрастность с покрытием проезжей части и обочин*, как при дневном свете, так и в ночное время. Первоначально краевые полосы делали из белого бетона, который хорошо отличается по цвету от темных асфальтобетонных покрытий или серого бетона проезжей части и от темных обочин. Бетонные краевые полосы устраивали бетонированием на месте при помощи специальных укладчиков или собирали из заранее приготовленных плит.

Опыт эксплуатации показал, что бетонные краевые полосы имеют ряд недостатков. Загрязняясь в процессе эксплуатации, они мало контрастны с бетонными покрытиями. В них возникают трещины. В шов между бетонными полосами и основным покрытием иногда проникает вода.

При строительстве дорог с асфальтобетонными покрытиями бетонные краевые полосы осложняют технологию строительства, вынуждая иметь два вида смесителей и укладчиков, поэтому в последние годы бетонные краевые полосы из сборных плит чаще всего используют при реконструкции дорог.

В последние годы на вновь строящихся дорогах, чтобы получить краевую полосу, проезжую часть строят более широкой и отделяют нужную ширину наносимой краской линией краевой разметки. При этом нижележащие конструктивные слои дорожной одежды делают более широкими, чем расположенные над ними, таким образом, чтобы средний угол наклона полученной ступенчатой линии составлял 60° , что соответствует углу естественного откоса, образуемому при укатке горячих смесей, обработанных битумами. Конструкция обоих типов краевых полос показана на рис. 27.14.

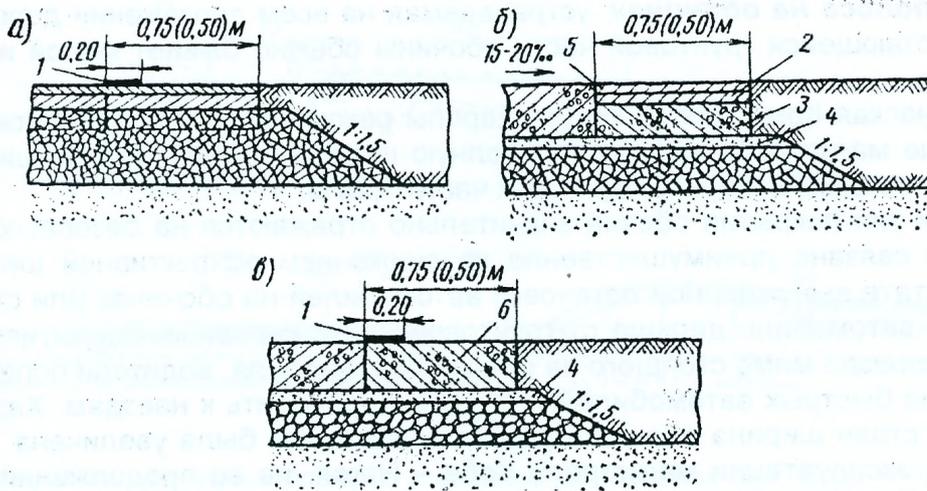


Рис. 27.14. Конструкция краевых полос: а – устраиваемых путем уширения проезжей части; б – из сборных бетонных плит; в – бетонированные на месте; 1 – наносимая краской разметочная линия; 2 – предварительно изготовленная на заводе плита из белого бетона толщиной 6 см; 3 – монолитный бетон; 4 – выравнивающий слой из песка или песка, обработанного органическими вяжущими материалами; 5 – заполнение шва битумной мастикой; 6 – плита, забетонированная на месте

Желание обеспечить контрастность между краевыми полосами и покрытием в любых условиях погоды вызвало появление ребристых краевых полос, которые, отражая свет фар, лучше видны, чем гладкие, ночью и особенно в дождливую погоду. Широкого распространения они не получили в связи с усложнением процесса строительства дорог и необходимостью весьма тщательного ухода за ними в процессе эксплуатации. В настоящее время широко применяется рефлектирующая краевая разметка.

Для предупреждения водителей о съезде колеса автомобиля с покрытия были предложены конструкции краевых полос с выступами, которые не только отражали бы свет фар, но при наезде колеса вызывали тряску автомобиля и отклоняли колесо назад на проезжую часть.

Первоначально краевые полосы устраивали с крупными выступами, подбирая их рисунок таким образом, чтобы достичь ощутимой тряски как грузовых, так и легковых автомобилей в достаточно широком интервале скоростей. Такой опыт был проведен в шестидесятые годы прошлого века на Московской кольцевой дороге. Однако в процессе эксплуатации выяснилось, что тряска при наезде на полосы с крупными выступами настолько неприятна для водителей, что у них возникает боязнь попасть колесом на краевую полосу и траектория движения автомобилей смещается к середине проезжей части, заметно ухудшая использование проезжей части. Ребристые полосы имеют и ряд эксплуатационных недостатков – трудность очистки от грязи, неудобства при снегоочистке, большую подверженность бетона коррозии. Поэтому сейчас их не устраивают.

Как показал опыт эксплуатации дороги Вена – Зальцбург, для того чтобы водитель по шуму и тряске ощутил съезд с основного покрытия, совершенно достаточно устроить краевые полосы из мозаики или брусчатки. Единственный недостаток этой во всех других отношениях удачной конструкции – необходимость использования ручного труда при замощении.

27.9.5. Полосы для остановки автомобилей. Обочины

Для уверенного вождения автомобиля с высокой скоростью на внешней полосе проезжей части водителю психологически необходимо наличие широкой полосы между проезжей частью и бровкой земляного полотна. Поэтому на автомобильных магистралях устраивают достаточно широкие обочины (см. табл. 27.13).

Хотя остановки на обочинах для отдыха или устранения мелких неисправностей автомобилей на магистральных дорогах категорически запрещаются, при проектировании приходится учитывать необходимость удаления испортившихся автомобилей с проезжей части на обочину для ожидания технической помощи, так как стоянка их на проезжей части сильно стесняла бы движение и создавала опасность дорожных происшествий. Поэтому на автомобильных магистралях вводится специальный элемент поперечного профиля – **укрепленная**

стояночная полоса на обочинах, устраиваемая на всем протяжении дороги. В этом случае ширина остающейся грунтовой части обочины обычно бывает малой и чаще всего не превышает 1 м.

Экономическая Комиссия ООН для Европы рекомендует в «Технических условиях на международные магистральные дороги» полную ширину обочин 3,75 м, ширину краевой и стояночной полос 2,5 м и ширину грунтовой части 1,25 м.

Ширина и тип покрытия обочин значительно отражаются на безопасности и скорости движения, что связано преимущественно со снижением эффективной ширины проезжей части в результате вынужденной остановки автомобилей на обочинах или стремлением водителей вести автомобиль дальше от грунтовой или с неровным покрытием обочины. Отклоняясь при проезде мимо стоящего на обочине автомобиля, водители попадают на полосу движения более быстрых автомобилей, что может приводить к наездам. Характерно поэтому, что в ряде стран ширина обочин и укрепленных полос была увеличена. Так, например, учитывая опыт эксплуатации магистрали Кобе – Нагоя, на ее продолжении Нагоя – Токио ширина обочин была увеличена с 2,75 до 3,25 м.

К стояночным полосам на обочинах предъявляют следующие требования:

- прочность дорожной одежды, достаточная для стоянки самых тяжелых автомобилей транспортного потока;
- возможность пропуска по стояночным полосам движения малой интенсивности;
- четкое отделение от основных полос движения краевой полосой, линией разметки или окраской, отличающейся от цвета основного покрытия.

Последнее обстоятельство должно подчеркивать отличие назначения стояночных полос от проезжей части. В Германии рекомендуют для этой цели обрабатывать стояночные полосы из бетона, расположенные около бетонных покрытий, битумной эмульсией из расчета 0,4-0,8 кг/м².

Делались попытки введения в бетон на стояночных полосах красителей. Однако при малом содержании красителя цветовой контраст незначителен, а при большом проценте добавок возникает опасность снижения прочности бетона. *На асфальтобетонных покрытиях различие в окраске стояночной полосы от основного покрытия иногда обеспечивают устройством поверхностной обработки из щебня, отличающегося по цвету от щебня в покрытии основной проезжей части.*

Следует сказать, что различие в окраске и внешнем виде основных полос движения и стояночной полосы обычно отражается на траектории движения автомобилей и использовании ими ширины проезжей части. Наблюдения показали, что при обочине, покрытой травой, траектория движения автомобилей смещается на 50 см к оси дороги, а при гравийной обочине на 15 см по сравнению с траекторией при обочине, имеющей покрытие, которое построено с применением органических вяжущих материалов. Поэтому вид покрытия стояночной полосы или укрепленной обочины должен внушать уверенность водителям, что случайный заезд на него при высокой скорости не угрожает ему заносом.

Влияние автомобиля, стоящего на укрепленной полосе обочины, перестает сказываться, когда между ним и проезжающим автомобилем остается зазор, соответствующий обгону с аналогичной относительной разностью скоростей. Учитывая возможность частичного свеса кузова стоящего на обочине автомобиля над неукрепленной частью обочины, можно считать, что минимальная ширина обочины или укрепленной стояночной полосы составляет 2,75-3,00 м.

На обочину стекает вся вода с проезжей части и выпуклой разделительной полосы. Она может вызывать размыв откосов земляного полотна и загрязнение прилегающих ценных сельскохозяйственных угодий. Поэтому иногда предусматривают устройство на обочинах возвышающихся бордюров или валиков, которые собирают ее и отводят к лоткам на откосах или к отводным трубкам (рис. 27.15).

Асфальтобетонный валик, устраиваемый на дорогах Японии (рис. 27.15б), формируется в процессе укладки покрытия на стояночной полосе специальной машиной. Он может задерживать большое количество воды, что увеличивает расстояние между местами ее сброса. Однако он может затруднять очистку дороги от снега.

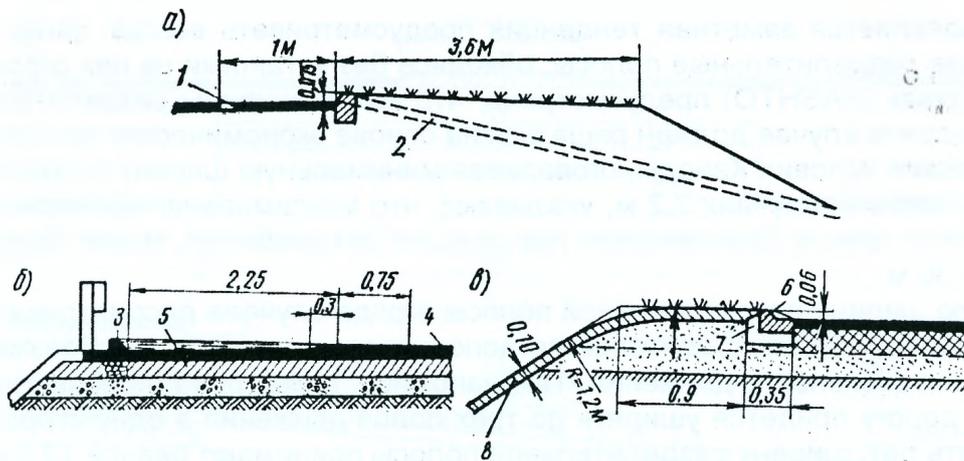


Рис. 27.15. Примеры конструкции бордюров и валиков на обочинах для сбора воды: а – возвышающийся бордюр с периодическим отводом воды к подошве насыпи трубками (Англия); б – асфальтобетонный валик (Япония); в – возвышающийся бордюр (Венгрия); 1 – краевая разметка; 2 – трубка для отвода воды к подошве насыпи; 3 – валик из асфальтобетона; 4 – асфальтобетон; 5 – нижний слой дорожной одежды; 6 – возвышающийся бордюр; 7 – бетонное основание под бордюр; 8 – растительный грунт

В английской конструкции (рис. 27.15а) сбор воды, стекающей с покрытия, осуществляется более просто – укладкой скошенного бордюрного камня и возвышением грунтовой части обочины. Чтобы не устраивать громоздких лотков на обочинах, для отвода воды закладывают отводные трубки. Аналогичная конструкция с возвышающимся на 6 см бордюром предусматривается и на дорогах Венгрии (рис. 27.15в).

Все эти решения имеют общий недостаток – трудоемкость и необходимость затрат ручного труда. Однако с точки зрения безопасности движения и эстетических требований к дорогам они имеют преимущество перед мелкими лотками, укладываемыми для перехвата воды, стекающей с покрытия, на границе между проезжей частью дороги и обочиной на участках дорог, расположенных в насыпях. Вероятно, наиболее удачным решением должно явиться механизированное формирование асфальтобетонного валика по типу японского, но имеющего более приемлемый пологий обтекаемый переносимым снегом профиль.

27.9.6. Разделительная полоса

На автомобильных магистралях, чтобы полностью устранить взаимное влияние встречных потоков движения и исключить возможность заезда автомобилей на полосу встречного движения при обгоне, устраивают широкие разделительные полосы, покрытые травой или засаживаемые кустарниками и деревьями.

Взгляды на назначение разделительных полос с начала строительства автомобильных магистралей претерпели ряд изменений. Вначале их рассматривали только как место для посадки кустарников, препятствующих ослеплению водителей светом фар встречных автомобилей в ночное время. В дальнейшем, частые случаи тяжелых аварий, вызванных столкновениями при пересечениях автомобилями разделительной полосы в случаях заноса или неисправности рулевого управления, вызвали появление широких разделительных полос вогнутого профиля, при переезде которых автомобиль теряет значительную часть своей кинетической энергии, а водитель может произвести торможение или маневр.

Безопасность движения быстро повышается при увеличении ширины разделительной полосы. Особенно значительно снижение числа происшествий проявляется при ширине до 5-6 м. Увеличение разделительной полосы сверх 12 м уже не оказывает сколько-нибудь существенного влияния. Эти две цифры можно считать характерными для современного подхода к назначению ширины разделительной полосы в разных странах (см. табл. 27.13).

В густонаселенных странах или тех районах отдельных стран, где земля высоко ценится, ширину разделительной полосы принимают минимальной безопасной (4-5 м), устанавливая на ней, при высокой интенсивности движения, ограждения. Примерами таких стран являются Германия и Япония, где в технических условиях даже не оговаривается возможность устройства в отдельных случаях широких разделительных полос. В большинстве дру-

гих стран проявляется заметная тенденция предусматривать всегда, когда это возможно, более широкие разделительные полосы, обходясь без установки на них ограждений. В американских нормах (AASHTO) предусмотрено, что выбор ширины разделительной полосы в каждом конкретном случае должен решаться на основе экономических соображений.

Технические условия Канады, оговаривая минимальную ширину разделительной полосы в исключительных случаях 7,2 м, указывают, что максимальная ее ширина не ограничивается и, с точки зрения безопасности при съездах автомобилей, может быть рекомендована равной 24-30 м.

Большую ширину разделительной полосы в ряде случаев рассматривают как скрытый резерв для последующего строительства дополнительных полос на проезжей части после возрастания интенсивности движения. Так, например, в Венгрии при проектировании считают, что если дорогу придется уширять до трех полос движения в одну сторону раньше чем через двадцать лет, ширину разделительной полосы принимают равной 12,5 м. В противном случае ограничиваются шириной 5 м.

Путепроводы и элементы пересечений в разных уровнях в таких случаях строят сразу из расчета окончательной ширины дороги. При таком резервировании играет немалую роль и стремление избежать дополнительных затрат на приобретение земли, стоимость которой в придорожной полосе после строительства дороги обычно возрастает.

Устройство широкой разделительной полосы требует соответствующего увеличения полосы отвода, которая на зарубежных автомобильных магистралях в ряде случаев достигает значительной ширины, существенно превышающей нормативы, установленные в Беларуси. На магистралях Канады полоса отвода в незатрудненных условиях равна 90 м, в США – 63-93 м.

Широкая разделительная полоса облегчает согласование дороги с рельефом и ландшафтом местности при так называемом «ступенчатом» расположении проезжих частей на местности, имеющей поперечный уклон.

В последнее время в ряде стран (Германии, Бразилии, особенно США) намечается тенденция перехода к строительству двух параллельных дорог для одностороннего движения вместо дороги с разделительной полосой. Практически к тому же свелось на ряде участков строительство скоростной дороги Нью-Йорк–Буффало, где в отдельных местах расстояние между проезжими частями достигало 240 м.

Раздельные проезжие части желательно прокладывать на местности таким образом, чтобы сохранялась единство дороги и у едущих не могло создаться впечатление, что это две параллельные дороги с двумя полосами движения, по каждой из которых возможен проезд в двух направлениях. Для этого почти на всем протяжении дороги с одной проезжей части должна быть видна другая, а периодически они должны сближаться, особенно в местах примыканий и пересечений с другими дорогами. При раздельном трассировании проезжих частей должен быть решен вопрос о хозяйственном использовании расположенной между ними полосы земли.

В зависимости от ширины разделительных полос меняется их конструкция (рис. 27.16). Очень узкие разделительные полосы шириной 1,0-1,8 м располагают в одном уровне с поверхностью проезжей части, устраивая на них покрытие и выделяя линиями разметки, или делают их возвышающимися, чтобы препятствовать переездам через них.

Разделительные полосы шириной от 1 до 5 м устраивают чаще всего в одном уровне с поверхностью проезжей части. Покрытая газоном поверхность ограничивается краевыми полосами, которым иногда придают подъем, примерно 1:6-1:10 к середине дороги.

В пределах населенных пунктов и в пригородных районах, для которых характерен большой процент поездок на небольшое расстояние, разделительную полосу иногда устраивают приподнятой и в бордюрах, что препятствует переезду разделительной полосы.

Возвышающийся бордюр разделительной полосы, если он расположен в непосредственной близости от используемой полосы проезжей части, затрудняет условия движения. Однако в случаях устройства между возвышающимся бортом и проезжей частью достаточно широкой краевой полосы это влияние не ощущается. Более заметны неудобства, вызываемые накоплением пыли и грязи и зимними отложениями снега около возвышающейся разделительной полосы во время поземок.

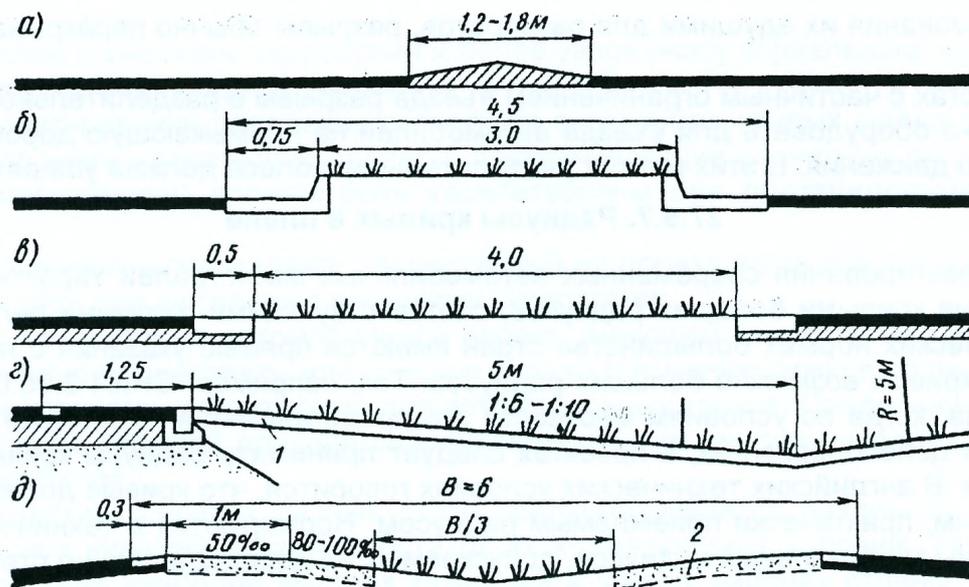


Рис. 27.16. Конструкция разделительных полос разной ширины: а – возвышающаяся полоса из готовых бетонных элементов; б – возвышающаяся полоса с бетонными бордюрами (Япония); в – разделительная полоса в одном уровне с проезжей частью (Германия); г – вогнутая разделительная полоса (СНГ); д – вогнутая разделительная полоса (Франция); 1 – растительный грунт; 2 – укрепленный грунт

Конструктивно удобно устраивать бордюр возвышающейся разделительной полосы в виде объединенных блоков с краевой полосой. Так оформлена разделительная полоса дороги Кобе – Нагоя в Японии (рис. 27.16б). На прямых участках и с верхней стороны виражей на кривых бордюр и краевую полосу бетонировали на месте проходами специального укладчика. С низовой стороны виража бордюр монтировали из сборных элементов, имевших водоприемные отверстия для отвода воды в коллектор, проложенный под разделительной полосой.

При большой интенсивности движения на разделительной полосе шириной менее 4-5 м устанавливают металлические ограждения. Для этого она не должна быть уже 2,5 м.

Широким разделительным полосам придается вогнутый поперечный профиль, что устранивает сток воды на покрытие. Очертание профиля варьируют от двускатного (с округлением пониженной точки дна) до более сложных поперечных профилей с откосами постепенно возрастающей крутизны и плоским дном. Поперечный профиль вогнутых разделительных полос должен обеспечивать совершенно безопасный съезд автомобиля, создавая в то же время достаточное сопротивление движению автомобиля. Полоса не должна иметь вид глубокой, хоть и с пологими склонами траншеи, искажающей общий вид дороги.

На строившихся в последние годы автомобильных магистралях крутизна заложения откосов вогнутых разделительных полос составляла от 1:4 (Канада, США) до 1:15 (Италия), чаще всего 1:6-1:10. Крутизна откосов вогнутой разделительной полосы должна быть увязана с расчетной скоростью, чтобы выкатившийся на нее автомобиль не испытывал сильного удара при переходе через пониженную часть лотка. Поэтому, например, в Канаде считают, что на дорогах с расчетной скоростью 140 км/ч заложение откосов вогнутых разделительных полос должно быть 1:6, при скорости 120 км/ч – 1:5 и при скорости 100 км/ч может быть допущено 1:4.

Крутизна 1:4 представляется чрезмерной, так как при ширине 10 м глубина пониженной части, без учета округления дна, достигает 1,25 м. В то же время при пологом заложении 1:12-1:15 может потребоваться частое расположение водоприемных колодцев из-за опасности переполнения пониженного лотка на разделительной полосе водой во время ливней. Более рациональными представляются откосы разделительной полосы крутизной 1:6-1:10, принятые, в частности, на дороге Вильнюс–Каунас.

В разделительных полосах автомобильных магистралей через несколько километров устраивают *разрывы*, необходимые для сокращения пробега автомобилей, дорожно-эксплуатационной службы и органов регулирования движения. Чтобы исключить возмож-

ность использования их едущими для разворотов, разрывы обычно перекрывают съёмными барьерами.

На дорогах с частичным ограничением въезда разрывы в разделительной полосе можно специально оборудовать для съезда автомобилей на примыкающую дорогу с малой интенсивностью движения. В этих местах разделительная полоса должна уширяться.

27.9.7. Радиусы кривых в плане

Для проектирования современных автомобильных магистралей характерно проложение их в плане кривыми больших радиусов, соответствующими формами рельефа местности. В технических нормах большинства стран имеются прямые указания о необходимости применения кривых возможно больших радиусов. Так, например, СНиП 2.05.02-85 указывают, что всегда, когда по условиям местности это представляется технически возможным и экономически целесообразным, в проектах следует принимать радиусы кривых в плане не менее 3000 м. В английских технических условиях говорится, что кривые должны разбиваться наибольшим, практически приемлемым радиусом. Нормируются в технических условиях лишь величины минимальных радиусов, допускаемых на дорогах в сильно стесненных условиях.

Принципы обоснования величин радиусов кривых в плане исходят во всех странах из общего уравнения устойчивости автомобиля, движущегося по криволинейной в плане траектории

$$R \geq \frac{V^2}{g \cdot (\mu \pm i_n)}, \quad (27.3)$$

где V – скорость, м/с; g – ускорение силы тяжести, м/с²; i_n – поперечный уклон проезжей части, в долях единицы; μ – используемая для сопротивления боковому смещению автомобиля часть сцепления шины с покрытием (коэффициент поперечной силы).

Проведен ряд экспериментов для оценки степени комфортабельности проезда по кривым при разных величинах коэффициента поперечной силы (отношение центробежной силы к весу), действовавшей на пассажира и водителя. Результаты экспериментов свидетельствуют, что верхний предел допустимой величины коэффициента поперечной силы, обеспечивающего комфортабельность проезда, не должен превышать 0,10. Приводимые в нормах значения рекомендуемых радиусов (минимальных, обеспечивающих безопасность, комфортабельность и экономичность перевозок) рассчитывают обычно исходя из значений $\mu = 0,05-0,06$ (табл. 27.15). Это гарантирует одновременно устойчивость против заноса на скользкой поверхности дороги.

Таблица 27.15. Минимальные радиусы кривых в плане, м

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60	50	40	30
Беларусь	1100	800	600	300	150	100	60	30
Дания	–	1000	800	500	300	150	–	–
Германия	1400	1000	600	350	160	110	60	45
Великобритания	–	800	650	440	270	–	–	–
Франция	1000	665	425	240	120	100	40	30
Польша	–	750	500	300	135	80	50	–

Примечание. Значение минимального радиуса кривой в плане для Беларуси при скорости 140 км/ч является экстраполированным.

Величины радиусов кривых в плане всегда должны быть увязаны с длинами предшествующих им прямых. В ряде стран технические условия оговаривают необходимость предъявления повышенных требований к безопасности движения по кривым в плане расположенным после длинных прямых.

27.9.8. Проектирование виражей

Виражи первоначально применялись на дорогах как конструктивное мероприятие, повышающее устойчивость автомобилей при проезде по кривым малых радиусов.

Строительство автомобильных магистралей заставило пересмотреть эту точку зрения. Для скоростных автомобильных магистралей характерно устройство виражей и на кривых весьма больших радиусов в целях психологического воздействия на водителя, что способ-

ствует движению с высокими скоростями и более уверенному управлению, чем в равных условиях при двускатном профиле кривой.

При проектировании поперечного профиля виражей на кривых малых радиусов (подразумеваемая под ними наименьшие радиусы, обеспечивающие расчетную скорость для автомобильных магистралей) должны быть удовлетворены **два противоречивых требования**:

1) поперечный уклон виража, рассчитанный на проезд автомобилей с расчетной скоростью, не удобен для движения с меньшими скоростями;

2) в то же время на автомобильной дороге, имеющей относительно узкую проезжую часть, невозможно осуществить конструкцию виража с изменяющимися по ширине покрытия поперечными уклонами, характерную для автомобильных треков. Предельную величину поперечных уклонов виражей приходится ограничивать, так как она неудобна для медленно едущих автомобилей.

В технических условиях разных стран предусматривается различная величина предельных уклонов виражей в зависимости от их климатических условий. Так, например, в **Японии** на дорогах наиболее высоких категорий в южных районах страны, где не бывает снежного покрова и отрицательных температур, допускают поперечные уклоны на виражах до 100%. В местностях, где вероятность образования снежного покрова и холодов невелика, уклоны виражей ограничивают 80%. В районах с устойчивым снежным покровом и отрицательными температурами поперечный уклон виражей не превышает 60%.

В **США** в южных штатах с субтропическим климатом устраивают виражи с высокими значениями поперечных уклонов, достигающими 120%. В более северных штатах, где климатические условия примерно такие же, как в Украине, принимают меньшие значения поперечных уклонов – 70%. В расположенной севернее, в более суровых климатических условиях, Канаде не рекомендуют поперечные уклоны виража более 60%.

Поперечные уклоны виража, согласно СНиП 2.05.02-85, находятся в пределах от 20 до 60% (2-6%), зависят от радиуса и категории дороги. В странах ЕС поперечные уклоны виража определяются скоростью движения, влияющей на радиус и поперечные уклоны виража, а во Франции рассчитываются по эмпирическим формулам типа $i_g = a + b/R$.

Есть ряд существенных отличий в значениях максимальных поперечных уклонов виража между стандартом, применяемым в Беларуси и западноевропейскими стандартами, что показано в таблице 27.16.

Таблица 27.16. Поперечный уклон виража, %

Расчетная скорость, км/ч	Радиус закругления, м	Поперечный уклон виража, % в стране					
		Беларусь	Дания	Германия*	Англия*	Франция	Польша*
60	≤ 120 (150)	60	60	70	70	70	70
	121-450 (151-500)	60	60-25	70-25	70-25	70-25	70-20
	451-600	60-50	25	–	–	25	–
	>600 (500)	50-30	25	25	25	25	20
80	≤ 240 (300)	60	60	70	70	70	70
	241-650 (301-1100)	60	60-36	70-25	70-25	70-25	70-20
	651-900	60-50	36-25	–	–	25	–
>900 (1100)	50-30	25	25	25	25	20	
100	≤ 425 (500)	30	60	70	70	70	70
	426-900 (501-2100)	30	60-28	70-25	70-25	70-25	70-20
	901-1300	30	25-25	–	–	25	–
	>1300 (2100)	20	25	25	25	25	20
120	≤ 665 (800)	30	60	70	70	70	70
	666-2650 (801-3500)	30	60-25	70-25	70-25	70-25	70-20
	2650-4000	30	25	–	–	25	–
	>4000 (3500)	20	25	25	25	25	20
140	≤ 1000 (1100)	30	60	70	70	70	–
	1001-3500 (1101-4500)	30	60-25	70-25	70-25	70-25	–
	3501-5000	30	25	–	–	25	–
	>5000 (4500)	20	25	25	25	25	–

Примечание. Знаком * обозначены радиусы закругления соответствующие нормативным документам, применяемым в Германии, Англии и Польше. Для всех максимальных значений радиусов для каждой расчетной скорости принимается двускатный тип поперечного профиля.

Исследования, проведенные в Европе, показывают, что поперечный уклон виража не компенсирует воздействие центробежной силы. Автомобиль удерживается на дороге в том случае, когда водитель увеличивает скорость против направления горизонтальной кривой. Этот маневр противоречит нормам, объясняя попытку въезда на соседнюю линию движения в случае, когда уклон виража играет слишком большое значение.

Максимальное значение несбалансированной центробежной силы F_t возможно рассчитать по следующей формуле

$$F_t = \frac{V^2}{127R} - e, \quad (27.4)$$

где F_t – часть «g», баланс которой нарушен уклоном виража; R – минимальный горизонтальный радиус, м; V – расчетная скорость, км/ч; e – уклон виража, в долях единицы.

Результаты расчета по формуле 27.4 приведены в табл. 27.17.

Таблица 27.17. Расчетное значение F_t

Расчетная скорость, км/ч	60	80	100	120
Горизонтальный радиус, м	120	240	425	665
Уклон виража, ‰ (ЕС)	70	70	70	70
Уклон виража, ‰ (Беларусь)	60	60	60	60
Значение F_t (ЕС)	0,17	0,14	0,11	0,10
Значение F_t (Беларусь)	0,18	0,15	0,13	0,14
Расчетный минимальный горизонтальный радиус, рекомендованный для Беларуси при сохранении уклона виража	123	252	463	872

Анализ таблицы 27.17 показывает, что значения F_t для Беларуси ниже, чем для западноевропейских стран. В целях повышения безопасности, комфортности и снижению уровня ДТП рекомендуется пересмотреть уклон виража или радиус в соответствии с западноевропейскими стандартами или AASHTO (американское общество дорожных администраторов).

Предельную величину поперечных уклонов виражей приходится ограничивать, так как виражи становятся неудобными для медленно едущих автомобилей. Более того, в Австрии, где технические условия допускают на дорогах в горных и холмистых районах поперечные уклоны виражей до 120‰, было замечено, что только немногие водители проезжают эти виражи со скоростью, близкой к расчетной. Видимо, крутые виражи начинают вызывать у водителей чувство опасения, т.е. их устройство не достигает цели.

Наряду с высказанными соображениями максимальную величину уклона виража иногда ограничивают исходя из предельного значения так называемого «косого уклона». При наличии на дороге продольного и поперечного уклонов занос колеса автомобиля происходит по наибольшему уклону, являющемуся геометрической суммой продольного и поперечного уклонов.

Конструкция **виражей** на автомобильных магистралях сложнее, чем на обычных дорогах, в связи с большей высотой поднятия проезжей части и необходимостью отвода воды с разделительной полосы. В зависимости от возвышения проектной линии над поверхностью земли и от наличия косогорности возможны различные конструктивные решения виражей, отличающиеся выбором оси поворота каждой из проезжей части. Они приводят к различному изменению отметок внешней и внутренней бровок земляного полотна (рис. 27.17).

Наиболее распространены следующие конструктивные решения виражей:

1. Поворот всего поперечного профиля вокруг внутренней бровки земляного полотна (рис. 27.17б). Недостаток этого способа заключается в том, что в связи с большой высотой поднятия внешней проезжей части при взгляде на кривую издали возвышающийся вираж выглядит как некрасивый бугор. Рациональная область применения виражей данного типа – дороги, проходящие по косогору с небольшим поперечным уклоном, когда устройства насыпной части можно избежать путем небольшой раздвижки проезжих частей и расположения их в разных уровнях (ступенчатое расположение проезжих частей).

2. Поворот обеих проезжих частей около внутренних кромок покрытия или осей проезжих частей (рис. 27.17в, г). Внешняя бровка земляного полотна при этом возвышается на небольшую высоту. Однако разделительная полоса приобретает обратный поперечный уклон, что создает затруднения с организацией отвода воды.

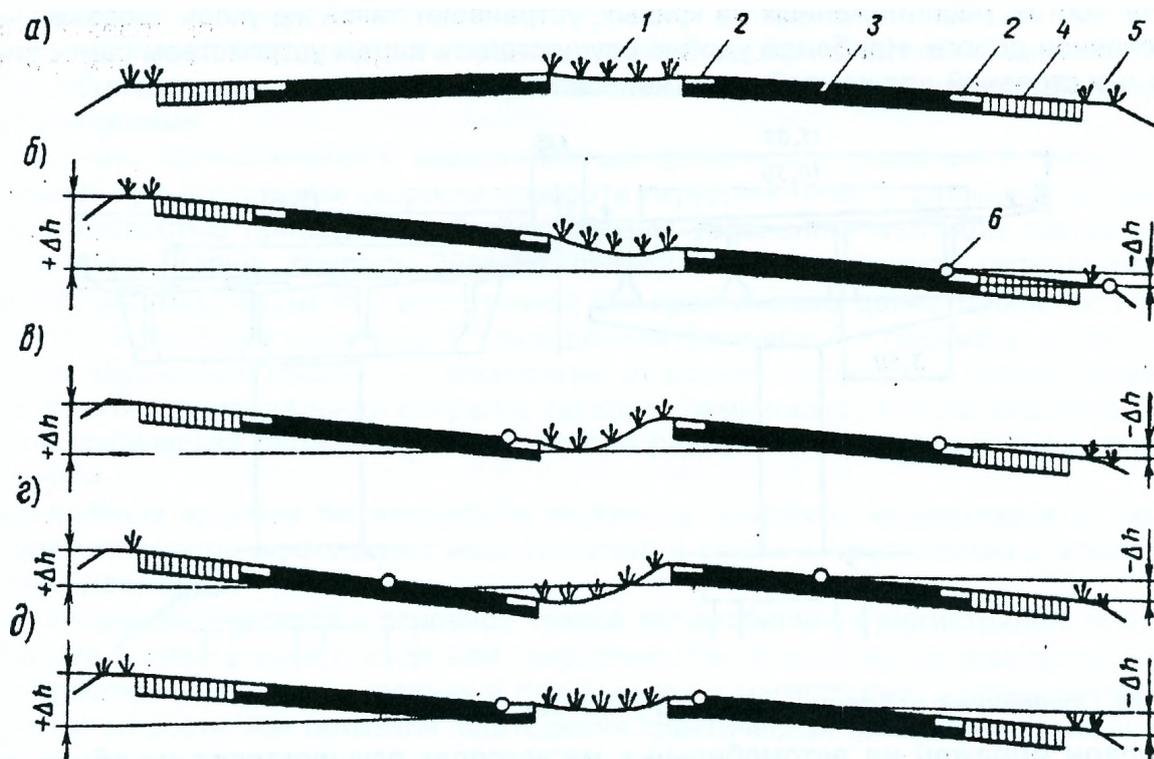


Рис. 27.17. Способы устройства виражей на автомобильных магистралях: а – поперечный профиль на прямых участках; б – поворот поперечного профиля относительно бровки земляного полотна или внутренней кромки покрытия; в – поворот проезжих частей относительно их внутренних кромок; г – поворот проезжих частей относительно их осей; д – поворот проезжих частей относительно кромок, прилегающих к разделительной полосе; 1 – разделительная полоса; 2 – краевые полосы; 3 – проезжая часть; 4 – укрепленная обочина или остановочная полоса; 5 – грунтовая часть обочины; б – точки поворота проезжих частей

3. Поворот проезжих частей около кромок, прилегающих к разделительной полосе (рис. 27.17д). В этом случае поперечный профиль разделительной полосы не изменяется, но внутренняя бровка земляного полотна понижается на большую высоту, чем при предыдущих способах разбивки. В неблагоприятных гидрогеологических условиях, например на заболоченных участках, возвышение бровки может оказаться недостаточным. Однако понижение земляного полотна на участке виража меньше нарушает зрительную плавность дороги, чем возвышающийся вираж.

В целях упрощения строительства на кривых больших радиусов виражи не устраивают. Но с точки зрения удобства и безопасности движения вираж с уклоном, не превышающим номинальный поперечный уклон проезжей части, всегда является целесообразным.

На участках автомобильных магистралей с виражами две повернутые для получения односкатного поперечного профиля в одну сторону проезжие части соединяются между собой грунтовой разделительной полосой, которая имеет встречный уклон. Собирающаяся около пониженной кромки покрытия вода лишь в редких случаях может быть отведена по поверхностному лотку вдоль разделительной полосы, так как количество притекающей воды на виражах значительно увеличивается по сравнению с прямыми участками, причем возможная глубина лотка уменьшается в связи с поперечными уклонами разделительной полосы. Поэтому отвод воды на виражах обычно осуществляют по подземным водостокам.

Стояночные полосы располагают на виражах под тем же поперечным уклоном, что и проезжую часть, несмотря на то, что это приводит к увеличению количества воды, стекающей по покрытию на вираже. Однако придание стояночным полосам обратного по сравнению с виражом уклона было бы решением неудачным с точки зрения безопасности движения.

Грунтовой части обочины для уменьшения опасности загрязнения покрытия пылью и грязью, смываемыми с обочины, придается округленное очертание, переходящее в обратный уклон.

На мостах, расположенных на кривых, устраивают такой же уклон проезжей части, как и на основной дороге. Наиболее удобно осуществлять вираж устройством самостоятельных пролетных строений для каждой проезжей части (рис. 27.18).

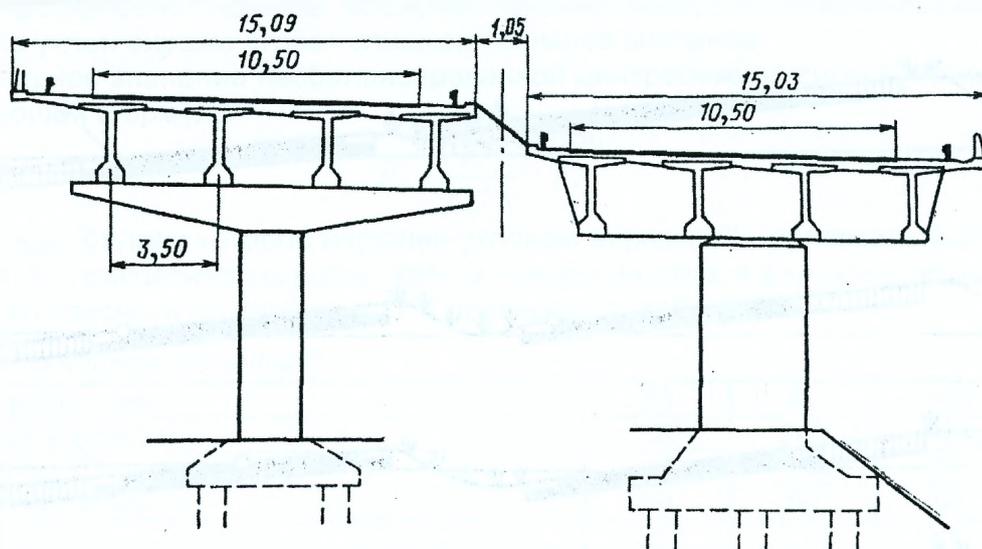


Рис. 27.18. Поперечные профили мостов на участках виражей

Отгон виражей на автомобильных магистралях осуществляют по обычным правилам. В связи с большими длинами переходных кривых при ландшафтном проектировании трассы дороги отгоны виражей ограничивают участком переходной кривой от основной кривой до точки, где радиус кривизны составляет 5000-7000 м или соответствует величине радиуса кривых, при которых виражи не устраивают. Крутизну отгона виражей обычно принимают в пределах 3-5%.

Значительные сложности, иногда определяющие принимаемую конструкцию виража, вызывает обеспечение требований зрительной плавности дороги при взгляде издали на криволинейный участок дороги. Участки подъема виража, искажаясь в перспективе, представляются крутыми буграми, а понижений – впадинами. Чем выше разница между уровнями бровок дороги на участке нормального поперечного профиля на вираже, тем более резко проявляется зрительная иллюзия. Поэтому соображения обеспечения зрительной плавности заставляют ограничивать дополнительный уклон на отгоне виража величиной 5%, а иногда и меньшими величинами.

27.9.9. Переходные кривые

Вначале переходные кривые рассматривались обычно как дополнительный элемент кривых малых радиусов в плане, вводимый для обеспечения плавности нарастания центростремительной силы. Начало строительства магистральных дорог и развитие принципов ландшафтного проектирования выявило новую роль переходных кривых как способа устранения искажений зрительной плавности криволинейных участков дороги в перспективе. Увеличение длин переходных кривых, необходимое для улучшения зрительного восприятия дороги водителями, благоприятно отражается и на удобстве движения в связи с медленным нарастанием поперечных сил, действующих на пассажиров и автомобили.

Вопрос о выборе уравнения переходных кривых на автомобильных дорогах решается иначе, чем на железных дорогах. Водители имеют возможность использовать достаточно широкую полосу движения на проезжей части, смещаясь в ее пределах на 20-30 см. Высокая динамичность и хорошие тормозные качества автомобилей позволяют им изменять в зависимости от своих индивидуальных особенностей скорость въезда на кривую.

Таким образом, водители автомобилей могут при въезде на кривые регулировать скорость нарастания центростремительного ускорения путем изменения скорости поворота рулевого колеса.

При характерных для автомобильных магистралей больших радиусах кривых в плане, движение по которым происходит с малыми значениями коэффициента поперечной силы, управление автомобилем не накладывает каких-либо строгих ограничений на очертание пе-

реходных кривых. Поэтому при назначении параметров переходных кривых, устраиваемых исходя из требований ландшафтного проектирования и сопрягающихся с кривыми больших радиусов, **единственным требованием является плавность нарастания центростремительного ускорения.**

Допущение прямолинейного нарастания центростремительного ускорения в пределах переходной кривой при постоянной скорости поворота передних колес и движения автомобиля с постоянной скоростью приводит к общеизвестному уравнению клотоиды (радиоидальная спираль, спираль Корню, спираль Эйлера), приводимому в дорожной литературе в виде $R \cdot L = A^2$ и аппроксимирующим ее с достаточной для практических целей точностью лемнискате Бернулли и кубической параболе. В приведенной формуле A – параметр, от которого зависит длина переходной кривой, L – расстояние от начала переходной кривой, измеряемое по длине кривой (радиоидальная спираль), по хорде (лемниската) или по абсциссе переходной кривой (кубическая парабола); R – величина радиуса в рассматриваемой точке переходной кривой.

Переходные кривые по клотоиде получили широкое применение в практике проектирования автомобильных магистралей в связи с простотой и ясностью ее исходного уравнения.

Все сказанное относится к основной трассе автомобильных магистралей, проходимой автомобилями с практически постоянной скоростью. На кривых малых радиусов, характерных для пересечений в разных уровнях и для съездов с магистралей, движение происходит с изменением скорости. Как показали наблюдения, фактическая траектория движения в этом случае существенно отличается от клотоиды или окружности.

Аналогичное явление наблюдалось и на некоторых развязках Московской кольцевой дороги в первые годы после ее ввода в эксплуатацию. На правоповоротных съездах автомобили систематически заезжали на внутреннюю обочину, не используя значительную часть покрытия. Из-за этого на обочинах пришлось уложить дорожную одежду.

Случаям движения с разгоном или торможением соответствует самостоятельная переходная кривая, называемая **тормозной**. Ее уравнение выводится из предпосылки, что на протяжении длины кривой скорость изменяется линейно, с постоянным положительным или отрицательным ускорением, а центростремительное ускорение увеличивается пропорционально продолжительности проезда.

Минимальную длину переходных кривых, особенно на съездах, определяют исходя из допускаемой скорости изменения центростремительного ускорения b . Применяемые в разных странах значения b отличаются друг от друга. В Англии исходят из скорости нарастания центростремительного ускорения $0,3 \text{ м/с}^3$, в Испании при скоростях более 80 км/ч – $0,4 \text{ м/с}^3$, допуская в исключительных случаях при меньших скоростях увеличение ускорения до $0,6 \text{ м/с}^3$. Экономическая комиссия ООН для Европы, специалисты Германии и Италии рекомендуют $b=0,5 \text{ м/с}^3$. Такое же значение используют в Англии при расчетах пересечений в разных уровнях.

В настоящее время переходные кривые на автомобильных магистралах превратились из вспомогательного элемента кривых малых радиусов в самостоятельный элемент трассирования, имеющий даже большее значение, чем прямые участки. Вписывание дороги в ландшафт легче всего достигается сочетаниями прямых и кривых участков трассы. Параметры переходных кривых в этом случае определяются не допустимыми скоростями нарастания центростремительного ускорения, а условиями зрительного восприятия участка сопряжения основной и переходной кривой в перспективе. Поэтому параметры кривых принимают в зависимости от величины радиуса основной кривой.

Длина переходных кривых (клотоид) для дорог с формулой 2x2 согласно существующим стандартам Беларуси меньше, чем во Франции. С другой стороны, для дорог 1x2 этот показатель в Беларуси больше (табл. 27.18).

Таблица 27.18. Длина переходных кривых, м

Радиус	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	1000	2000
Беларусь	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	100
Дания (дорога 2x2 полосы)	–	–	–	–	–	–	–	65	75	100	125	160	240
Франция (дорога 2x2 полосы)	–	–	–	–	–	–	–	109	117	132	144	190	250
Франция (дорога 1x2 полосы)	24	29	31	35	38	45	50	55	59	66	72	95	125
Польша (дорога 1x2 полосы)	–	–	–	–	16	22	34	40	48	64	80	160	–

AASHTO (США) рекомендует производить расчеты длины отгона виража (переходных кривых) многополосных дорог по сравнению с двухполосными следующим образом:

- полотно с 3-полосами движения – 1,2 длины для 2-х полосного полотна;
- полотно с 4-полосами движения – 1,5 длины для 2-х полосного полотна;
- полотно с 6-полосами движения – 2,0 длины для 2-х полосного полотна.

27.9.10. Продольные уклоны

Практика автомобилестроения показывает, что мощность двигателей автомобилей, особенно легковых, с каждым годом возрастает. Современные легковые автомобили, используя предварительный разгон и переходя на пониженную передачу, могут преодолевать на коротких участках значительные продольные уклоны. Подъемы крутизной до 30% вообще практически не отражаются на их скорости. Однако грузовые автомобили с прицепами, роль которых в общем объеме автомобильных перевозок возрастает с каждым годом все в большей степени, при преодолении даже сравнительно малых подъемов, существенно снижают скорость. Необходимость ограничения величины продольных уклонов вызывается также соображениями безопасности движения.

Как правило, продольные уклоны на строящихся в послевоенный период автомобильных магистралях редко превышают 40%. При этом в прошлом веке была характерна тенденция к снижению величины продольных уклонов. Так, например, технические условия Германии 1943 г. на проектирование автомобильных магистралей допускали при расчетной скорости 100 км/ч уклон 65%. Технические условия 1973 г. на дороги земель Германии предусматривают при той же скорости существенно меньший предельный уклон – 45%.

Наблюдения показывают, что на спусках возникает большее количество происшествий, чем на подъемах. Это связано отчасти с увеличением на спусках разницы в скоростях самых быстрых и самых медленных автомобилей, а также с влиянием продольного уклона, увеличивающего длину тормозного пути на спусках при необходимости экстренного торможения. В Англии на магистрали М-1 (Лондон–Бирмингем) на спусках с уклонами всего лишь 20% происшествий было в 3 раза больше, чем на подъемах той же крутизны. Таким образом, разница в условиях движения на подъеме и спуске начинает сказываться даже при столь малом продольном уклоне. Это обстоятельство следует учитывать при раздельном трассировании проезжих частей для движения в разных направлениях, избегая кажущейся заманчивой возможности проложить дорогу на спусках с большим продольным уклоном.

В некоторых странах ограничивают величину продольных уклонов на спусках. Так, например, в Финляндии принимают их не более 50% на городских и 40% на загородных участках магистральных дорог.

Максимальные продольные уклоны, применяемые в Беларуси, ниже, чем в Германии и Франции (табл. 27.19). В таблице 27.19 уклоны приведены в промилле (1‰=0,001), хотя в ЕС принята система измерения уклона в процентах (1%=0,01).

Таблица 27.19. Максимальные продольные уклоны, ‰

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60	50	40	30
Беларусь	30	40	50	60	70	80	90	100
Дания	–	35	35	50	50	50	50	50
Германия	40	40	45	50	65	80	100	120
Великобритания	–	30	40	50	–	–	–	–
Франция	40	40	50	60	70	75	80	100
Польша	–	40	50	60	80	90	100	–

В общем, существенных различий между значениями максимальных продольных уклонов нет, за исключением норм проектирования в Дании, где значение уклона не превышает 50‰ (5%).

Проектирование современных автомобильных магистралей сопрягающимися вертикальными кривыми изменяет условия движения автомобилей, поскольку продольный уклон дороги непрерывно меняется. В этих случаях предельные значения продольных уклонов должны относиться к общим касательным в точках сопряжения вертикальных кривых.

Преодоление подъемов грузовыми автомобилями и особенно автопоездами сопровождается значительным снижением их скорости, которое приводит к уменьшению скорости всего потока автомобилей и часто становится причиной аварий при обгонах.

Не следует применять на автомобильных магистралях продольные уклоны, превышающие величины, при которых необходимо (рассмотренное в следующем параграфе) устройство на подъемах дополнительных полос проезжей части для грузовых автомобилей. Улучшая условия движения легковых автомобилей, оно не изменяет неблагоприятных транспортно-эксплуатационных характеристик дороги для грузовых перевозок.

27.9.11. Дополнительные полосы на подъемах

При большом протяжении участка дороги, идущего на подъем, скорости автомобилей снижаются. Автомобиль с особенно низкими динамическими характеристиками затрудняет движение всего транспортного потока, задерживая все следующие за ним автомобили, и может создать на дороге затор. Весьма эффективным мероприятием по повышению пропускной способности и снижению аварийности является устройство на подъемах дополнительной полосы движения для медленно движущихся автомобилей. **Критерием необходимости устройства дополнительной полосы** служит величина снижения скорости в верхней части подъема, которая в нормах разных стран колеблется в широких пределах.

В Германии дополнительную полосу считают необходимой, если скорость грузовых автомобилей на вершине подъема снижается до 70 км/ч, в Австрии и Японии – до 50 км/ч, в Венгрии – до 40 км/ч, в Канаде – до 25 км/ч. Необходимость устройства дополнительных полос увязывают также с протяжением участка дороги с тем или иным продольным уклоном. Например, при продольном уклоне 30-80‰ максимальная длина участка меняется от 500 до 150 м. При большей длине этих участков необходимо устраивать дополнительные полосы на подъемах. Перед началом подъема требуется, чтобы дополнительная полоса имела длину, равную половине критической длины, т. е. от 250 до 75 м в зависимости от величины продольного уклона.

Дополнительные полосы должны начинаться до начала подъема, чтобы автомобили успели осуществить перестроение, и продолжаться за его концом достаточно далеко, чтобы автомобили могли снова включиться в транспортный поток. В США считают, что в пределах дополнительной полосы проезжей части за подъемом грузовой автомобиль должен увеличить скорость до 50 км/ч. В Англии дополнительную полосу за переломом продольного профиля продолжают на 150 м.

Дополнительные полосы обычно сопрягают с основной проезжей частью треугольным скосом на протяжении 30-75 м или двумя сопрягающимися обратными кривыми.

В местностях с пересеченным рельефом суммарная длина дополнительных полос бывает значительной. Так, например, в Германии на участке автомобильной магистрали Бад-Герсфельд-Вюрцбург на протяжении 144 км потребовалось построить 31 км дополнительных полос на подъемах. В целях экономии их обычно устраивают вместо укрепленных стояночных полос, от которых на подъемах отказываются (рис. 27.19).

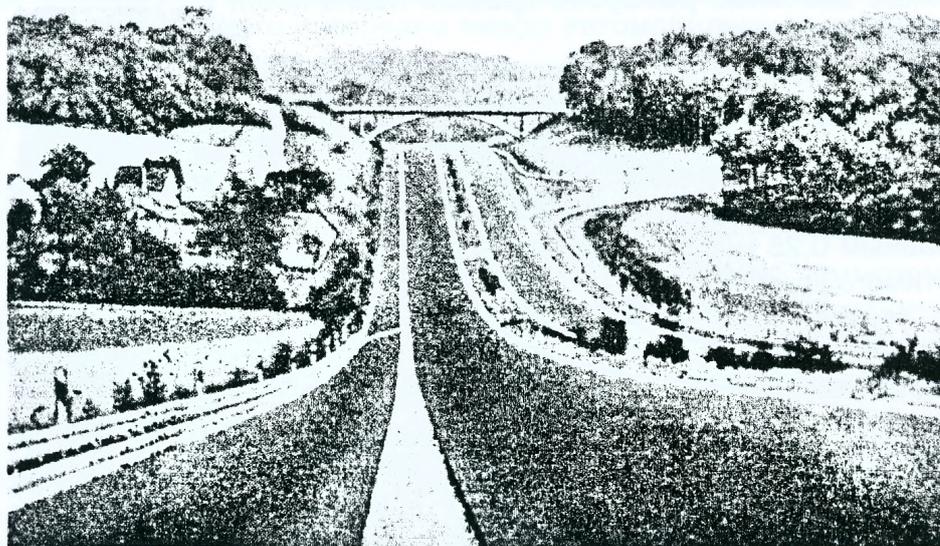


Рис. 27.19. Участок автомобильной магистрали с возгнутой вертикальной кривой (с левой стороны стояночная полоса переходит в дополнительную полосу на подъеме; с правой стороны видны переходо-скоростные полосы примыкания)

Эффективность дополнительных полос на подъемах зависит от дисциплины движения по дороге. Тихоходный автомобиль, своевременно не съехавший со своей полосы движения на дополнительную, создает помехи для движения, пока не преодолеет подъем. Поэтому очень важны правильная разметка проезжей части и указатели для водителей. Хотя дополнительные полосы обычно устраивают с внешней стороны покрытия, правильное расположение дополнительной полосы зависит от соотношения между количеством легковых и тяжелых грузовых автомобилей. В Германии были проведены наблюдения, которые привели к выводу, что устройство дополнительной полосы с внешней стороны проезжей части не приводит к существенной разгрузке основных полос проезжей части. Более эффективно в этом случае уширение проезжей части в сторону разделительной полосы, которая перед этим местом предварительно постепенно уширяется. В этом случае на дополнительную полосу уходят более быстрые автомобили. Иногда в отличие от дополнительных полос для медленных видов транспортных средств эти линии называют **быстроходными или обгонными** (Fast lane, Overtaking lane).

На основании эксперимента было установлено распределение загрузки полос проезжей части при различном расположении дополнительных полос (табл. 27.20).

Таблица 27.20. Распределение загрузки полос проезжей части

Расположение дополнительной полосы	Процент проезжающих автомобилей		
	Дополнительная полоса	Внутренняя полоса	Внешняя полоса
Внешнее	12	53	35
Внутреннее	20	41	39

Данные табл. 27.20 дают возможность рекомендовать более смелое применение уширений с внутренней стороны проезжей части.

27.9.12. Вертикальные кривые

Подобно горизонтальным кривым для плана дорог вертикальные кривые становятся основным элементом продольного профиля современных автомобильных магистралей. Длинные затяжные участки с однообразным уклоном перестают удовлетворять требованиям вписывания дорог в рельеф местности.

В связи с этим характерно стремление проектировщиков применять вертикальные кривые возможно больших, допустимых по условиям вписывания в элементы рельефа радиусов. Для лучшей увязки с формами элементов рельефа широко используют составные коробовые кривые.

В технических условиях некоторых стран имеются прямые указания на то, что при проектировании всегда следует стремиться к увеличению радиусов вертикальных кривых, добиваясь лучшего сочетания дороги с местностью.

Минимальные значения радиусов кривых назначают из условия удовлетворения следующих требований:

а) обеспечения необходимой видимости;
 б) ограничения центробежного ускорения величиной, обеспечивающей комфортабельность проезда по дороге и уверенность управления. В Беларуси ускорение на вертикальных кривых не должно превышать $0,5 \text{ м/с}^2$. Это значение рекомендовано и в нормах Германии и Австрии. Во Франции для дорог с расчетной скоростью более 80 км/ч допускают вертикальное ускорение равным $0,25 \text{ м/с}^2$, в Швейцарии принимают $0,30 \text{ м/с}^2$, считая $0,5 \text{ м/с}^2$ верхним пределом допустимого ускорения;

в) участки вертикальных кривых должны удовлетворять требованиям зрительной плавности – участок с вогнутой вертикальной кривой не должен создавать впечатление провала, а с выпуклой – некрасивого горба в продольном профиле. Это условие удовлетворяется, если тангенсы вертикальных кривых превышают некоторую минимальную величину, определяемую по эмпирической формуле $T > 1,0V$, где T – тангенс вертикальной кривой, м; V – скорость, км/ч.

г) освещение светом фар вогнутых вертикальных кривых на достаточное расстояние при движении ночью. Радиус вогнутой вертикальной кривой должен обеспечить возможность освещения дороги светом фар на полное расстояние видимости из условия торможения перед препятствием. При расчетах принимают фары расположенными на уровне $0,75 \text{ м}$

над проезжей частью, а угол раствора пучка лучей фары в вертикальной плоскости – равным 1° .

Минимальный радиус выпуклых кривых, применяемый в Беларуси в целом больше, чем во Франции, но меньше, чем в Германии (табл. 27.21). С другой стороны, минимальный радиус вогнутых кривых обычно меньше применяемых во Франции и Германии (табл. 27.22).

Таблица 27.21. Минимальные радиусы выпуклых кривых, м

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60	50	40	30
Беларусь	28000	15000	10000	5000	2500	1500	1000	600
Дания	–	10000	4000	3500	2000	2000	2000	2000
Германия	50000	25000	12500	7000	3000	2200	1500	1100
Великобритания	–	18000	–	–	–	–	–	–
Франция	18000	12000	10000	4500	1600	1100	500	450
Польша	–	12000	7000	3500	2500	1500	800	–

Таблица 27.22. Минимальные радиусы вогнутых кривых, м

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60	50	40	30
Беларусь	7500	5000	3000	2000	1500	1200	1000	600
Дания	–	10000	4000	3500	2000	2000	2000	2000
Германия	20000	10000	5000	3000	2000	1500	1000	750
Франция	6000	4200	4200	2200	1500	1100	700	650
Польша	–	4500	3000	2000	1500	1000	800	–

27.9.13. Полосы разгона и торможения

Движение автомобилей по магистральным дорогам происходит с постоянной, малоизменяющейся высокой скоростью, большей чем на примыкающих к ним дорогах. Въезжающие на магистраль с малой скоростью автомобили, непосредственно попадая на полосы для транзитного движения, вносят помехи и создают опасность дорожных происшествий. Столь же опасным является внезапное снижение скорости автомобилей перед поворотом на съезды на пересечениях. Поэтому на пересечениях или примыканиях дорог с автомобильными магистралями обязательно устраивают дополнительные полосы проезжей части, на которых автомобили, покидающие магистраль, могут уменьшить скорость до расчетной на съездах, а въезжающие увеличить скорость и без помех влиться в общий поток движения (полосы для разгона или торможения – переходно-скоростные полосы (ПСП), иногда называемые также «скоростными шлюзами»).

Переходно-скоростная полоса для разгона въезжающих на магистраль автомобилей состоит из трех частей:

- участка увеличения скорости въезжающих автомобилей до скорости транспортного потока на автомобильной дороге;
- участка включения в поток движения, который автомобиль проезжает с высокой скоростью в ожидании подходящего интервала между автомобилями в потоке движения на магистрали;
- участка сопряжения переходно-скоростной полосы с основным покрытием, частично используемого и для смены полосы движения.

Из аналогичных элементов состоят и полосы торможения.

На основе опыта проектирования и эксплуатации автомобильных магистралей используется два планировочных решения ПСП (рис. 27.20).

Параллельный тип (рис. 27.20а) обеспечивает наилучшую возможность изменения скорости движения в соответствии с желанием водителя. Однако он наименее экономичен из-за неиспользуемой части покрытия в начале переходно-скоростной полосы. Вкусам водителей, которые предпочитают осуществлять поворот в виде одного маневра, наиболее удовлетворяет «суживающийся» тип (рис. 27.20в) в виде плавной кривой, очерченной по уравнению тормозной переходной кривой. Однако такая планировка переходно-скоростной полосы наиболее опасна. Отдельные водители могут начать торможение перед съездом, еще находясь на основной полосе проезжей части и подвергаясь опасности наезда идущих сзади автомобилей. На участках въездов при плотном транспортном потоке на основной магистрали водитель, не имея места для выжидания приемлемого интервала в транспортном потоке, вынужден включаться в него в неблагоприятных условиях с риском столкновения. Областью применения переходно-скоростных полос этого типа являются дороги с относительно малой

интенсивностью движения. В Канаде, например, они допускаются на съездах при количестве съезжающих автомобилей менее 1000 в час «пик». На въездах допускаются оба типа, если суммарная интенсивность транзитных и въезжающих автомобилей менее 1200 в час.

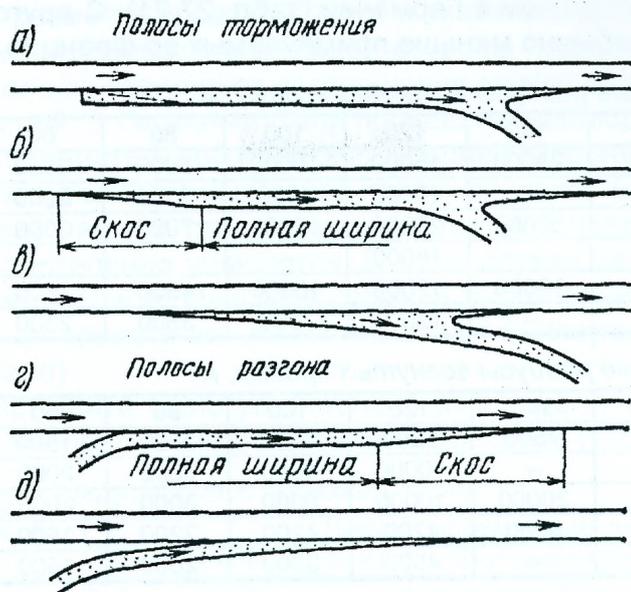


Рис. 27.20. Планировочные решения ПСП: а – параллельная с постоянной шириной; б – параллельная со скосом; в – плавноотклоняющаяся; г – параллельная с постоянной шириной и скосом; д – плавнопримыкающая

При большей интенсивности на въездах необходимо устраивать две полосы движения.

В пределах ПСП должно происходить плавное изменение скорости. Длину этой части на полосах снижения скорости рассчитывают на замедление $2-3 \text{ м/с}^2$. Во Франции принимают эту величину равной $1,5 \text{ м/с}^2$, в Германии – $1,4 \text{ м/с}^2$, в Англии в зависимости от скорости въезда – $1,8-2,7 \text{ м/с}^2$. Протяжение участков разгона определяют исходя из меньших ускорений. В США их принимают от $0,8$ до $1,2 \text{ м/с}^2$, в Англии – $0,6 \text{ м/с}^2$, в Германии – $1,0 \text{ м/с}^2$.

Длина участка включения в поток или выхода из него зависит от интенсивности движения. Чем больше движение по автомобильной магистрали, тем длиннее должна быть переходно-скоростная полоса. Участок сопряжения должен обеспечивать постепенность съезда автомобиля с дополнительной полосы на основную проезжую часть под малым углом примыкания, не превышающим $4-5^\circ$. Длину его на тормозных полосах принимают, считая, что он должен проезжаться не менее чем за $3-4 \text{ с}$.

ПСП хорошо выполняют свое назначение только при правильном использовании их водителями, так как у некоторых из них имеется тенденция съезжать с проезжей части автомобильной магистрали непосредственно на примыкание, минуя участок изменения скорости. Поэтому начало ПСП следует четко обозначить разметкой, чтобы оно было понятно водителям. В этом отношении при криволинейных полосах место примыкания менее заметно, чем при прямолинейных. Иногда для лучшей фиксации взгляда водителей на начале переходно-скоростной полосы устраивают небольшой уступ проезжей части. Большое значение имеют линии разметки на покрытии, указывающие сочетанием сплошных линий и пунктира правильные места съезда с дороги.

Длина полос разгона в Беларуси, в целом меньше, чем в странах Западной Европы, что и подтверждается приведенными ниже данными (табл. 27.23). Исходя из относительно низких интенсивностей движения в Беларуси, это в некоторой степени оправдано, но с повышением объемов движения этот показатель следует существенно увеличить в соответствии с требованиями стандартов стран ЕС для обеспечения безопасности.

Таблица 27.23. Длина полосы разгона (при уклоне 0%), м

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80
Беларусь	260	260	190	70
Дания	300	300	300	–
Великобритания	–	365	273	182
Франция	504	504	351	351
Польша	–	370	325	275

27.10. Особенности трассирования автомобильных магистралей

Необходимость обеспечения высоких скоростей движения и пропуска без помех интенсивных транспортных потоков предъявляет более высокие требования к выбору трассы автомобильных магистралей и назначению ее элементов по сравнению с трассой обычных автомобильных дорог.

Отдельные неудачные сочетания элементов плана и профиля дороги, участки с недостаточной видимостью и кривые малых радиусов, сравнительно мало отражающиеся на условиях движения по дорогам низших технических категорий, вызывая снижение скорости транспортных потоков, становятся причиной существенного ухудшения экономических показателей автомобильного транспорта и возникновения дорожных происшествий.

Выбор трассы современной автомобильной магистрали требует от проектировщика пространственного представления о будущей дороге в едином ансамбле с окружающей местностью, что сближает его работу, с работой архитектора. Поэтому в проектировании получили широкое распространение методы оценки вариантов по перспективным изображениям дороги и моделям.

При проектировании современной автомобильной магистрали приходится находить экономически обоснованные комплексные решения, учитывающие требования безопасности движения, удобства управления автомобилем и пользования дорогой, не нарушающие при этом интересов населения придорожной полосы, землепользования и охраны природы.

Удовлетворению этих требований способствует соблюдение следующих взаимно связанных принципов:

- а) обеспечение постоянной, оптимальной по величине, эмоциональной напряженности водителей при движении по дороге;
- б) обеспечение на всем протяжении дороги постоянной расчетной скорости;
- в) проектирование трассы дороги как единой плавной пространственной кривой с взаимно увязанными элементами;
- г) увязка дороги и дорожных сооружений с ландшафтом;
- д) сохранение окружающей среды, в том числе ценных сельскохозяйственных угодий.

Соблюдение указанных требований при проектировании желательны для дорог всех технических категорий. Приложение их к скоростным автомобильным магистралям не имеет особой специфики, за исключением дополнительных особенностей, связанных с наличием двух проезжих частей и разделительной полосы. Однако только желательные для дорог низших типов принципы ландшафтного проектирования становятся обязательными для дорог магистрального типа с высокими интенсивностями движения.

27.11. Особенности проложения трассы автомобильных магистралей в районе населенных пунктов

Автомобильные магистрали для дальних сообщений связывают обычно между собой крупные населенные пункты.

Статистика движения установила, что чем крупнее населенный пункт, тем больше объем местного движения на примыкающих к нему участках дорог. Зависимость между численностью населения и объемом транзитного движения по данным наблюдений в США, Франции, ФРГ и Англии свидетельствует о том, что для малых населенных пунктов транзитное движение резко преобладает. Проложение дороги через их территорию создает неудобства как для движения, так и для городского населения. Скорости движения на участках, проходящих через населенные пункты, значительно снижаются. В результате этого экономия во времени, достигнутая при поездке между городами по скоростной автомобильной магистрали, теряется в процессе движения по городу.

В планах дорожного строительства всех стран значительное место уделяется строительству обходов населенных пунктов. В Германии намечено вынести дороги высших категорий из всех населенных пунктов, численность населения которых превышает 9000 чел. Технические условия Чехии предусматривают обязательный обход магистральными дорогами всех пунктов с населением менее 25000 чел.

Поэтому автомобильные магистрали, как правило, прокладывают в обход всех населенных пунктов, по отношению к которым движение по автомобильной магистрали является транзитным. К крупным пунктам с населением 25 тыс. жителей и более магистрали прибли-

жают и устраивают подъездные пути, удобно сочетающиеся с транспортной сетью городов и дающие возможность быстро проехать в их центральные районы.

В тех случаях, когда город является транспортным узлом, в котором пересекается несколько автомобильных магистралей, строят обходные кольцевые дороги, позволяющие следовать по любым направлениям без заезда в город (рис. 27.21).

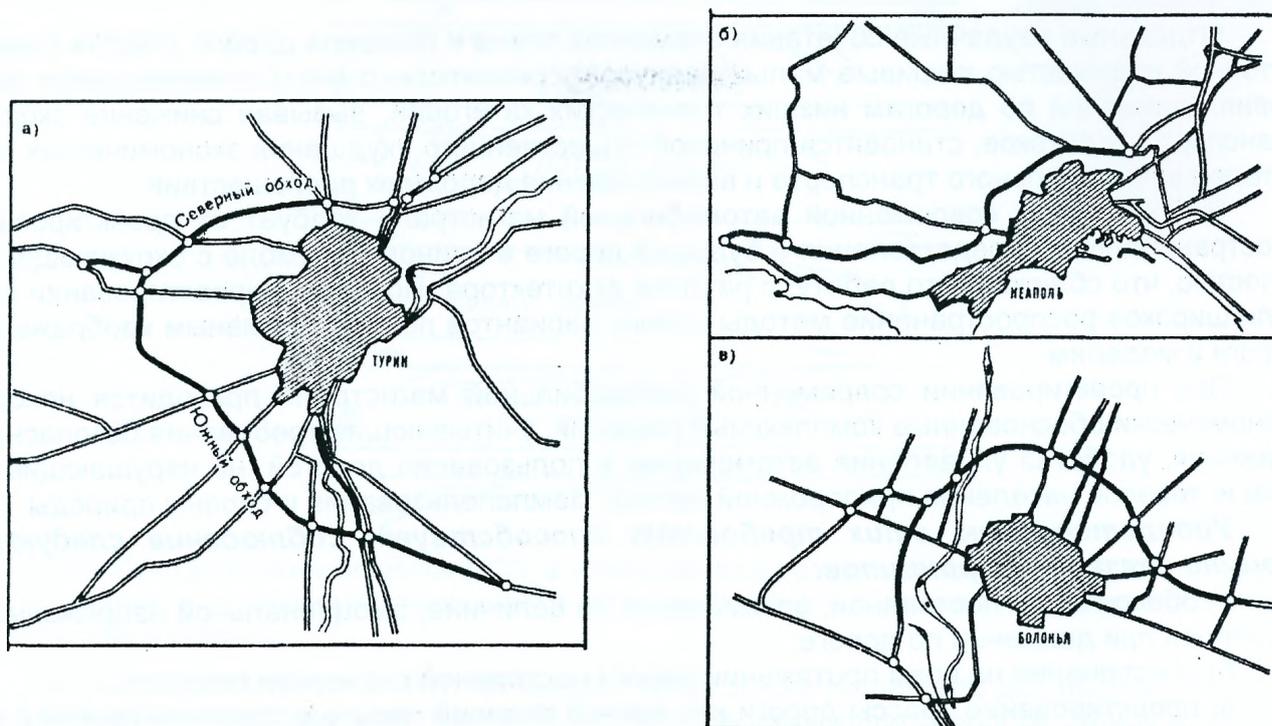


Рис. 27.21. Схемы обхода крупных городов автомобильными магистральями в Италии

При наличии хорошо организованного обслуживания на автомобильных магистральных потребность заезда в промежуточные города для питания, отдыха или осмотра автомобиля у едущих отсутствует.

В первые годы строительства автомобильных магистралей кольцевые дороги располагали на большом расстоянии от границ города. Поэтому они были загружены только транзитным движением. Примером являются построенные участки внешнего Берлинского кольца, которое имеет радиус от 40 до 60 км. В дальнейшем был найден более удачный принцип проложения трассы кольцевых дорог вблизи от планировочных границ города. В этом случае, кроме транзитных автомобилей, направляющихся в обход города, кольцевая дорога интенсивно используется и для перевозок между окраинными районами города, снижая загрузку городских улиц в центральной части.

Удачным примером дорог такого типа может служить Московская кольцевая дорога (средний радиус 17,3 км). С первых дней открытия движения по ней начались весьма интенсивные межрайонные перевозки.

В случаях необходимости для большей интенсивности движения кольцевая дорога может иметь большее число полос движения, чем примыкающие к ней магистрали.

По мере роста городов и расширения их границ кольцевые дороги входят в состав уличной сети, превращаясь в городские автомобильные магистрали или улицы скоростного движения. Так, произошло, например, с обходной Автострадной улицей в Киеве, хотя ее транспортные качества как городской улицы скоростного движения были испорчены неудачной застройкой, не учитывающей особенности транзитного, в значительной части грузового движения.

27.12. Особенности конструкции земляного полотна и дорожных одежд автомобильных магистралей

27.12.1. Поперечные профили земляного полотна

Поперечный профиль земляного полотна играет большую роль в обеспечении безопасности движения и в сочетании автомобильных дорог с ландшафтом. Для современного

дорожного строительства характерен отказ от крутых откосов, заложение которых обосновывалось ранее только соображениями экономии земляных работ и устойчивости земляного полотна и переход к более пологим округленным откосам, плавно переходящим в поверхность прилегающих элементов рельефа (рис. 27.22).

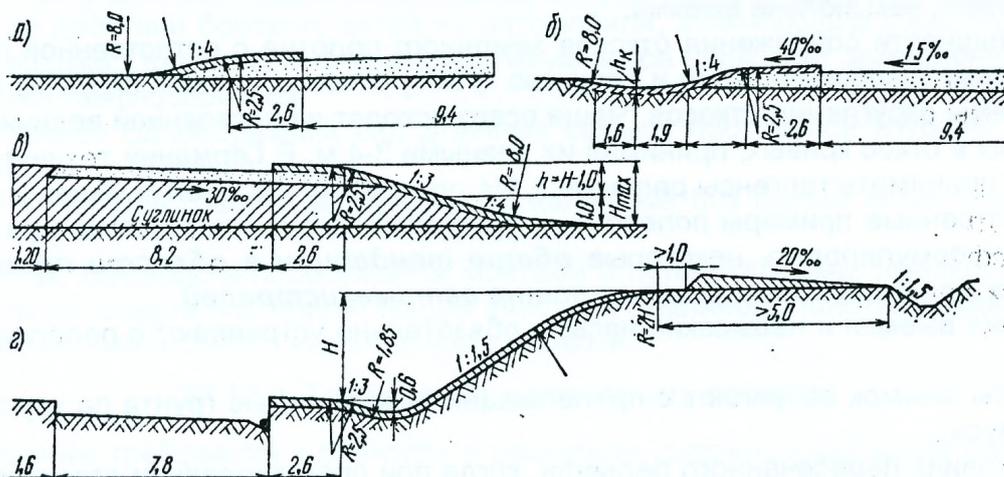


Рис. 27.22. Поперечные профили земляного полотна с обтекаемыми откосами: а – малая насыпь без боковых канав; б – малая насыпь с канавами-лотками; в – насыпь; г – выемка

Пологие откосы имеют ряд преимуществ:

- повышается безопасность движения, поскольку при отсутствии глубоких боковых канав автомобиль, потерявший управление, имеет возможность съехать с насыпи по пологому откосу;

- при пологих откосах насыпей водитель видит весь откос, а не только бровку земляного полотна, как при движении по дороге с крутыми откосами. Это обеспечивает большую уверенность в управлении автомобилем и способствует лучшему использованию проезжей части;

- пологие откосы крутизной 1:5-1:6 обеспечивают хорошие условия для обтекания земляного полотна снеговетровым потоком, в результате чего снег переносится через дорогу, не откладываясь на проезжей части. При равной высоте насыпи с пологими откосами менее заносится снегом, чем дороги с крутыми откосами;

- пологий откос переменной крутизны позволяет гармонически сочетать земляное полотно дороги с прилегающей местностью;

- пологие откосы меньше размываются стекающей водой от дождей и таяния снега и быстрее зарастают травой;

- при пологих откосах улучшается испарение влаги из земляного полотна, чем изменяется в благоприятную сторону водно-тепловой режим земляного полотна;

- пологие откосы насыпей и выемок легче поддаются при строительстве механизированному производству работ, особенно уплотнению.

Существует **два принципа конструирования** очертаний обтекаемого земляного полотна в насыпях:

- придание откосам переменной крутизны, увеличивающейся с высотой насыпи, распространенный преимущественно в Европе;

- с пологими откосами постоянной крутизны на всю высоту насыпи, характерный для дорог США.

СНиП 2.05.02-85 устанавливают при рабочих отметках до 2 м наибольшую крутизну откосов насыпей на магистральных дорогах 1:4, а выемок в снегозаносимых районах – 1:4-1:6. В Японии на участках, проходящих по ценным орошаемым угодьям, на которых сажают рис, для экономии земли иногда земляное полотно возводят с подпорными стенками, чтобы сэкономить для сельского хозяйства полосу земли, занимаемую откосами.

Различная ширина насыпей внизу создает неудобства для сельского хозяйства в местах с ценными землями, где поля начинаются сразу от подошвы земляного полотна.

В Австрии и Германии предложен принцип получения откосов переменной крутизны путем выдерживания постоянной величины заложения от бровки до подошвы откоса. При малых рабочих отметках откос получается очень пологим, при более высоких – крутым. В

Германии при насыпях высотой менее 2 м заложение откосов принимают во всех случаях коэффициент заложения 1:1,5, который выдерживают и при большей высоте насыпей, устанавливая на их бровках ограждения.

Откосы выемок обычно принимают постоянными по всей высоте, также делая их тем более пологими, чем мельче выемка.

Для плавности сопряжения откосов земляного полотна с естественной поверхностью грунта подошву откосов насыпей и верхнюю кромку откосов выемок округляют. Применяют разные приемы округления откосов. Чаще всего исходят из постоянной величины тангенсов вписываемых в откос кривых, принимая их равными 3-4 м. В Германии технические условия предлагают принимать тангенсы равными $1,5H$, при высоте насыпей H менее 2 м.

Рассмотренные примеры поперечных профилей земляного полотна в разных странах позволяют сформулировать некоторые **общие тенденции в области проектирования поперечных профилей земляного полотна автомагистралей**.

– мелкие выемки и невысокие насыпи обязательно устраивают с пологим заложением откосов;

– откосы выемок сопрягают с прилегающей поверхностью грунта по круговым кривым малого радиуса;

– в условиях пересеченного рельефа, когда при проектировании ставится задача лучшего вписывания дороги в ландшафт, откосам выемок и насыпей придается переменная крутизна, меняющаяся как по высоте, так и по протяжению дороги в зависимости от величины рабочих отметок (рис. 27.23).

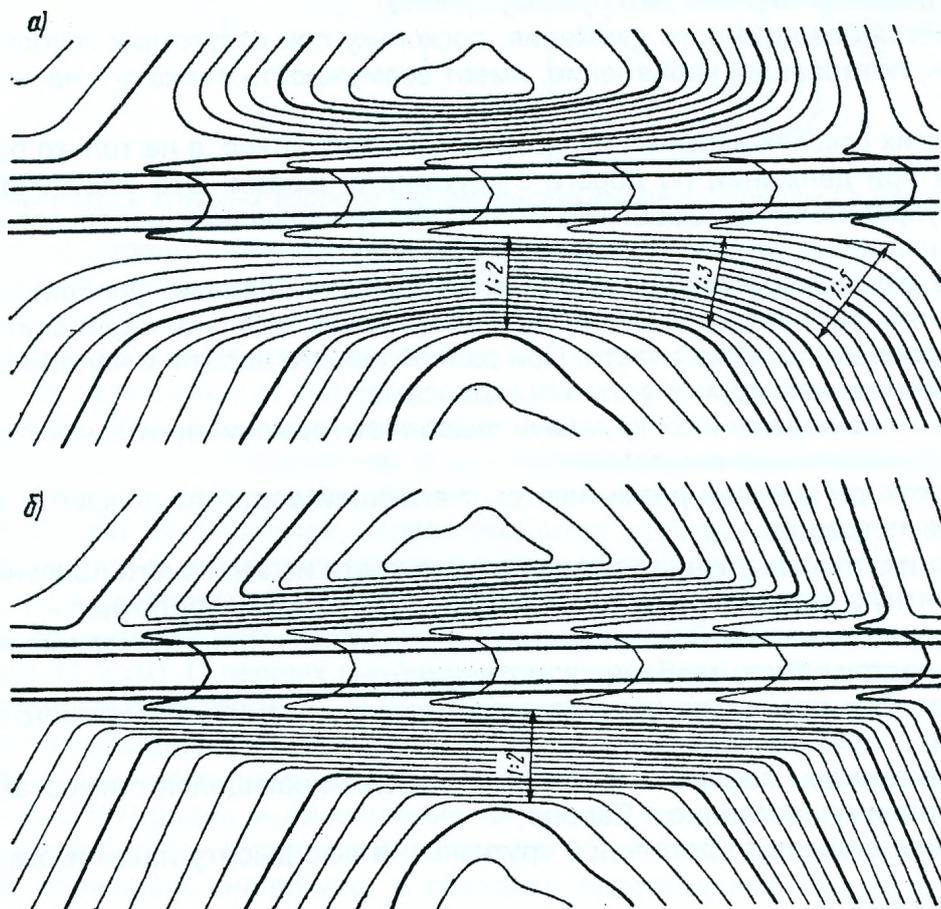


Рис. 27.23. Планы в горизонталях откосов земляного полотна: а – с переменной крутизной; б – с постоянной крутизной

Сопряжение земляного полотна с прилегающими формами рельефа не ограничивается только округлением откоса. В планах организации земляных работ следует предусматривать использование избытка земли из выемок для засыпок пазух около насыпей на косогорах, а также срезку невысоких низовых откосов выемок на косогорах, раскрывая вид на окружающую местность и устраняя одновременно опасность снеговых отложений.

Для наилучшего сочетания форм земляного полотна автомобильных магистралей с ландшафтом используют следующие приемы:

– на участках перехода из выемок в насыпи устраивают очень пологие откосы. Это способствует уменьшению заносимости дороги, устраняет у едущих впечатление въезда в траншею. Уположивание откосов на переходных участках от выемок к насыпям имеет также большое значение для безопасности движения, устраняя опасность потери управляемости при внезапном действии бокового ветра на автомобили, выезжающие с высокой скоростью из глубокой выемки. При пологих откосах давление ветра нарастает замедленно и водитель успевает к нему приспособиться;

– расчленяют однообразный вид длинных выемок постоянной глубины устройством озелененных искусственных лоцин;

– используют для оживления откосов оставляемые без срезки естественные выходы скал;

– в местах, где дорога пересекается мостами и путепроводами, имеющими геометрически правильные очертания, прилегающим участкам земляного полотна также придают неокругленные очертания с четко выраженными гранями.

27.12.2. Требования к земляному полотну

Повышенные требования к ровности и прочности дорожных одежд на автомобильных магистралях вызвали значительное повышение требований к их земляному полотну. Теперь повсеместно признают, что прочность дорожных одежд как нежестких, так и жестких может быть обеспечена только при однородном, хорошо уплотненном земляном полотне.

Земляное полотно рассматривают как нижний конструктивный слой дорожной одежды, к прочности которого предъявляются высокие требования, и соблюдение их тщательно контролируют. На протяжении больших участков с постоянным типом дорожной одежды земляное полотно должно иметь заданное сопротивление нагрузкам.

Для сохранения постоянной прочности в течение года верхние слои земляного полотна возводят из крупнозернистых водопроницаемых грунтов, не подверженных процессам зимнего влагонакопления и не снижающих прочность при водонасыщении (морозозащитные слои).

Для земляного полотна пригодны только грунты неорганического происхождения, которые в момент отсыпки должны иметь влажность, допускающую искусственное уплотнение. При невозможности этого в сухие периоды года искусственно увлажняют грунты, а переувлажненные грунты обрабатывают порошковой негашеной известью, отнимающей избыточную влагу за счет процессов гидратации и испарения при нагревании в результате гашения.

В связи с ограниченной шириной полосы отвода земляное полотно автомобильных магистралей возводят из грунтовых карьеров или методом продольной возки из выемок в насыпи, которую считают в отдельных случаях экономически оправдывающейся при дальностях до 10 км. При необходимости подвоза грунта со стороны или устройства грунтовых отвалов выделяются специальные участки земли. Глубина грунтовых карьеров часто бывает значительной и впоследствии в них создают водоемы.

Возведению земляного полотна предшествует удаление дернового слоя и почвенных горизонтов в валы по сторонам дороги. После отсыпки насыпей их используют для укладки на откосы и обочины земляного полотна. Земляное полотно возводят по высоте с точностью до ± 5 см, отсыпая насыпи слоями по 50-75 см в зависимости от свойств грунта и машин, применяемых для уплотнения. Предъявляются высокие требования к ровности поверхности конструктивных слоев. Так, например, в Германии считают, что на поверхности земляного полотна просвет под четырехметровой рейкой не должен превышать 2 см, на поверхности морозозащитного слоя – 1 см.

На участках магистралей, расположенных в нулевых отметках, грунт основания должен быть уплотнен на толщину не менее 50 см, так как опыт эксплуатации выявил частые случаи просадок покрытий на таких участках. В выемках верхний слой грунта также заменяют морозостойчивым.

Контроль качества земляного полотна автомобильных магистралей только по степени уплотнения теперь считают недостаточным. Его дополняют испытаниями пробными нагрузками путем вдавливания штампов (Германия, Швейцария) или определения калифорнийского числа несущей способности (CBR) (Япония, США).

Требования к степени уплотнения грунтов зависят от их гранулометрического состава и расположения в теле насыпей. В Германии степень уплотнения оценивают по распространенному за рубежом методу Проктора. Контроль уплотнения сводится к сопоставлению плотности скелета грунта в насыпи с плотностью того же грунта, уплотненного стандартным образом. В методе Проктора грунт, имеющий определенную влажность, уплотняют в металлическом цилиндре (высота 12 см и диаметр 10 см) 25 ударами груза весом 1,5 кг, падающего с высоты 30 см на металлическую площадку диаметром 5 см. Известен также «модифицированный» метод Проктора с более интенсивным уплотнением.

Следует отметить, что зарубежные требования к степени уплотнения грунтов в земляном полотне автомобильных магистралей несколько выше, чем принятые в Беларуси.

Необходимость обеспечить устойчивое основание для дорожной одежды вызвала повсеместный переход на отсыпку верхних слоев земляного полотна из грунтов, не подверженных пучинообразованию. При строительстве Московской кольцевой дороги верхнюю часть насыпей отсыпали из песков, добиваясь улучшения водно-теплового режима земляного полотна. Толщину песчаного слоя принимали в зависимости от высоты насыпи H : при $H \leq 0,8$ м – полностью из песка; при $1,0 \text{ м} < H < 0,8 \text{ м}$ – 0,50 м; при $H > 1,0 \text{ м}$ – 0,35 м.

За рубежом, в странах с благоприятными климатическими условиями (малая глубина промерзания), широко применяют замену верхних слоев грунта, подверженных пучинообразованию, на всю глубину промерзания. Однако к этому решению обычно прибегают лишь при наиболее неблагоприятных грунтовых и гидрологических условиях. Во Франции, учитывая, что промерзание распространяется вглубь замедленно, а влияние накопления ледяных линз в нижней части замерзшего слоя ослабляется весом дорожной одежды, заменяют только половину толщины слоя грунта между границей промерзания и низом дорожной одежды. В Германии толщину противопучинного слоя принимают в зависимости от гранулометрического состава грунта в насыпях, не допуская глубокого промерзания.

Для противопучинных слоев используют песчаные грунты и крупнозернистые материалы, устойчивые против выветривания и не подверженные пучению (гравий, щебень, шлак). Также для уменьшения толщины морозозащитных слоев устраивают в теле земляного полотна термоизолирующих прослоек из пористых пластических материалов – полистирола, полиуретана, укладывая их в виде пористых плит толщиной от 5 до 10 см. Полистирол разливали по земляному полотну в виде жидкой пены, образовавшей после скорого твердения бесшовную пористую прослойку на всю ширину земляного полотна. Толщина прослойки достигалась рядом последовательных розливов.

Термоизолирующие слои обычно закладывают в земляном полотне на глубине 20–30 см от низа дорожной одежды, между песчаными прослойками, в зоне, где напряжения от внешней нагрузки затухают. Грунт ниже прослоек не должен промерзать.

27.12.3. Водоотвод

Глубокие боковые канавы, долгое время применявшиеся для отвода поверхностной воды от автомобильных дорог, очень опасны из-за аварий, которые связаны с попаданием в них автомобилей, ехавших с большой скоростью. Поэтому в тех местах, где возможен съезд с дороги на прилегающую местность по пологим откосам невысоких насыпей, на автомобильных магистралях устраивают широкие мелкие лотки с отношением глубины к ширине поверху 1:5–1:8 (рис. 27.24).

Ширина лотков в разных странах колеблется от 1,0 до 2,5 м. Глубина лотков иногда не превышает 20 см (см. рис. 27.24а). Лотки имеют очень пологие откосы 1:4–1:6 и округленное дно, укрепляемое в зависимости от продольного уклона и ширины земляного полотна одерновкой, щебнем, бетонированием или укладкой бетонных плит. В Румынии для этой цели используют изготавливаемые на заводах железобетонных изделий лотки треугольного сечения шириной поверху 75 см и глубиной 17 см. Внутренний их откос 1:3, внешний 1:1.

Эти поперечные профили весьма близки к рекомендованным фирмой «Дженерал Моторс» для автомобильных испытательных полигонов на основе измерения перегрузок, возникавших при переезде легковыми автомобилями канав разных очертаний под разными углами и с различной скоростью.

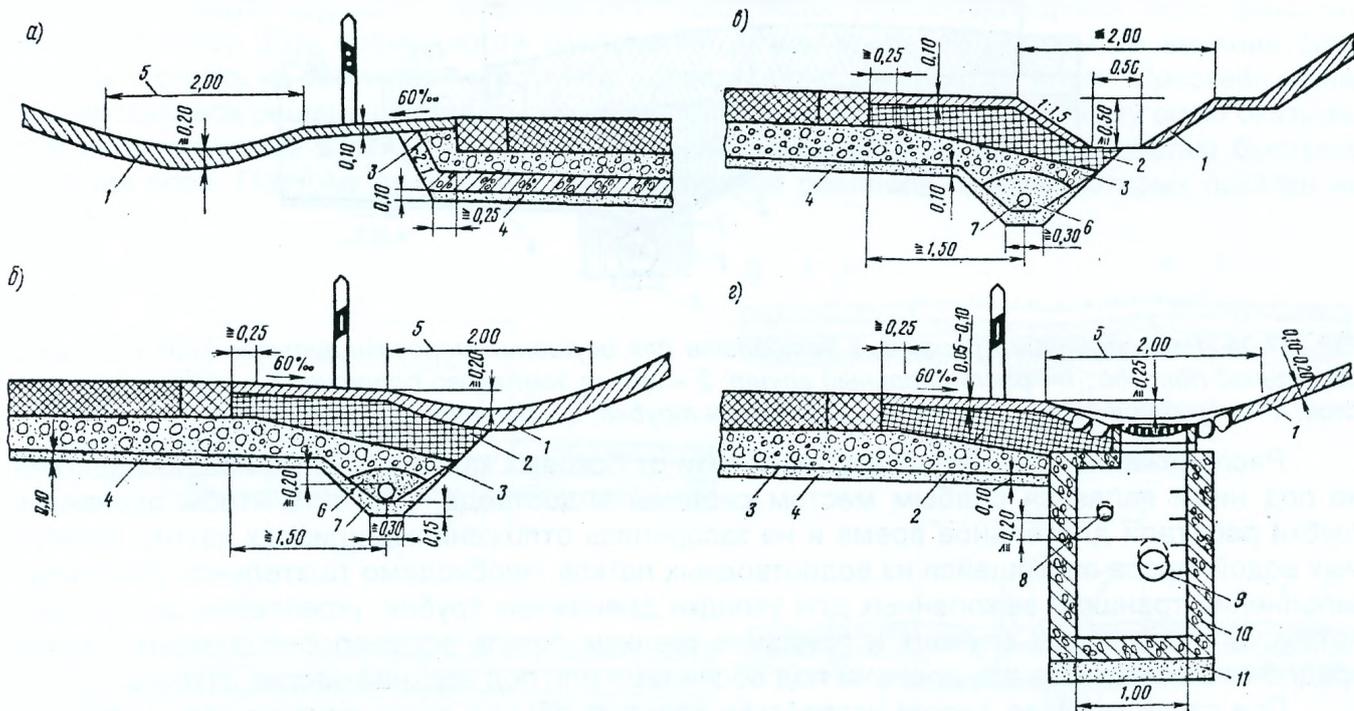


Рис. 27.24. Схемы отвода воды от автомобильных магистралей: а и б – мелкие лотки около невысоких насыпей; в – трапециевидальная канава в выемке; г – подземный водосток; 1 – растительный грунт с одерновкой; 2 – местный грунт; 3 – морозозащитный слой; 4 – фильтрующий слой (в отдельных случаях); 5 – одернованный лоток; 6 – гравийный фильтр; 7 – дренажная трубка; 8 – ввод дренажных трубок; 9 – труба ливнестока; 10 – водоприемный колодец; 11 – песчаная подушка

В выемках при большом количестве притекающей воды ее отвод осуществляют по закрытой системе водостоков, в которую через водоприемные решетки периодически отводят воду из лотков. Воду из водостоков выпускают в пониженные места придорожной полосы по возможности часто. Такая организация поверхностного водоотвода, наилучшим образом удовлетворяющая требованию сочетания дороги с ландшафтом прилегающей местности, не исключает возможности применения на отдельных участках, в местах с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями, более глубоких канав, но при обязательной установке по бровкам земляного полотна ограждений.

Воду с полотна дороги спускают в отдельных местах по лоткам, устраиваемым на откосах. Чтобы не происходило размывов, подошву откосов высоких насыпей, особенно на пересечениях в разных уровнях, окаймляют бетонными лоточками, по которым вода сбегает в пониженные места. В тех же целях вдоль верхней кромки откосов выемок, в местах, где не нужны глубокие нагорные канавы, также укладывают мелкие бетонные перехватывающие лоточки.

Отсыпка верхней части земляного полотна из водопроницаемых грунтов или устройство специальных противопучинных слоев выдвигает задачу осушения верхнего слоя земляного полотна. Вода в этот слой может проникать с поверхности во время дождей и таяния снега, просачиваясь через разделительную полосу, обочины, швы и трещины в покрытиях, а также зимой из глубинных слоев при пленочном и парообразном перемещении. Поверхность нижней части земляного полотна, возводимой из связных грунтов, должна быть ровной и иметь уклон 40‰. При меньших уклонах поверхность земляного полотна иногда застилают водонепроницаемой полиэтиленовой пленкой (рис. 27.25).

В местах, где это позволяет рабочая отметка насыпей, морозозащитный дренирующий слой распространяют на всю ширину земляного полотна, выводя непосредственно на откосы. При малой высоте насыпи и в выемках для сбора воды, фильтрующейся через морозозащитный слой, прокладывают дренажные трубки, из которых периодически делают выводы в расположенные ниже водостоки или, там где это возможно, на откосы.

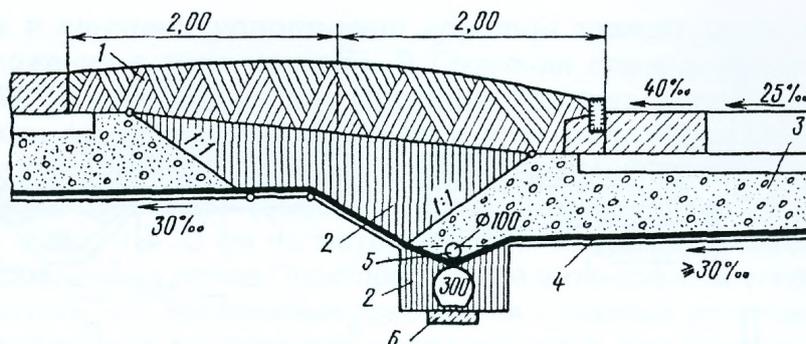


Рис. 27.25. Расположение дренажных устройств для осушения морозозащитного слоя под разделительной полосой: 1 – растительный грунт; 2 – грунт земляного полотна; 3 – морозозащитный слой; 4 – полиэтиленовая пленка; 5 – дренажная трубка; 6 – бетонное основание

Расположение дренажных трубок вблизи от боковых канав, а иногда и непосредственно под ними является слабым местом системы водоотвода. Для того чтобы дренажные трубки работали длительное время и не засорялись отложениями илистых частиц, выносимых водой, просачивающейся из водоотводных лотков, необходимо тщательное уплотнение заполнения траншей, выкопанных для укладки дренажных трубок, укрепление дна боковых лотков, а в некоторых случаях и придание стенкам лотков водонепроницаемости. Иногда предпочитают располагать дренажи под обочинами или под верхней частью откосов.

При строительстве дороги устройство дренажа обычно предшествует устройству противопучинного слоя (рис. 27.26).

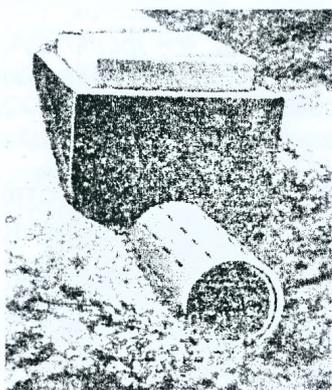


Рис. 27.26. Устройство дренажа при строительстве автомобильной магистрали в Германии

Сложной проблемой является, удаление воды с широкой вогнутой разделительной полосы. При ливнях и весеннем таянии снега на разделительной полосе скапливается большое количество воды. Для ее отвода в пониженной части устраивают укрепленный лоток. По нему вода стекает к водоприемникам, через которые попадает в водосток, отводящий ее в пониженные места придорожной полосы (рис. 27.27).

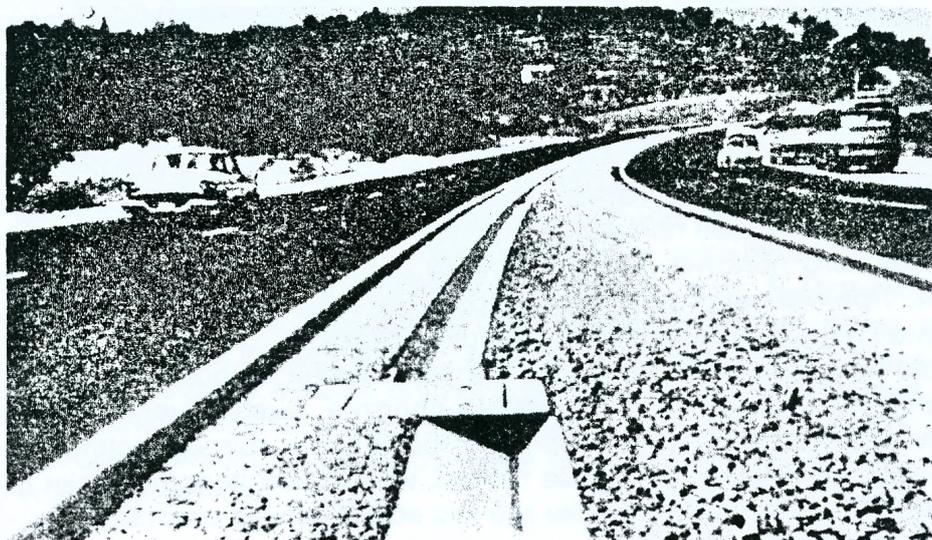


Рис. 27.27. Укрепленный лоток на вогнутой разделительной полосе (Франция)

Наибольшую трудность представляет отвод воды, просачивающейся через разделительную полосу. Для возможности озеленения разделительной полосы ее верхние слои должны состоять из растительного грунта, хорошо проницаемого для влаги. Простейшее напрашивающееся решение отводить эту воду по пористому морозозащитному слою оказывается невыполнимым в связи с большой длиной пути фильтрации и опасностью быстрого заилиения слоя. Поэтому применяют конструктивные решения, пример которых показан на рис. 27.28.

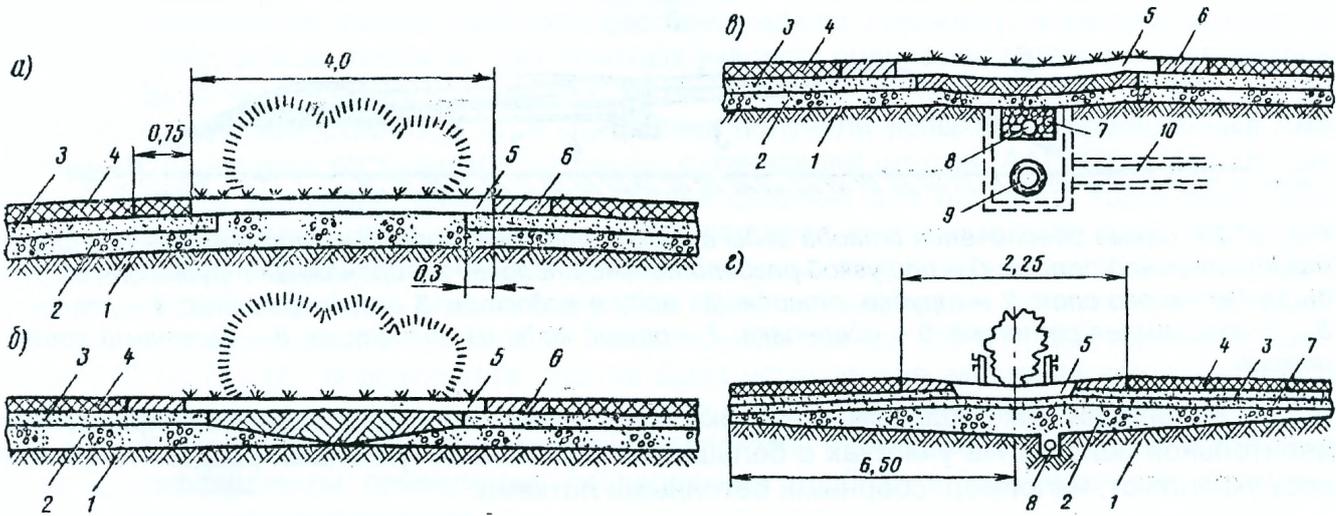


Рис. 27.28. Конструкции дренажных устройств для осушения разделительной полосы: а – со сплошным крупнозернистым слоем; б – с прерванным крупнозернистым слоем; в – с отводом воды дренажем; г – с утолщением дренирующего слоя в средней части дороги; 1 – грунт земляного полотна; 2 – крупнозернистый хорошо дренирующий материал; 3 – основание из щебня или грунта, обработанного вяжущими материалами; 4 – цементобетонное покрытие; 5 – растительный грунт; 6 – краевая полоса; 7 – гравийная засыпка; 8 – дренажная трубка для отвода воды, просачивающейся через разделительную полосу; 9 – водосток; 10 – труба для сброса воды из смотрового колодца в понижение местности

Характерным является устройство примерно в средней трети земляного полотна обратного 40‰ поперечного уклона к середине дороги и закладки в пониженном месте продольного осевого дренажа для отвода воды, не только поступающей через разделительную полосу, но и из части морозозащитного слоя. Конструкция разделительной полосы должна предусматривать возможность уменьшения количества просачивающейся воды. Для этого в Германии укрепленную вяжущими материалами верхнюю часть противопучинного слоя продолжают на часть разделительной полосы, уменьшая тем самым ширину полосы, через которую может просачиваться поверхностная вода.

Верхнюю часть противопучинного слоя под разделительной полосой устраивают из уплотненного гравелистого грунта, пригодного для роста растений, поверх которого укладывают слой растительного грунта (рис. 27.28а). Иногда траншею для дренажных труб и вогнутую часть поверхности земляного полотна выстилают водонепроницаемой полиэтиленовой пленкой. Описанная конструкция отвода воды с разделительной полосы вполне оправдала себя в ряде западноевропейских стран и отражена в их технических условиях.

Отвод воды с разделительной полосы особенно затрудняется на кривых. При наиболее рациональном способе устройства виражей, когда односкатный поперечный профиль создается поворотом каждой проезжей части около ее продольной оси, разделительная полоса приобретает обратный поперечный уклон. Отвод воды может быть обеспечен только путем устройства в отдельных местах водоприемных решеток и перепуска воды водостоками под земляным полотном. Смотровые колодцы, необходимые для периодической прочистки дренажа, устраивают из предварительно изготовляемых железобетонных элементов, собираемых на месте (рис. 27.29).

Периодически необходимо устраивать на разделительной полосе водоприемные колодцы с выводами на придорожную полосу. При невозможности этого под разделительной полосой укладывают коллектор, из которого воду отводят в пониженные места рельефа.

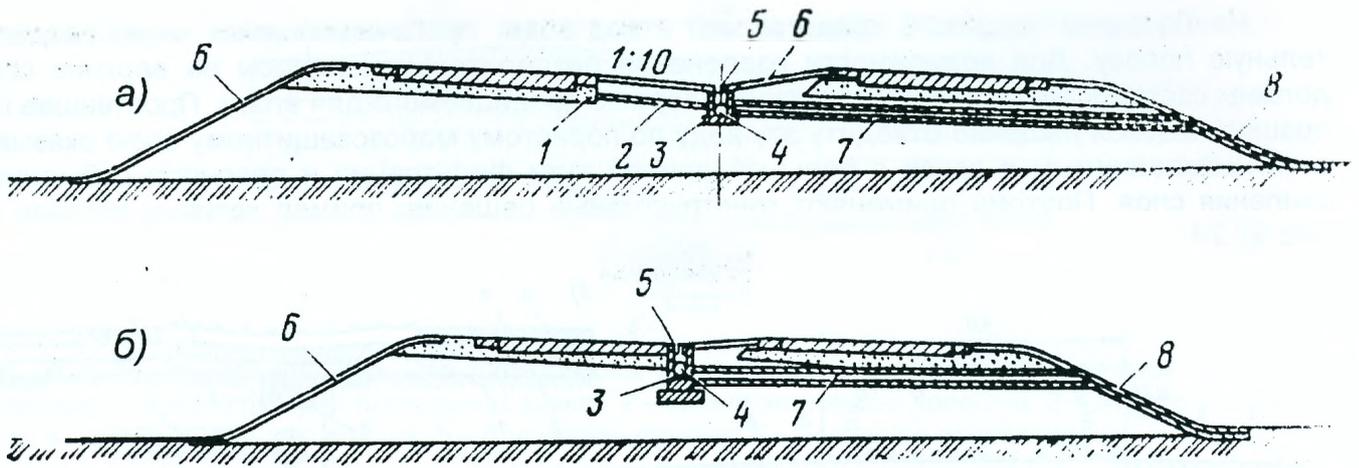


Рис. 27.29. Схема обеспечения отвода воды с разделительной полосы на виражах: а – при широкой разделительной полосе; б – при узкой разделительной полосе; 1 – дренажная трубка для сбора воды из песчаного слоя; 2 – трубка, отводящая воду в водосток; 3 – водоприемник; 4 – коллектор; 5 – водоприемная решетка; 6 – одерновка; 7 – отвод воды из водостока; 8 – бетонный лоток на откосе

К водоприемным решеткам водостока вода стекает по одернованной поверхности разделительной полосы. На участках с большими продольными уклонами разделительную полосу укрепляют, например, сборными бетонными лотками.

27.12.4. Дорожные одежды

Движение по магистральным дорогам автомобилей с большими нагрузками на ось при высоких скоростях предъявляет повышенные требования к ровности и прочности дорожных одежд. Введенные в разных странах стандарты на нагрузки от автомобилей предусматривают значительные давления на ось.

Нагрузку на ось ограничивают 130 кН (13 тс) в Бельгии (в составе движения допускается 3% автомобилей с давлением до 180 кН (18 тс)), Испании (разрешаются единичные проезды автомобилей с осевой нагрузкой до 210 кН (21 тс)) и во Франции, где допускают проезды отдельных автомобилей с нагрузкой на ось до 220 кН (22 тс). В Англии допускают давления 100-120 кН (10-12 тс) при наличии в составе движения 3% более тяжелых автомобилей. Наиболее распространена нагрузка на ось 100 кН (10 тс), принятая в Японии, Германии, Болгарии, Италии, Австрии, Норвегии, Швейцарии и Чехии. В США, где право ограничения веса автомобилей представлено отдельным штатам, допускаются нагрузки на ось 80-100 кН (8-10 тс). Нагрузку на ось ограничивают 80 кН (8 тс) в Дании, Финляндии, Польше, Швеции и Венгрии, 50 кН (5 тс) – на Кипре.

В Беларуси нагрузку нормируют в зависимости от категории дороги. Для автомобильных магистралей она равна 100 кН (10 тс), но автомобильная промышленность считает ее недостаточной. Быстрое развитие автомобильных и грузовых перевозок, увеличение количества тяжелых грузовых автомобилей и автопоездов заставили дорожников ряда стран пересмотреть методы назначения толщины дорожных одежд. Сложность теоретической схемы работы дорожных одежд при динамическом воздействии автомобильных нагрузок, изменение в течение года величины параметров прочности грунтов – все это послужило поводом к тому, что на первое место начали выдвигать опыт практики, а методам теоретического расчета придавать второстепенное значение. В нормах многих стран в настоящее время зафиксированы типовые конструкции дорожных одежд жестких и нежестких типов для дорог с интенсивным движением.

Это положение нельзя воспринимать как свидетельство невозможности теоретического расчета толщины одежд автомобильных дорог.

Исследования в области расчета дорожных одежд периода сороковых и пятидесятих годов прошлого столетия исходили из сильно схематизированных теоретических предпосылок о работе многослойных дорожных одежд и упрощенных методов оценки прочности грунтов (например, CBR – «Калифорнийское число несущей способности», найденные методом «обратных пересчетов» модули деформации грунтов и др.).

Сегодня считается, что толщина дорожной одежды должна гарантировать устойчивость против возникновения сдвигов в любой точке грунтового основания и малосвязных конструктивных слоев самой дорожной одежды, как при единичных, так и при многократных приложениях нагрузок. Напряженное состояние дорожных одежд нежесткого типа исследуют методами теории упругости для многослойных систем.

Несовершенство расчетных методов, отсутствие обоснованных значений параметров, характеризующих прочность и деформативные свойства конструктивных слоев дорожных одежд, вызвали необходимость строительства во многих странах специальных опытных участков с различными типами нежестких дорожных одежд. Прочность и работоспособность дорожных одежд разных типов на этих опытных участках оценивали путем экспериментальных проездов колонн тяжелых грузовых автомобилей.

Наибольшую известность в этом отношении получили испытания, проведенные Американской ассоциацией сотрудников дорожных организаций штатов (AASHTO). Для этих испытаний в штате Иллинойс, имеющем наиболее суровый для основной территории США климат, было построено шесть кольцевых дорог, состоявших из нескольких сотен различных опытных участков асфальтобетонных и цементобетонных покрытий на различных основаниях. За двухлетний период по опытным дорогам было осуществлено по миллиону проездов автомобилей и автопоездов с нагрузкой на одиночную ось до 135 кН (13,5 тс) и на спаренную до 210 кН (21 тс). В результате опытов была установлена эмпирическая зависимость между толщиной конструктивных слоев дорожных одежд и количеством приложений нагрузки до потребности в капитальном ремонте. Предложены номограммы для расчета толщины одежд и коэффициенты приведения, позволяющие подбирать равнопрочные дорожные одежды из различных материалов.

Результаты опытов AASHTO получили широкую известность и на их основе во многих странах были разработаны рекомендации по расчету и конструированию дорожных одежд. Следует, однако, отметить, что в связи со значительным влиянием климатических условий на работу дорожных одежд, возможность непосредственного распространения выводов из испытаний AASHTO на другие климатические районы начали вскоре подвергать сомнению даже в штатах, смежных с Иллинойсом. Поэтому разработку рациональных конструкций дорожных одежд ведут во всех странах, строя большие участки разных типов дорожных одежд.

До Второй мировой войны считалось, что наиболее подходящими для условий движения, характерного для автомобильных магистралей, являются цементобетонные покрытия. В послевоенный период начала проявляться заметная тенденция к переходу на магистралях от бетонных покрытий к асфальтобетонным. В Италии и Англии многие недавно построенные магистрали имеют асфальтобетонные покрытия. В Германии строительство бетонных покрытий заметно сокращается. Значительное повышение процента асфальтобетонных покрытий на сети автомобильных магистралей в целом вызвано почти их исключительным применением при перестройке разрушившихся или сильно изношенных бетонных покрытий, построенных до войны. Высокая интенсивность движения на автомобильных магистралях не позволяет закрывать перестраиваемые участки дороги на длительное время. Это делает возможным строительство в таких случаях только асфальтобетонных покрытий, которые могут быть немедленно по окончании строительных работ переданы в эксплуатацию. Асфальтобетонные покрытия считают целесообразным строить также в местностях, где на дорогах часто образуется гололедица, поскольку асфальтобетон дает возможность использовать для борьбы с гололедом гигроскопические соли, разрушительно воздействующие на бетонные покрытия. Имеются данные, что асфальтобетонные покрытия менее подвержены оледенению.

Приведенные выше соображения в пользу асфальтобетонных покрытий связаны с удобством строительства, реконструкции или содержания дорог, т. е. отражают точку зрения дорожных организаций. Автомобилисты предпочитают цементобетонные покрытия. При опросе более 3000 водителей (Германия) большинство из них отдали предпочтение бетонным покрытиям (более 60%).

К недостаткам цементобетонных покрытий водители относят жесткость, ощущаемую при движении (удары колес о края швов), а асфальтобетонных покрытий – опасность заноса и размягчаемость в жаркие солнечные дни.

Достоинством цементобетона является меньшая изменчивость величины коэффициента сцепления в течение года и срока службы и лучшая видимость в ночное время. Для по-

вышения контрастности бетонных покрытий и краевых полос из белого бетона и придания им более приятной окраски в Австрии и Германии покрытия иногда окрашивают в голубовато-зеленоватый цвет, добавляя до 2% двуокиси железа от веса цемента.

Особенностью современных цементобетонных покрытий на автомобильных магистралях является большая прочность их оснований. Господствовавшее в прошлом веке представление о том, что жесткие бетонные покрытия, распределяя нагрузку на большую площадь, как бы перекрывают участки земляного полотна, имеющие пониженную прочность, было опровергнуто отрицательным опытом службы немецких магистралей. Бетонные покрытия, уложенные на тонкой песчаной прослойке на недостаточно уплотненных связных грунтах, начали быстро разрушаться интенсивным движением тяжелых грузовых автомобилей.

При недостаточно прочных основаниях прогибы покрытий у поперечных швов вызывают уплотнение подстилающего грунта. В образующихся под плитой полостях скапливается вода, проникающая через швы, которая выдавливается при проезде автомобилей, вынося с собой взвешенные глинистые частицы. Пустота под плитой растет и приводит к обламыванию края покрытия около шва. Это показывает, что прочность бетонных покрытий обеспечивается таким образом не только качеством бетона, но и устойчивостью и уплотнением подстилающего грунта.

Опыт пропуски по автомобильным магистралям интенсивного движения тяжелых автомобилей выдвинул следующие **принципы конструирования цементобетонных покрытий**:

- устройство под бетоном дополнительного прочного несущего слоя;
- повышение прочности бетона и увеличение толщины плит;
- увеличение процента армирования.

При всем разнообразии конструктивные **типы бетонных покрытий могут быть разделены на три группы**:

- с основаниями из каменных материалов, обработанных неорганическими вяжущими;
- с основаниями из грунтов, обработанных органическими вяжущими;
- с прослойкой из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими, уложенной по грунтам или каменным материалам, обработанным цементом.

Обработанные цементом основания, которые строят примерно на 50% протяжения дорог с бетонными покрытиями, получают путем укрепления верхней части морозозащитных слоев из песка, гравия или песчано-гравийных смесей или укладывают их из специально обработанных каменных материалов. В большинстве стран они обходятся дешевле, чем при обработке органическими вяжущими материалами. Количество вводимого цемента составляет от 3 до 8%, толщина укрепляемого слоя обычно составляет 15-18 см.

Использование для укрепления неорганических вяжущих материалов удобно технологически при организации дорожного строительства, так как можно упростить складское хозяйство и ограничиться одним типом смесителей и т. д.

При укладке бетонного покрытия непосредственно на укрепленное цементом основание конструкция дорожной одежды получается более жесткой и хуже амортизирует толчки и колебания при движении автомобилей. Поэтому в ряде стран (Бельгии, Германии и др.) на укрепленное цементом основание укладывают прослойки из битумоминеральных смесей толщиной 6-8 см, которые способствуют поглощению ударов и компенсируют температурные деформации бетонной плиты. Гладкие прослойки из материалов, обработанных органическими вяжущими, способствуют снижению трения между бетоном плиты и подстилающим слоем при температурных деформациях плиты, улучшают условия движения строительного транспорта в процессе строительства, а также предотвращают просачивание в земляное полотно влаги через трещины и плохо заделанные швы в покрытии. Мощные основания из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими, строят лишь в сравнительно редких случаях. Основания, не укрепленные в поверхностных слоях вяжущими, имеют в настоящее время очень малое распространение на автомобильных магистралях.

Толщина плит бетонных покрытий в разных странах колеблется в сравнительно узких пределах – от 20 до 25 см. В Англии при неблагоприятных грунтах и интенсивном движении толщину плит увеличивают до 28 см. В странах, ранее строивших сравнительно тонкослойные покрытия, в настоящее время в связи с ростом интенсивности движения намечается тенденция к увеличению толщины покрытий.

Стремятся значительно увеличить расстояние между швами расширения бетонных покрытий, что не только облегчает производство работ, но и значительно повышает ровность поверхности бетонных покрытий. Наблюдается тенденция к отказу от швов расширения или к увеличению расстояний между ними, которые иногда достигают 50-75 м.

От **нежестких дорожных одежд** требуется монолитность, создаваемая устойчивостью всех слоев против усталостных деформаций и сдвига как по поверхностям раздела между слоями, так и в пределах самих слоев.

Толщина нежестких дорожных одежд на современных автомобильных магистралях достигает 35-50 см, не считая противопучинного слоя, устраиваемого из песка или песчано-гравийных смесей.

Практика эксплуатации подтвердила правильность следующих принципов конструирования нежестких дорожных одежд:

– убывание прочности отдельных конструктивных слоев сверху вниз в соответствии с затуханием по глубине эпюры сжимающих и касательных напряжений от внешних нагрузок, а также и температурных колебаний;

– увеличение сверху вниз водопроницаемости конструктивных слоев, с тем чтобы вода, в случае проникания, не застаивалась в пределах дорожной одежды;

– введение в конструкцию морозозащитного слоя из неподверженных зимнему пучению крупнозернистых песков или гравия, который ограничивает величину пучения допустимой величиной;

– возможность проезда автомобилей по отдельным слоям в период строительства, облегчающая организацию работ.

Несущие слои нежестких дорожных одежд во всех странах стремятся устраивать из местных материалов с малой дальностью возки. В этой связи особенное распространение получили:

– основания из каменных материалов и грунтов, связанных органическими и неорганическими вяжущими материалами;

– основания из тощего бетона, устойчивые против растрескивания. В нижней части несущего слоя по-прежнему укладывают щебеночные и гравийные слои.

В Японии широко применяют вариантное сравнение по стоимости равнопрочных конструкций дорожных одежд, меняя на автомобильных магистралях тип дорожной одежды через 15-20 км, если это оправдывается экономическими соображениями. Примером могут служить конструкции дорожной одежды на автомобильной магистрали Токио – Нагоя (рис. 27.30).

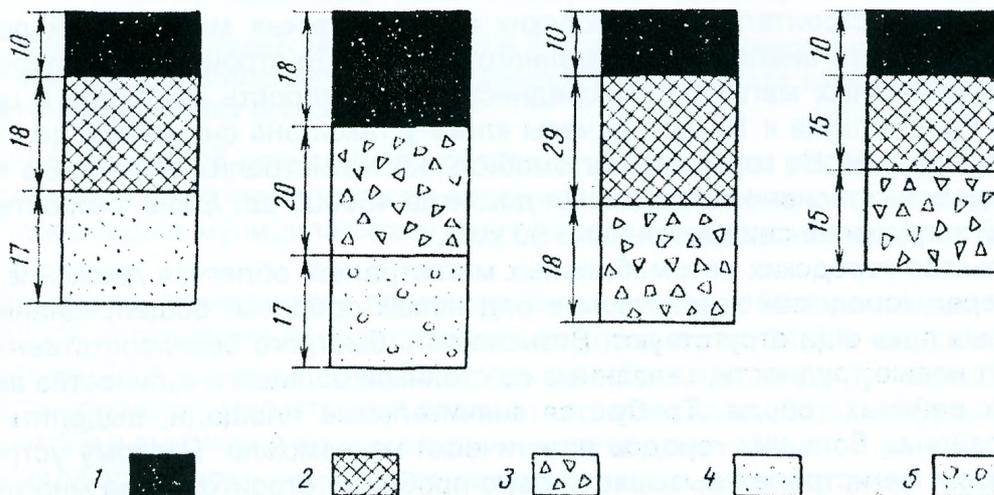


Рис. 27.30. Примеры равнопрочных конструкций дорожных одежд с разными типами оснований на дороге Токио – Нагоя: 1 – асфальтобетон; 2 – щебеночный или гравийный материал, обработанный органическими вяжущими; 3 – щебень; 4 – гравелистый материал, обработанный цементом; 5 – карьерный гравийный материал

Не вдаваясь в технологические особенности строительства дорожных одежд, следует отметить широкое распространение толстых слоев битумоминеральных материалов (до 12-16 см) и использование малоактивных неорганических вяжущих (гранулированные домен-

ные шлаки и низкомарочные цементы), дающих не подверженные трещинообразованию укрепленные слои.

27.13. Особенности проектирования городских автомобильных магистралей

27.13.1. Дороги для скоростного движения в городах

Быстрый рост количества автомобилей в городах приводит к высокой загрузке улиц движением, особенно в часы «пик». Скорости движения в городах резко уменьшаются по мере приближения от окраин к центральным городским районам. В крупных городах из-за несоответствия уличной сети требованиям движения скорости в часы «пик» настолько малы, что эффективность использования транспортных средств для грузовых и пассажирских перевозок сильно снижается. Создается положение, когда люди, быстро приехавшие по междугородным магистралям, тратят много времени для проезда в центр или через город.

Планировка многих городов – радиально-кольцевая или с наиболее широкими и благоустроенными магистралями, ведущими к центру города, вызывает у многих автомобилистов стремление ехать через центральные районы. Поэтому автомобилизация страны и строительство загородных автомобильных магистралей неизбежно выдвигают необходимость устройства в крупных городах сети магистральных автомобильных дорог для возможности быстрого проезда из одной части города в другую и въезда на междугородные магистрали.

Проводящееся во многих городах улучшение отдельных загруженных перекрестков путем устройства пересечений в разных уровнях, хотя и облегчает условия движения, не может решить проблему городского транспорта, так как не устраняет влияния пешеходов, маневров, связанных с выходами автомобилей из транспортного потока и с остановками у тротуаров, и прочих помех для движения. Обеспечение возможности внутригородского движения с высокими скоростями возможно только путем строительства специальных городских автомобильных магистралей.

При этом следует различать:

– городские автомобильные магистрали (городские скоростные дороги) (Urban freeways, Stadtautobahnen), полностью изолированные от местного движения и допускающие скорости движения до 100-120 км/ч. Их строят при высокой интенсивности движения, оцениваемой, например, в Канаде не менее чем в 20 000 авт./сут ;

– улицы скоростного движения (Urban arterials, Stadtschnellstrassen), по возможности приспособленные для движения с высокой скоростью, на которых пересечения в одном уровне находятся на большом расстоянии, а на наиболее загруженных из них устроены развязки в разных уровнях. Скорость движения обычно не превышает 80 км/ч.

Эффективность строительства городских автомобильных магистралей доказывается данными экономического анализа, проведенного в Токио. До строительства первой очереди городских автомобильных магистралей среднесуточная скорость движения в центральных районах Токио была близка к 18 км/ч. В часы «пик» у такси она снижалась до 13,8 км/ч, а у автобусов – до 11,8 км/ч. На городских автомобильных магистралях, полностью изолированных от пешеходов, интенсивность движения достигла 450000 авт./день, скорость даже в часы наибольшей загрузки не снижается ниже 50 км/ч.

Строительство городских автомобильных магистралей, облегчая движение, ставит одновременно перед городским хозяйством и ряд новых проблем, общепризнанные методы решения которых пока еще отсутствуют. Возможность быстрого беспрепятственного въезда в город создает новые трудности, связанные со стоянкой большого количества автомобилей в центральных районах города. Требуется значительные площади, выделить которые в центральных районах больших городов практически невозможно. Поэтому устройство скоростных городских магистралей вызывает новую проблему строительства многоэтажных гаражей или подземных стоянок, еще более осложняющую вопросы планировки города.

В старых городах многие сооружения городских магистралей противоречат исторически сложившимся архитектурным ансамблям, увеличивается уличный шум и загрязнение воздуха отработавшими газами.

27.13.2. Сети городских автомобильных магистралей

Строительство улиц скоростного движения и отдельных автомобильных магистралей сейчас ведется во многих больших городах мира. Участки скоростных улиц с ограничением

въезда построены в Брюсселе, Париже, Лондоне, в ряде городов США, Германии и Италии. Однако с точки зрения разнообразия и широты проектных решений наибольший интерес представляют сети городских автомобильных магистралей, полностью изолированных от местного движения, построенные в Токио и Осаке.

Особенностью японских городов является очень плотная малоэтажная застройка. Улицы занимают в Токио всего лишь 12,3% от площади города, тогда как в Париже это отношение составляет 24,1%, в Нью-Йорке – 35,1%, а в Вашингтоне – 42,6%. Для прокладки автомобильных магистралей в таких стесненных условиях потребовалось искать принципиально новые пути, позволяющие избежать значительного сноса строений. Сеть автомобильных магистралей Токио состоит из кольца и девяти расходящихся радиальных ветвей, ведущих в г. Иокогаму и в пригородные зоны на соединение с загородными автомобильными магистралями (рис. 27.31).



Рис. 27.31. Сеть автомобильных магистралей в Токио: 1 – находятся в эксплуатации; 2 – начато строительство; 3 – проектируются; 4 – примыкающие к городу автомобильные магистрали; 5 – проектируемая кольцевая дорога

Направление каждой дороги было обеспечено изучением распределения грузо- и пассажиропотоков. Для проложения трассы стремились в максимальной степени использовать земли, принадлежащие муниципалитету, малонаселенные части кварталов, реки, каналы и широкие улицы.

Первоначально намеченная дорожная сеть длиной 106,1 км затем увеличена до 260 км. На 50,2% протяжении дороги проходят по улицам и на 31,8% над реками и по берегу моря. Только на 10,8% длины потребовалось приобретать земли у частных владельцев. Большая часть городских магистралей проходит по эстакадам (86%), на уровне земли – 4%, в тоннелях – 4% и в выемках и по дну осушенных русел рек – 5%.

Представляют интерес скоростные автомобильные дороги в ряде городов Италии. В Генуе магистраль длиной 4,5 км проложена по прибрежной полосе между портом и деловыми районами города, пропуская в часы «пик» до 6000 авт/ч. Почти на всем протяжении дорога проходит эстакадой.

В Неаполе магистраль длиной 20 км пересекает город вблизи от центра по хордовому направлению. При проектировании уделялось особенно большое внимание согласованию сооружений дороги с общим пейзажем города. Предъявлялось специальное требование, чтобы магистраль не портила прославленный вид на бухту и на панораму холмов, окружающих город. Последнее обстоятельство во многом определило конструкцию дороги, отметки

родские дороги соединяются с загородными магистралями, часть из которых проложена по новым трассам.

Стоимость городских автомобильных магистралей достаточно велика. Значительная доля затрат связана с приобретением земли для строительства. Для нью-йоркских дорог она достигала 20-45% общей стоимости. Так, например, стоимость 1 км городской автомобильной магистрали в Манхеттене (Нью-Йорк) составила 18 млн. долларов США, в Бруклине (Нью-Йорк) – 8,5 млн. долларов США, в Европе – в среднем 3,5-5,5 млн. долларов США.

27.13.3. Конструкция городских автомобильных магистралей

Городские автомобильные магистрали должны быть полностью изолированы от местного движения автомобилей и пешеходов. Это достигается проложением их на эстакадах и в выемках. Достаточно типичными примерами конструкций городских магистралей могут служить показанные на рис. 27.33 поперечные профили скоростных автомобильных дорог, строящихся в Токио.

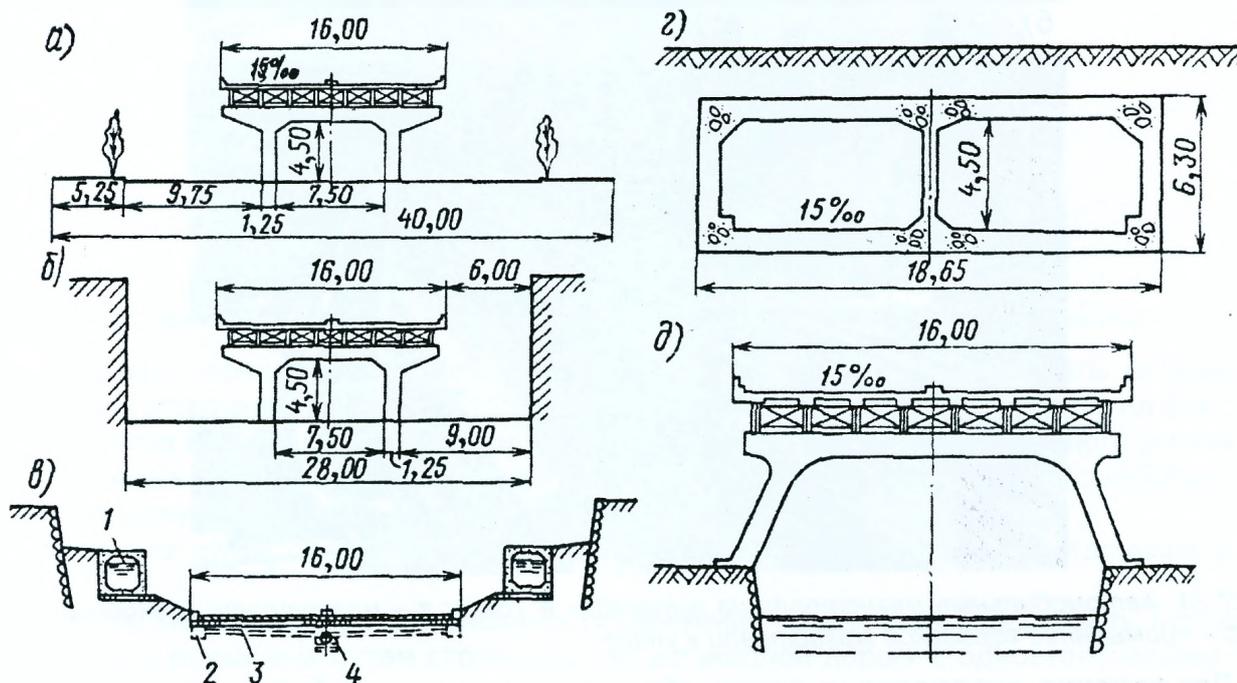


Рис. 27.33. Конструкция городских автомобильных магистралей в Токио: а – на эстакаде в незастроенных районах; б – на эстакаде в районах с плотной застройкой; в – по осушенному руслу реки; г – в тоннеле; д – над рекой; 1 – коллекторы для пропуска ливневого расхода с прилегающей местности; 2 – водоприемник с проезжей части; 3 – труба; 4 – водосток

Каждое из применявшихся решений имеет свои достоинства и недостатки. Магистрали, прокладываемые в одном уровне с поверхностью земли, находят в старых городах сравнительно малое распространение, преимущественно на окраинах городов, у сопряжений с примыкающими загородными автомобильными магистралями. Скоростная магистраль образует в городе как бы трудно преодолеваемый барьер. На пересечениях с улицами приходится устраивать путепроводы, в результате чего продольный профиль скоростной магистрали или пересекающих ее улиц становится ломаным. Возникают трудности с организацией движения пешеходов. Для полной гарантии безопасности движения приходится ставить вдоль дороги или хотя бы на ее разделительной полосе высокие ограды, обычно из проволочной сетки, предотвращающие попытки пешеходов перебежать улицу. Такое решение встречает возражения со стороны архитекторов.

Возвышающееся над уровнем местности проложение дороги возможно в насыпи и на эстакаде. Первое решение встречается редко, как малоудобное для городских территорий. Дорога в насыпи разделяет пересекаемые ею части города. Занятая ею площадь улицы используется хуже, чем при движении непосредственно на уровне земли. Поэтому проложение дороги в насыпи обычно бывает вынужденным при неблагоприятных гидрогеологических условиях. Наибольшее распространение имеют эстакадные решения (рис. 27.34).

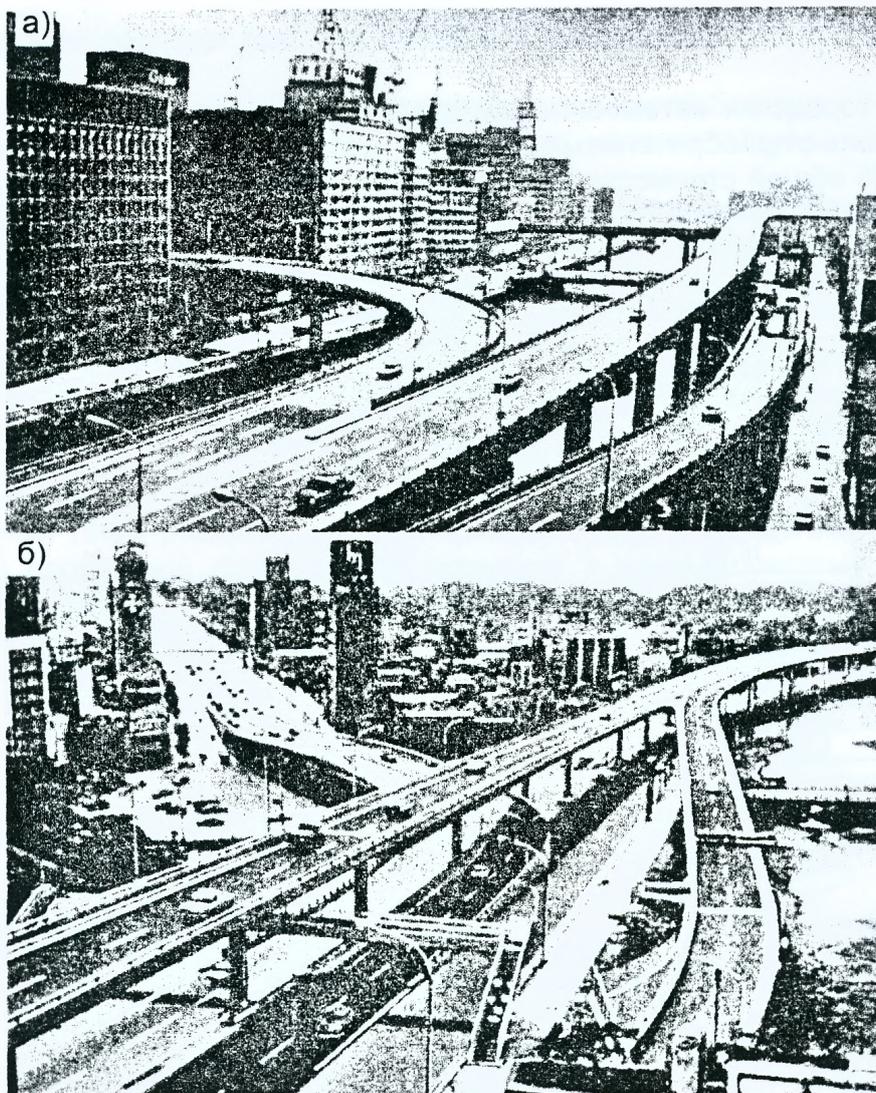


Рис. 27.34. Автомобильные магистрали на эстакадах в Токио: а – магистрали, проходящие вдоль реки; б – примыкание городской магистрали к улице

Проложение скоростных автомобильных магистралей по эстакадам имеет ряд преимуществ:

- эстакада как бы образует на улице дополнительную площадь для движения. Остающееся под ней пространство можно использовать для пропуска местного движения, автомобильных стоянок, строительства хозяйственных и торговых помещений;

- на узких улицах, размещая стойки эстакад на тротуарах, можно совершенно не стеснять местное движение;

- эстакадное решение не отражается на условиях движения пешеходов;

- проложение автомобильной городской магистрали на эстакаде часто не требует перекладки подземных сетей;

- эстакадное решение менее, чем другие, связано с существующей планировкой города;

- возможности строительства дорог на эстакадах не препятствует высокий уровень грунтовых вод, исключая, например, возможность проведения дорог в выемках.

Эстакадным решениям присущ, однако, и ряд серьезных недостатков:

- дорога на эстакадах часто противоречит сложившемуся архитектурному ансамблю города, закрывает вид на красивые здания. Влияние магистрали проявляется тем сильнее, чем уже улица, по которой она проложена;

- эстакады затеняют нижние этажи домов, движение по ним увеличивает уличный шум и загрязнение воздуха;

- в связи с опасностью падения автомобилей с эстакады в ней приходится предусматривать весьма мощные ограждения;

– в связи с значительной криволинейностью трассы городских скоростных автомобильных магистралей эстакады обычно сооружают из металлических конструкций. Это серьезно осложняет последующую эксплуатацию, требуя частой покраски и вызывая большие затраты на борьбу с коррозией.

Заглубление автомобильных магистралей в землю с расположением их в выемках было одним из первых появившихся решений. По этому типу еще до Второй мировой войны были построены первые городские автомобильные магистрали в США.

Траншейное решение (рис. 27.35) имеет ряд достоинств:

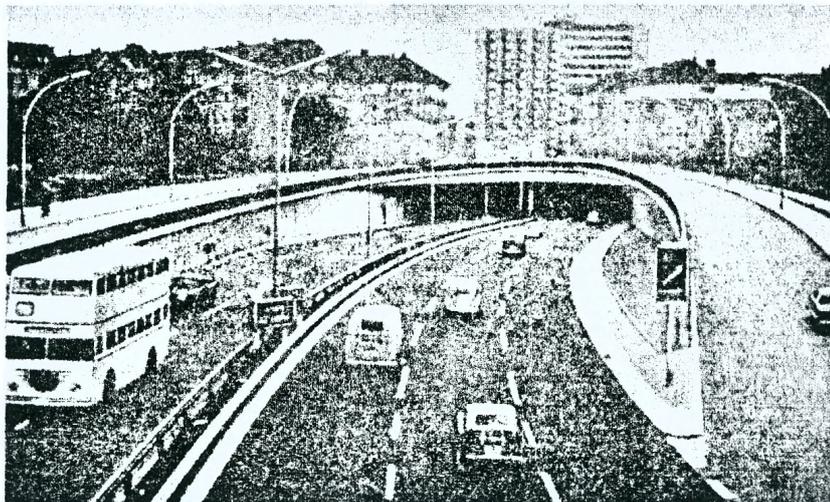


Рис. 27.35. Участок автомобильной магистрали в выемке на подходе к тоннелю (Берлин)

– удобство пересечения с поперечными улицами, продольный профиль которых не меняется. Для этого магистральную дорогу приходится заглублять не менее чем на 6 м;

– въездные и выездные рампы хорошо видны. Наличие на них продольного уклона делает ненужными переходно-скоростные полосы, способствуя разгону автомобилей при въезде и замедлению при выезде;

– снижение шума от движения, особенно при посадке на откосах кустарников и деревьев;

– при дальнейшем росте интенсивности движения пропускная способность магистралей может быть повышена путем строительства эстакадной дороги с одностолбчатыми опорами на разделительной полосе.

Для лучшего использования ширины проезжей части иногда над выемкой устраивают нависающую консольную проезжую часть. Такая конструкция осуществлена, например, на южном выходе из Парижа (рис. 27.36) и предусмотрена на внутренней кольцевой дороге. В последнем случае вынос консоли достигает 2,5 м.

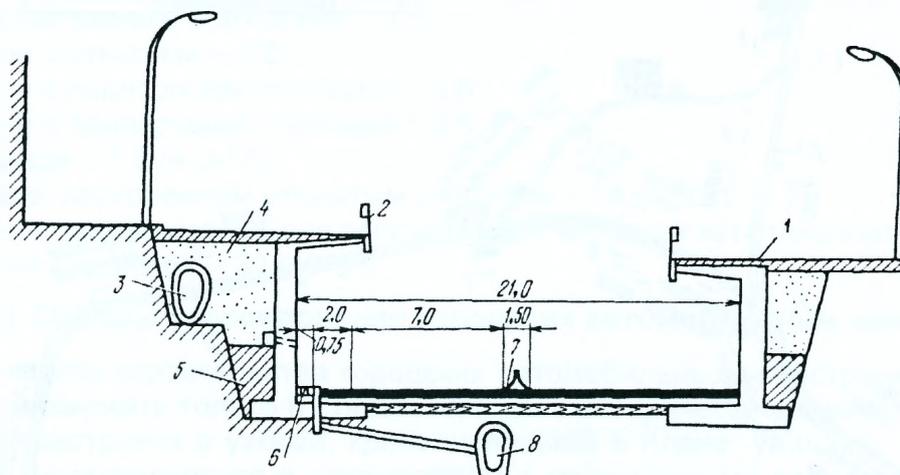


Рис. 27.36. Поперечный профиль участка дороги в выемке с нависающими консольными частями: 1 – проезжие части для местного движения; 2 – ограждения; 3 – уличный ливнесток; 4 – засыпка у подпорных стенок; 5 – подпорная стенка; 6 – приемная решетка ливнестока; 7 – возвышающийся разделительный бордюр; 8 – ливнесток автомобильной магистрали

Недостатки устройства магистралей в выемках:

– для устройства выемки требуется отводить широкую полосу на проезжей части улиц. При устройстве траншеи с подпорными стенками ухудшается видимость на кривых, а сами стенки оказывают на водителей психологический эффект, приводящий к малому использованию крайних полос движения;

– при строительстве дороги в выемке, как правило, требуется перекладка всех подземных сетей. Пропуск поперечных сетей встречает затруднения, так как их приходится переносить к путепроводам или устраивать дюкеры или некрасивые перекидные мостики;

– создаются затруднения для пешеходов. При больших расстояниях между пересекающимися улицами приходится строить специальные пешеходные мостики;

– возникают затруднения с обеспечением отвода воды, так как дорога располагается глубже, чем ливневая канализация. Необходима самостоятельная система отвода дождевых и талых вод с последующей перекачкой. При высоком стоянии грунтовых вод требуется прокладывать дренажи, причем опускание уровня грунтовых вод может вызвать осадку расположенных поблизости сооружений;

– устройство магистралей в выемке может потребовать укрепления фундаментов домов уличной застройки.

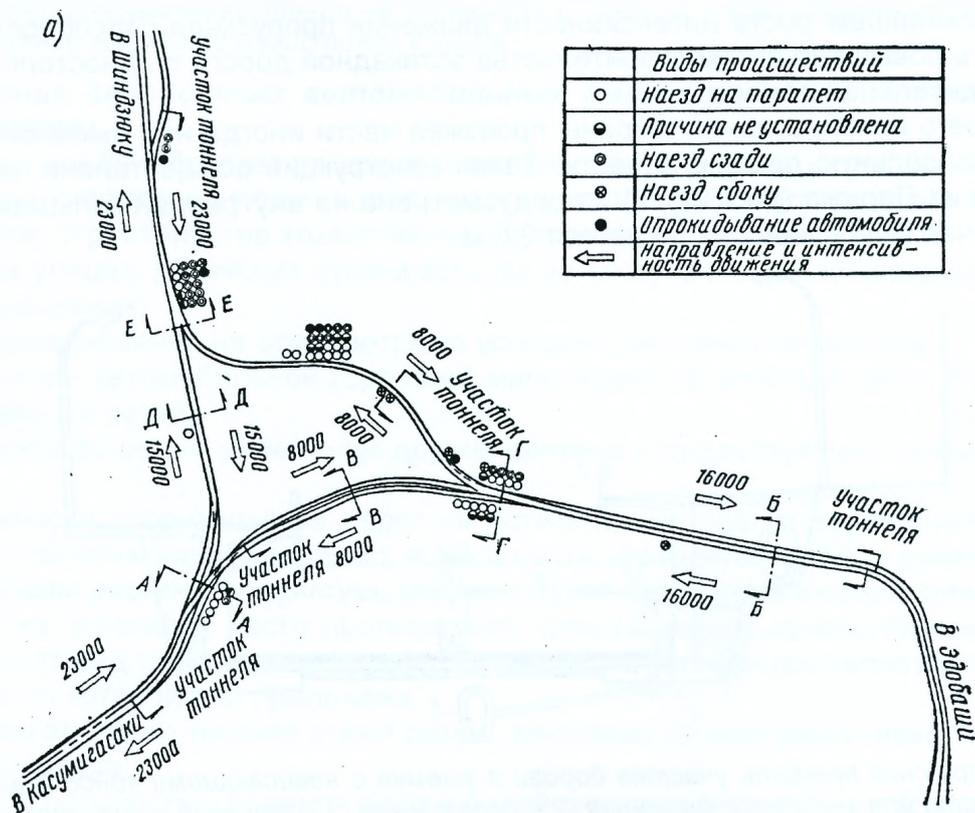
Разновидностью автомобильных магистралей в выемках являются дороги, проложенные по осушенным речным руслам.

Прокладка магистралей в тоннеле имеет ряд достоинств, которые, безусловно, на сегодняшний день являются основными решениями транспортной проблемы больших городов:

– они позволяют проложить магистрали по кратчайшему направлению под существующей застройкой, не нарушая архитектурного ансамбля. Такое решение было, например, осуществлено в Токио в районе Парламента, где под землей была устроена трехъярусная развязка в разных уровнях. Представление об ее конструкции дает рис. 27.37;

– тоннельное решение дает возможность прокладывать дорогу вдоль берега моря, по дну глубоких судоходных рек, применяя при строительстве метод погружения доставляемых наплаву кессонов;

– при проложении автомобильной магистрали в тоннеле отсутствует уличный шум, хотя, при неудачном проектировании возможны колебания прилегающей застройки.



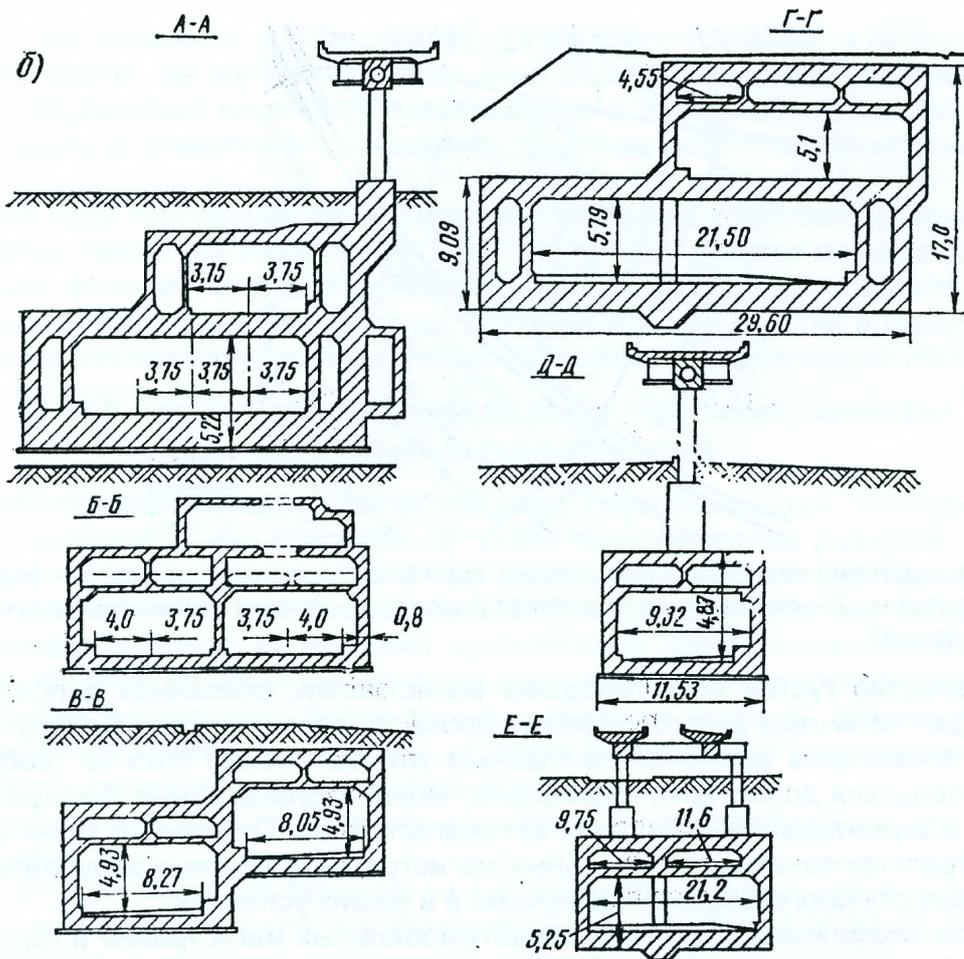


Рис. 27.37. Подземная транспортная развязка в Токио: а – план; б – поперечные сечения на характерных участках

Недостатком тоннельных решений является высокая стоимость и низкие темпы строительства. В связи с высокой интенсивностью городского движения даже при небольшом протяжении тоннелей необходима искусственная вентиляция. Распространить на этот случай нормативы на тоннели на загородных дорогах нельзя.

Стоимость городских автомобильных магистралей колеблется в зависимости от их конструкции в широких пределах. По данным анализа, выполненного английской транспортной и дорожно-исследовательской лабораторией, относительная стоимость строительных работ в разных уровнях проложения городских автомобильных магистралей равна:

- проложение на уровне земли – 1,0 (0,7-1,3);
- в открытой выемке с откосами – 1,5;
- в насыпи с откосами – 2,0;
- в насыпи с подпорными стенками – 3,0;
- в выемке с подпорными стенками – 5,5;
- на эстакаде – 7,5 (4,0-10);
- в тоннеле, построенном открытым способом – 14 (6-30);
- в тоннеле, уложенном на дне реки или моря методом затопления кессонов – 25;
- в тоннеле под рекой – 30 (18-65).

27.13.4. Основы трассирования городских автомобильных магистралей

Необходимость строительства городских автомобильных магистралей описанного выше типа может возникать только в старых городах с исторически сложившейся планировкой в виде плотной застройки с узкими, криволинейными в плане, улицами. Для современных новых городов, развивающихся в соответствии с генеральными планами, разработанными на основе детального учета межрайонных транспортных связей, характерно резервирование площадей для прокладки сети широких улиц скоростного движения, обеспечивающих беспрепятственный пропуск перспективных потоков движения (рис. 27.38).



Рис. 27.38. Принципиальная схема планировки городской дорожной сети: 1 – городская автомобильная магистраль; 2 – скоростная городская дорога; 3 – дорога районного значения; 4 – внутриквартальный проезд

Строительство густой сети городских магистралей, описанных в предыдущем параграфе, не будет типичным для городского дорожного строительства Беларуси. Относительно малая интенсивность движения по главным улицам Минска пока не требует устройства скоростных городских дорог, хотя планировка нашей столицы имеет большой запас на проектирование и строительство городских автомагистралей. Отдельные технические решения и принципы трассирования автомобильных магистралей в крупных зарубежных городах могут в отдельных случаях оказаться полезными и в наших условиях.

Основная возможность проложения автомобильных магистралей в городах – **использование широких улиц**. Чем шире улица, тем меньше помех создает скоростная магистраль, даже проходящая на эстакаде. В связи с практикой застройки наиболее ценными зданиями главных улиц следует шире использовать трассировку магистралей внутри кварталов, по территориям, пока еще имеющим менее плотную застройку малоценными домами.

Широко используется возможность трассирования скоростных магистралей вдоль каналов и узких рек. Во многих случаях каналы, потерявшие свое хозяйственное значение для судоходства, могут быть осушены или просто перекрыты сверху полотном магистрали на эстакаде. Это возможно в городах, расположенных в дельтах рек, где отдельные притоки могут быть выключены без существенного нарушения общего гидрологического режима. В Токио для прокладки городской магистрали был использован осушенный судоходный канал. Для отвода ранее поступивших в него ливневых вод по бокам были проложены два ливнепровода, имеющие большую пропускную способность. В городах, пересекаемых горными реками, расход воды в которых большую часть года незначителен, магистрали можно прокладывать по их руслам, отводя летний расход в специальный коллектор. Во время паводков движение по дороге приходится закрывать. При проектировании скоростной магистрали в Риме рассматривался вариант ее приложения эстакадой над электрифицированной железной дорогой.

При неизбежности пересечения районов города, являющихся весьма ценными с исторической или архитектурной точки зрения, должны рассматриваться тоннельные варианты, не меняющие их облика.

Строительство автомобильных магистралей в городах невозможно без сноса отдельных строений. Приходится искать решения, которые позволили бы заполнить провал, образующийся в сети ряда домов при прокладке автомобильной магистрали. В практике строительства городских автомобильных магистралей в г. Осака был предложен ряд оригинальных технических решений в этом направлении. Известен случай, когда пролетное строение эстакады было пропущено в отверстие, специально оставленное для нее в строившемся административном здании. На улице Чикко-Фукая в деловом районе города на протяжении 930 м автомобильная магистраль для транзитного движения была проложена на уровне четвертого этажа. Под ней дорожно-строительной корпорацией были построены административные здания с железобетонным каркасом, учитывавшим нагрузки от эстакады.

Несмотря на сложность трассирования в городских условиях, к скоростным автомобильным магистралям, так же как и к загородным дорогам, предъявляют требования обеспечения пространственной плавности и вписывания в городской ландшафт. Желательно, чтобы с магистрали открывался вид на здания, представляющие архитектурный и исторический интерес.

Сохраняет силу требование совпадения вертикальных и горизонтальных кривых и равенства их длины, так же как и отсутствия коротких прямых вставок между вертикальными и горизонтальными кривыми. Вид дороги красивее при больших углах поворота. Малые повороты на несколько градусов нежелательны. Длинные прямые участки в городах вполне допустимы, если они соответствуют направлению застройки, определяющей общий вид улицы.

27.13.5. Технические условия на проектирование городских автомобильных магистралей

В условиях плотной городской застройки улиц, пересекающихся, как правило, под прямыми углами, в которые можно вписываться только кривыми малых радиусов, выдержать на городских автомобильных магистралях столь же высокие скорости движения, как на загородных дорогах, практически невозможно. Кроме того, при относительно небольших длинах пробегов в городах выигрыш во времени, достигаемый проектированием магистралей на очень высокие скорости, не оправдывает повышенных расходов на строительство.

Для городских магистралей более важна не высокая скорость движения, а обеспечение пропускной способности пересечений, на которых неизбежно происходит значительное снижение скорости движения при выполнении маневров поворота.

При разработке норм на проектирование городских автомобильных дорог существуют **две точки зрения.**

В США и СНГ считают, что скорости на городских магистралях должны мало отличаться от скоростей на загородных дорогах. В нормах Беларуси (СНБ 3.03.02-97 «Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов») предусмотрена скорость 100 км/ч. Проектирование городских автомобильных магистралей с пересечениями в разных уровнях в Лос-Анджелесе, Далласе и Чикаго вели на скорости 96 км/ч, дорог скоростного движения, на которых допускают регулируемые пересечения в одном уровне – на 80 км/ч. Канадские технические условия предусматривают скорость 80-112 км/ч. Скорость 120 км/ч принята в нормах Венгрии и Югославии (для скоростной дороги в Белграде). В Англии городские автомобильные магистрали проектируют на 80 км/ч, скоростные автомобильные дороги – на 56 км/ч.

Противоположной точкой зрения руководствовались в Японии при проектировании сети городских автомобильных дорог в Токио. Ставя на первое место требование высокой пропускной способности магистралей, необходимой для разгрузки уличной сети города, эстакадные дороги проектировали на скорость 60 км/ч, допуская в трудных местах ее снижение до 50 км/ч. Однако при проектировании внешней распределительной кольцевой дороги па границам городской черты предусмотрены более высокие скорости 100 км/ч и 80 км/ч – в трудных местах.

В большинстве стран (Англии, Германии, Италии) принято промежуточное значение расчетной скорости 80 км/ч, которое соответствует наиболее удобному режиму движения в городских условиях. В Нидерландах строящаяся кольцевая дорога в Роттердаме рассчитана на 90 км/ч.

Во Франции для проектирования городских магистральных автомобильных дорог различных категорий приняты расчетные скорости 100, 80 и 60 км/ч одиночного автомобиля, которые оговаривают, однако, что движение транспортных потоков интенсивностью, примерно равной 0,75 от практической пропускной способности, происходит соответственно с меньшими скоростями – 70, 60 и 50 км/ч. Считают, что наиболее целесообразна для городских магистралей расчетная скорость 100 км/ч в очень благоприятных условиях трассирования и 80 км/ч – в стесненных.

Поперечные профили эстакадных дорог во всех странах весьма близки друг к другу. Дороги, как правило, имеют четыре полосы движения с узкой возвышающейся разделительной полосой между ними. Тротуары, даже служебного назначения, отсутствуют. Их заменя-

ет приподнятый борт с установленными прочными ограждениями, способными воспринять наезд автомобиля под острым углом.

Радиусы кривых в плане на городских автомобильных магистралях меньше, чем на загородных участках. Считают, что в этом случае расчеты кривых в плане можно вести на большие значения коэффициентов поперечной силы, допуская некоторые неудобства для пассажиров при повороте со скоростями, близкими к расчетным.

В связи с малыми радиусами кривых в плане на городских дорогах разрешают применять крутые виражи: в Англии и во Франции до 70%, в Германии – до 50%, на городских дорогах Токио – до 100%.

Городские улицы и дороги Беларуси проектируются согласно СНБ 3.03.02-97 «Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов». Настоящие строительные нормы распространяются на проектирование улиц и дорог городов, поселков и сельских населенных пунктов, а также на участки автомобильных дорог общего пользования, проходящие по улицам городских и сельских поселений в пределах перспективных границ поселений, установленных их действующими генеральными планами. Требования СНБ 3.03.02-97 не распространяются на проектирование внутриплощадочных дорог промышленных, складских, сельскохозяйственных предприятий и временных дорог.

В составе улично-дорожной сети населенных мест Беларуси выделяются:

- магистральные улицы и дороги, обеспечивающие выходы на сеть автомобильных дорог общего пользования, транспортные связи с центром поселения и между отдельными жилыми, промышленными и коммунально-складскими районами;
- улицы и дороги местного значения, примыкающие к магистральным улицам и непосредственно обслуживающие, подключающие прилегающую застройку.

Классификацию улиц и дорог населенных мест следует принимать в соответствии с табл. 27.24. Формирование сети улиц и дорог, отнесение каждой из них к соответствующей категории и определение расчетных нагрузок выполняются в генеральном плане населенного пункта и принимаются за основу для всех последующих стадий проектирования.

Таблица 27.24. Классификация улиц и дорог населенных мест

Обозначение	Категории улиц и дорог населенных мест	Основная транспортная функция	Пересечения, режим движения	Обозначение и количество полос движения	Расчетная скорость, км/час	
					в свободных условиях	в стесненных условиях
1	2	3	4	5	6	7
Магистральные улицы и дороги						
М	Дороги и улицы непрерывного движения	скоростные соединяющие	в разных уровнях, непрерывное движение	М6, М8	100	80
А	Улицы общегородского значения	главные соединяющие в крупных и больших городах	в одном уровне, регулируемое движение	А4, А6, А8	80	60
Б	Улицы районного значения	соединяющие и распределяющие в крупных и больших городах	то же	Б2, Б4	70	50
В	Магистральные улицы средних и малых городов	соединяющие и распределяющие	то же	В2, В4	70	50
Г	Главные улицы поселков и сельских населенных пунктов	распределяющие	то же	Г2	60	40
Д	Городские дороги	соединяющие и распределяющие	то же	Д2, Д4	80	60
Улицы и дороги местного значения						
Е	Поселковые дороги. Улицы производственных и коммунально-складских зон	распределяющие	в одном уровне, регулируемое движение	Е2	60	40
Ж	Жилые улицы основные	то же	то же	Ж2	60	30
З	Жилые улицы второстепенные	подключающие	в одном уровне, нерегулируемое движение	З2	30	20
П	Проезды основные	то же	то же	П2	не нормируется	
	Проезды второстепенные	то же	то же	П1	то же	

Участки автомобильных дорог общего пользования в пределах перспективных границ городов должны проектироваться по настоящим нормам с соотношением категорий в соответствии с табл. 27.25.

Таблица 27.25. Соотношение категорий городских дорог и дорог общего пользования

Категории улиц и дорог населенных мест	Категории автомобильных дорог общего пользования по СНиП 2.05.02
Дороги и улицы категории М	I-а категории
Улицы и дороги категорий А и Д	I-б, II и III категории
Улицы категории В и Г	III и IV категории
Дороги категории Е	V категории

Улицы категорий Б, Ж, З и проезды не могут служить продолжением автомобильных дорог общего пользования или соединять их между собой.

В пределах территорий городов, которые не предусматриваются к освоению в ближайшие 10 лет, допускается применение поперечного профиля загородного типа.

Основные параметры улиц и дорог населенных мест принимаются в зависимости от их категории и с учетом интенсивности движения транспорта и пешеходов на 20-ый год с момента окончания проектирования в соответствии с нормами, приведенными в табл. 27.26.

Таблица 27.26. Основные параметры улиц и дорог населенных мест

Нормативные показатели. Элементы плана и профиля улиц и дорог	Магистральные улицы и дороги							Улицы и дороги местного значения				
	М	А	Б4, В4	Б2, В2	Г	Д4	Д2	Е	Ж	З	П2	П1
Расчетная скорость движения, км/час	<u>100</u> 80	<u>80</u> 60	<u>70</u> 50	<u>70</u> 50	<u>60</u> 40	<u>80</u> 60	<u>80</u> 60	<u>60</u> 40	<u>60</u> 30	<u>30</u> 20		
Количество полос движения	6-8	4-8	4	2	2	4	2	2	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	<u>3,75</u> 3,50	3,50	3,50	3,50	<u>3,75</u> 3,50	3,75	3,50	3,00	3,00	2,75	3,50
Ширина краевой предохранительной полосы, м	0,75	0,5				0,5						
Ширина центральной разделительной полосы, м	5,0	4,0				4,0						
Ширина обочин, м	3,0			2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0
Наименьшие радиусы кривых в плане, м	<u>600</u> 400	<u>400</u> 250	<u>250</u> 150	<u>250</u> 150	<u>250</u> 150	<u>400</u> 250	<u>250</u> 150	<u>150</u> 100	<u>120</u> 60	<u>60</u> 30	<u>30</u> 20	<u>25</u> 15
Наибольший продольный уклон, ‰	<u>40</u> 60	<u>60</u> 70	<u>70</u> 80	<u>70</u> 80	<u>70</u> 80	<u>60</u> 70	<u>70</u> 80	<u>80</u> 90	<u>80</u> 90	<u>80</u> 90	<u>80</u> 90	<u>80</u> 90
Алгебраическая разность уклонов в продольном профиле, при которой и более устраиваются вертикальные кривые, ‰	7	10	10	10	15	10	10	15	20	20	20	20
Наименьшие радиусы вертикальных кривых, м	выпуклых	<u>6000</u> 4000	<u>4000</u> 2500	<u>4000</u> 1500	<u>4000</u> 1500	<u>2500</u> 1000	<u>4000</u> 2500	<u>4000</u> 2500	<u>2500</u> 1000	<u>2500</u> 600	<u>600</u> 600	
	вогнутых	<u>2500</u> 2000	<u>2000</u> 1500	<u>1500</u> 1200	<u>1500</u> 1000	<u>1500</u> 1000	<u>2000</u> 1500	<u>1500</u> 1000	<u>1000</u> 600	<u>1000</u> 600	<u>600</u> 300	
Расстояние между пересечениями не менее, м	600	400	300	150	100	400	300	150	100	50		
Наименьшая ширина пешеходной части тротуаров, м	в многоэтажной застройке	4,5	4,5	3,0	3,0	2,25	1,5	1,5	2,25	1,5	1,2	0,75
	в малоэтажной застройке	2,25	3,0	2,25	2,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	
Ширина улиц, в красных линиях, м	70-90	60-80	40-60	30-40	25-30	40-60	30-50	25-40	20-25	15-20		

Примечание. В числителе приведены нормы для условий нового строительства на свободных территориях с равнинным рельефом, в знаменателе – для условий реконструкции, на застроенных территориях и на пересеченной местности (стесненные условия).

Проезжая часть улиц и дорог в соответствии с настоящими нормами предназначена для пропуска автотранспортных средств с габаритными размерами: по длине одиночных автомобилей – до 12 м и автопоездов – до 20 м, по ширине – до 2,5 м, по высоте – до 4 м.

Расчетные расстояния видимости при проектировании улиц и дорог населенных мест должны быть обеспечены не менее указанных в табл. 27.27.

Таблица 27.27. Расчетные расстояния видимости

Расчетная скорость, км/час	Расчетные расстояния видимости, м	
	для остановки автомобиля	встречного автомобиля
100	140	280
80	100	200
60	75	150
50	60	120
40	50	100
30	40	80

Наименьшее расстояние для остановки должно обеспечивать видимость любых предметов, имеющих высоту 0,2 м и более, находящихся на середине полосы движения, с высоты глаз водителя 1,2 м от поверхности проезжей части.

В пределах зоны обеспечения видимости запрещается размещать зеленые насаждения и элементы благоустройства высотой более 0,5 м.

При расчетах интенсивности движения и пропускной способности различные типы транспортных средств следует приводить к одному расчетному виду – приведенному автомобилю, применяя коэффициенты приведения, нормируемые СНБ 3.03.02-97.

Основные принципы, понятия и идеи проектирования городских улиц и дорог:

– план уличной сети города определяется размещением производственных предприятий, жилых кварталов, общественных зданий, вокзалов, пристаней, а также примыканиями загородных дорог. Различают несколько систем планировки городов: радиальную, радиально-кольцевую, прямоугольную и смешанную;

– при проектировании новых городов сеть улиц намечают исходя из предполагаемых направлений потоков городского движения;

– планировка улиц, перекрестков и площадей составляет ответственную часть общей архитектурной планировки города. При проектировании уличной сети учитывают архитектурное оформление прилегающих площадей, набережных, парков и т. д.

– участки автомобильных дорог в пределах населенных пунктов должны отвечать требованиям, предъявляемым как к автомобильным дорогам соответствующей категории, так и к городским или поселковым улицам.

– к элементам городской улицы относят: проезжую часть, трамвайное полотно, тротуары, систему водоотвода, зеленые насаждения и велосипедные дорожки.

– ширину проезжей части назначают в зависимости от перспективной интенсивности движения в часы пик и пропускной способности одной полосы, определяемой с учетом категории улицы, расстояния между перекрестками и их пропускной способности.

– *красными линиями* называются линии, определяющие границы городской улицы (дороги), вдоль которых осуществляется городская застройка, размещаются парки, сады, скверы, стадионы и другие сооружения. План красных линий является важнейшим проектным документом, который служит исходным материалом для всех последующих стадий проектирования улиц и дорог города;

– ширину тротуаров устанавливают в зависимости от категории улицы, характера застройки и количества пешеходов, считая, что пешеход при движении занимает полосу шириной 0,75 м. При назначении ширины тротуара учитывают размещение магазинов и общественных учреждений, а также возможность использования тротуаров для прогулок населения по центральным улицам, набережным и т.п.;

– подземные коммуникации располагают под проезжей частью улицы, тротуарами и зелеными насаждениями. Улицы современных больших городов проектируют с учетом расположения и создания благоприятных условий эксплуатации сложного и разнообразного подземного хозяйства. К подземным сооружениям относят ливневую и хозяйственную канализацию, водопровод, газопроводы, линии теплофикации, дренажи, электрические кабели высокого и низкого напряжения различного назначения, кабели телефонные, телеграфные, радиовещательные, пожарной сигнализации и специального назначения;

– при изысканиях для строительства новых и реконструкции существующих улиц общее направление и план улицы устанавливают по данным планировки города. На плане улицы обычно в масштабе 1:500 намечают базис – основную опорную линию для геодезических работ. Ее принимают параллельной оси улицы, размещая так, чтобы движение не мешало работе геодезистов. Начальную, конечную точки и углы поворота базиса закрепляют на местности, привязывая к постоянным точкам;

– улицу в плане и продольном профиле проектируют с учетом примыкающих улиц и площадей. План улицы определяется ее направлением и линиями существующей или проектируемой застройки. Улицу проектируют на основе технических изысканий и съемки плана, продольных и поперечных профилей;

– при проектировании проезжей части в плане необходимо обеспечить заданную ширину на всем протяжении улицы, так как отдельные сужения проезжей части будут ограничивать пропускную способность улицы на значительном протяжении. Наоборот, если позво-

ляют местные условия, то в местах намеченных остановок общественного транспорта следует предусматривать уширения проезжей части (так называемые карманы);

- вертикальная планировка улиц предусматривает изменение рельефа местности в соответствии с инженерно-техническими и архитектурными требованиями и установление высотных отметок поверхности улиц и площадей, расположение подземных сооружений, входов в здания, въездов во дворы. К вертикальной планировке относят также определение высотного положения мостов, путепроводов, тоннелей и набережных в зависимости от технических и местных условий. Вертикальная планировка кварталов преследует цель обеспечения стока воды к сети наружных и подземных водостоков;

- схему перекрестка выбирают с учетом перспективных размеров и характера движения и, конечно, в зависимости от плана уличной сети;

- при проектировании водоотвода в населенных пунктах в первую очередь устанавливают направление основных водосточных магистралей, совмещая их с пониженными местами тальвегами. Магистраль закрытого водостока обычно располагают по направлению улиц и параллельно линии застройки, но бывают случаи, когда по условиям рельефа водосток прокладывают через территорию квартала. Водоотводные устройства на прилегающих территориях проектируют с учетом сброса воды в главную магистраль;

- направление оси мостового перехода назначают обычно как продолжение оси улицы, примыкающей к мосту, соблюдая по возможности условие перпендикулярного расположения моста к направлению течения реки. Выдержать оба эти условия одновременно не всегда удается, поэтому часто городские мосты приходится строить косыми;

- продольный профиль подходов к мостам зависит от высотной отметки проезжей части на мосту и вертикальной планировки прилегающих улиц;

- оценка воздействия транспорта на прилегающую застройку производится по степени загрязнения атмосферного воздуха, уровню звука и вибрации и степени загрязнения сточных вод.

27.13.6. Транспортные развязки на городских автомобильных магистралях

Транспортные развязки на городских автомобильных магистралях располагаются в более стесненных условиях, чем загородные. В подавляющем большинстве случаев для размещения петель для правого и левого поворота используется ширина улицы, по оси, которой, на эстакаде или в выемке проложена транзитная автомобильная магистраль. Поэтому применяют «сжатые» варианты тех же транспортных развязок по типу клеверного листа и других, используемых на загородных дорогах. Это влечет за собой использование очень малых радиусов кривых на съездах и малых скоростей движения при повороте (рис. 27.39).

В наибольшей степени избежать стеснения улицы транспортной развязкой можно путем устройства **многоярусных пересечений**, в которых вместо левоповоротных петель в уровне проезжей части улицы, устраивают левоповоротные съезды в третьем ярусе пересечения. При радиусах поворота, больших, чем в первом случае, удается разместить пересечение в пределах ширины улицы с минимальным стеснением движения. По этому типу запроектированы пересечения на городских магистралях Токио. В некоторых случаях, однако, на пересечениях городских автомобильных магистралей с весьма высокой интенсивностью движения приходится строить сложные пересечения, осуществление которых требует сноса застройки на больших площадях. Примером может служить показанный на рис. 27.40 проект пересечения в Бирмингеме.

Наибольшую экономию необходимой площади дает пересечение по типу ромба. Пересечение с кольцевым движением требует устройства двух мостов, но так же, как и неполный клеверный лист, нуждается в сравнительно большой площади. Пересечения по типу неполного клеверного листа дают возможность наиболее четко организовать движение, но имеют кривые малых радиусов на петлях, которые вынуждают проводить все маневры с очень низкими скоростями.

Столь же важным элементом городских, как и загородных, пересечений являются **переходные полосы** для поворачивающих автомобилей и участка переплетения транспортных потоков между точками въезда и выезда. Типичные для пересечений кольцевого типа, они встречаются и на многих других пересечениях, в том числе и на неполном клеверном листе.

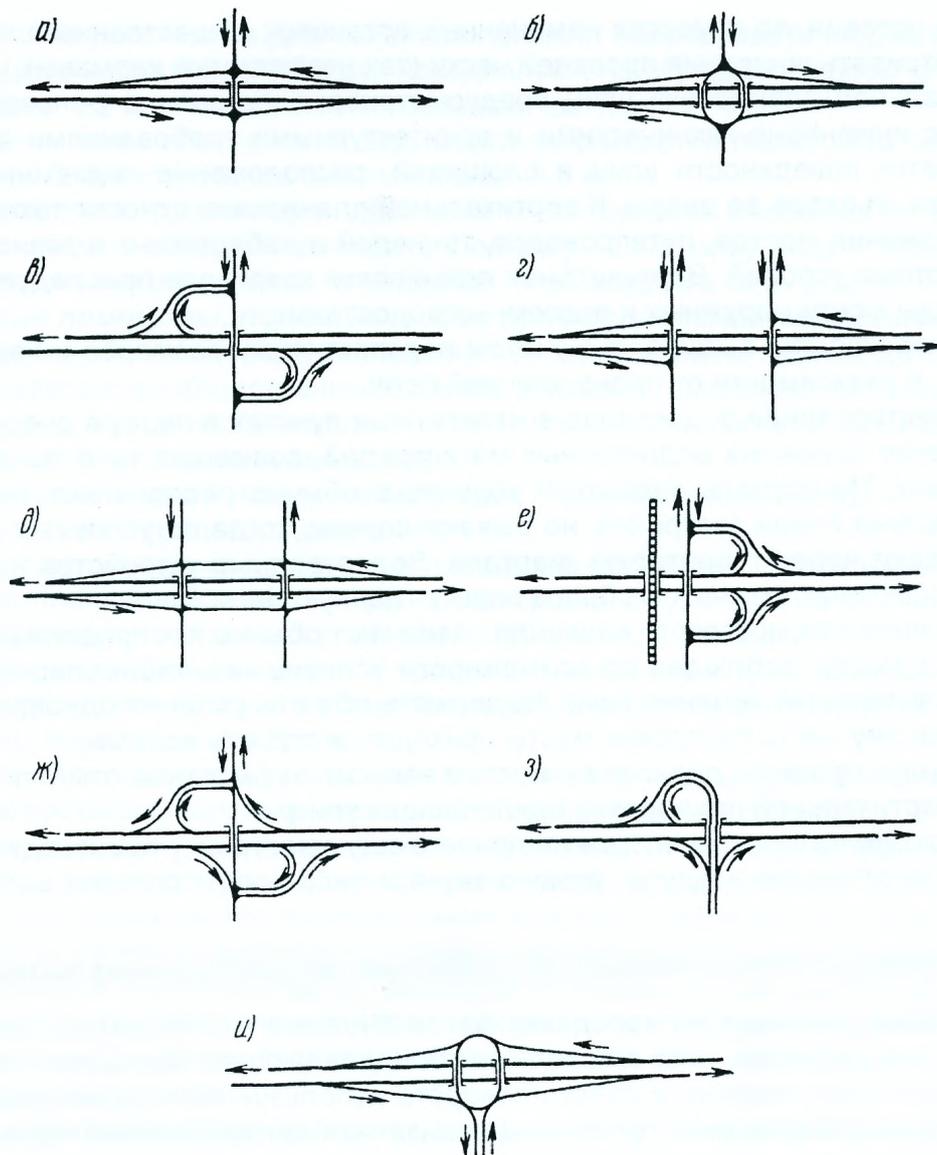


Рис. 27.39. Основные схемы пересечений городских автомобильных магистралей в разных уровнях: а – пересечения по типу ромба; б – ромб с распределительными кольцами; в – неполный клеверный лист; г – разрезанный ромб; д – разрезанный ромб с соединительными путями; е – неполный клеверный лист при невозможности проложения съездов вдоль магистрали; ж – неполный клеверный лист с дополнительными съездами для устранения левых поворотов на пересекающей дороге; з – примыкание по типу трубы; и – примыкание с распределительным кольцом



Рис. 27.40. Пример сложной современной транспортной развязки (проект транспортного узла в г. Бирмингем)

Поворотные полосы должны сочетаться с автомобильными магистралями через переходно-скоростные полосы. Учитывая требования экономии площади на городских пересечениях, переходно-скоростные полосы обычно проектируют как длинный клин, ширина сечения которого становится равной ширине полосы движения только у самого начала пересечения. Угол примыкания принимают очень малым ($4-5^\circ$). Длину полос разгона и торможения рассчитывают исходя из больших величин положительного и отрицательного ускорения.

Каждое пересечение на городской автомобильной дороге осложняет ее конструкцию и увеличивает стоимость. Даже при наличии переходно-скоростных полос создаются помехи движению автомобилей. Поэтому съезды не должны быть слишком частыми. Минимальное расстояние между пересечениями по типу ромба считают равным 550 м. Желательно не делать их чаще, чем через 750-800 м. Для укрепления расстояния между примыканиями прибегают к их сосредоточению и объединению и к устройству параллельной коллекторно-распределительной дороги (рис. 27.41).

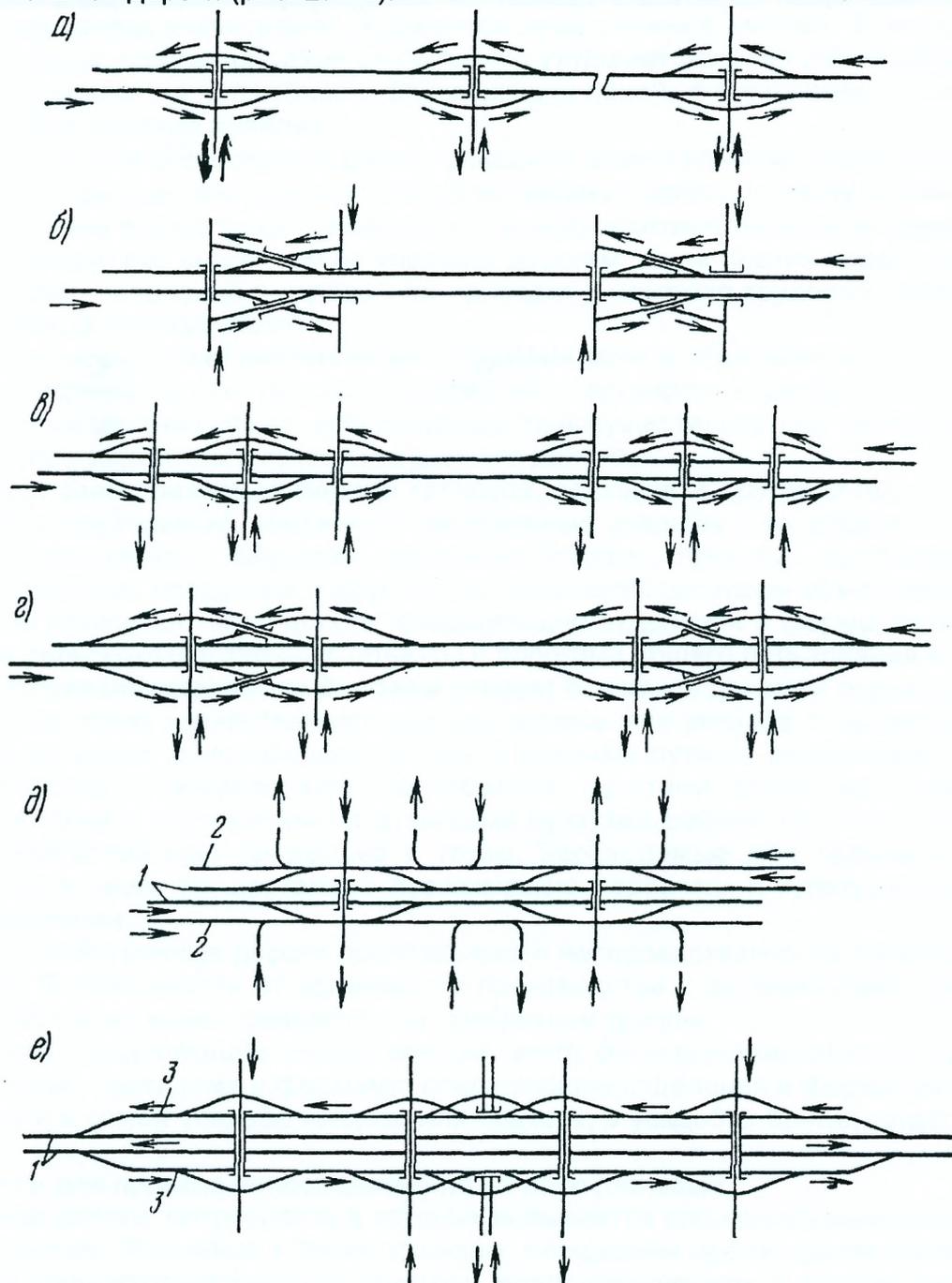


Рис. 27.41. Расположение съездов на пересечениях городской автомобильной магистрали по типу ромба: а – обычное расположение; б – пересекающиеся съезды; в – сгруппированные съезды; г – объединение сгруппированных и пересекающихся съездов; д – перенос поворотов на параллельные дороги; е – устройство параллельных коллекторно-распределительных дорог; 1 – магистраль; 2 – параллельная дорога; 3 – коллекторно-распределительная дорога

В связи с низкими скоростями на поворотных петлях, резко снижающими транспортно-эксплуатационные качества пересечений обычного типа в городских условиях, в будущем большое распространение получат, несмотря на их высокую стоимость, подземные пересечения в разных уровнях. Не связанные с существующей планировкой улиц и застройкой, они могут обеспечивать высокие скорости и пропускные способности.

В качестве положительного примера, помимо описанного выше транспортного узла в Токио, можно сослаться на подземное Т-образное примыкание в разных уровнях, построенное в Риме. Пересечение имеет радиусы кривых в плане 53-75 м и обеспечивает скорость 50 км/ч. Продольные уклоны рампы достигают 80‰. Построенное также по соображениям сохранения архитектурного ансамбля оно пропускало в часы «пик» до 20 тыс. авт/ч. В настоящее время реализован проект подземной кольцевой дороги длиной 2,5 км в центральной части Бирмингема, в которую будет вливаться пять радиальных магистралей. По диаметру под землей кольцо будет перетекать транзитная междугородняя магистраль А-38 Плимут – Ноттингем.

28. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

28.1. Классификация внутрихозяйственных дорог

Транспорт имеет первостепенное значение в круглогодичном цикле сельскохозяйственного производства. Наиболее важное значение приобретают своевременные перевозки сельскохозяйственных продуктов к пунктам приема и переработки сырья, а также вывоз удобрений на поля, перевозка топливно-смазочных материалов, семян и т. д.

Эффективность работы автомобильного транспорта существенно зависит от состояния дорог. Весной, в разгар посевных работ, и осенью, в период уборки урожая, проезд по неблагоустроенным дорогам вследствие переувлажнения грунтов крайне затруднен, сопровождается большим перерасходом топлива и быстрым изнашиванием автомобилей. В зимний же период проезд значительно ухудшается из-за снежных заносов. В засушливое время года на грунтовых дорогах образуется пыль, что ухудшает условия движения автомобилей, отрицательно влияет на урожайность близлежащих полей, а в сельских поселках – на здоровье и бытовые условия жителей.

Отсутствие благоустроенных дорог приводит к значительному удорожанию сельскохозяйственной продукции, нарушению планов проведения работ, к срыву сроков вывоза урожая и к частичным его потерям. Себестоимость сельскохозяйственных перевозок в этих условиях в несколько раз выше, чем по хорошим дорогам. Из-за плохих дорог усиливается миграция сельского населения в города, что приводит к нехватке трудовых ресурсов на сельскохозяйственных предприятиях.

Понятие «*сельскохозяйственные дороги*» можно определить как сочетание сети внутрихозяйственных дорог сельхозпредприятий, подъездов к центральным усадьбам, а также некоторых местных дорог, используемых преимущественно для перевозок, необходимых для агропромышленного комплекса данного района.

Внутрихозяйственные дороги колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий и организаций соединяют центральные усадьбы с их отделениями, животноводческими комплексами, фермами, полевыми станами, пунктами заготовки, хранения и первичной обработки продукции и другими сельскохозяйственными объектами. К *внутрихозяйственным* относятся также дороги, соединяющие отделения и фермы колхозов и совхозов и другие сельскохозяйственные объекты с дорогами общего пользования и между собой.

К *внешнехозяйственным дорогам* относят основные дороги и подъездные пути, необходимые для связи хозяйственного центра колхоза или совхоза с существующей сетью автомобильных дорог, с железнодорожными и водными путями, расположенными вне территории хозяйства, с элеваторами, нефтебазами, пунктами сдачи сельскохозяйственной продукции, а также с отдельными населенными пунктами района. По этим дорогам перевозят сельскохозяйственную продукцию и грузы, необходимые для сельскохозяйственного производства, а также осуществляют пассажирские перевозки и культурно-бытовые связи местного населения.

Внутрихозяйственные дороги *прокладывают* непосредственно на территории сельхозпредприятия. В зависимости от организации производства и особенностей благоустройства сельских поселков их можно разделить на *следующие группы*:

а) дороги, соединяющие хозяйственный центр сельскохозяйственного предприятия с его отделениями, бригадами и фермами, соединяющие отделения и фермы между собой;

б) дороги в самой усадьбе колхоза или совхоза, в усадьбах бригад, отделений (поселковые);

в) дороги для проезда непосредственно на поля (полевые);

г) прочие дороги, потребность в которых вызывается производственным процессом хозяйства (например, подъезды к токам, складам, площадкам производственного назначения, аэродромам сельскохозяйственной авиации, животноводческим и другим сельскохозяйственным комплексам, дороги внутри этих комплексов, дороги на горные пастбища, для прогона скота и т. п.).

Полевые дороги можно разделить на две группы:

1) постоянные, соединяющие полевой массив с центральными усадьбами колхозов, совхозов и со складами; направления этих дорог не изменяют в зависимости от севооборота, так как их местоположение определяется размещением хозяйственных предприятий колхозов и совхозов, постоянных полевых станов, токов, а также принятой системой землепользования;

2) временные, прокладываемые в контуре отдельного полевого массива; они характеризуются тем, что их направление можно периодически менять в зависимости от изменения расположения полей севооборота.

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

28.2. Требования к элементам плана, продольного и поперечного профилей

Расчетные скорости движения транспортных средств для проектирования элементов плана, продольного и поперечных профилей внутрихозяйственных дорог следует принимать по табл. 28.1.

Таблица 28.1. Расчетные скорости движения на внутрихозяйственных дорогах

Категория дорог	Расчетные скорости движения, км/ч		
	основные	допускаемые на участках дорог	
		трудных	особо трудных
I-с	70	60	40
II-с	60	40	30
III-с	40	30	20

Примечание. К трудным (особо трудным) участкам дорог относятся участки, располагаемые в сложных (особо сложных) топографических, геологических, планировочных условиях, когда применение основных норм связано со значительным увеличением объема и стоимости строительных работ, со сносом или переустройством существующих зданий и сооружений, с занятием ценных сельскохозяйственных земель.

Параметры плана и продольного профиля дорог I-с и II-с категорий следует принимать:

- продольные уклоны до 40‰;
- расстояние видимости: поверхности дороги не менее 175 м; встречного автомобиля не менее 350 м;
- радиусы кривых в плане не менее 1500 м;
- радиусы кривых в продольном профиле: выпуклых не менее 5000 м; вогнутых – не менее 2500 м.

В случаях, когда по местным условиям для дорог I-с и II-с категорий не представляется возможным или экономически целесообразным применить указанные параметры, допускается использовать нормы, приведенные в табл. 28.2, которые следует применять также для дорог III-с категории.

Таблица 28.2. Параметры внутрихозяйственных дорог

Параметры	Категория дороги		
	I-с	II-с	III-с
1	2	3	4
Расчетный объем грузовых перевозок, тыс.т	≥ 10	до 10	–
Расчетная скорость, км/ч	70 (60,40)	60 (40,30)	40 (30,20)
Число полос движения	2	1	1
Ширина полосы движения, м	3	–	–
Ширина проезжей части, м	6	4,5	3,5
Ширина обочины, м	2	1,75	1,5
Ширина зем. полотна, м	10	8	6,5
Наибольший продольный уклон, ‰	60 (70,80)	70 (80,90)	80 (90,90)

Продолжение таблицы 28.2

1	2	3	4
Наименьшая расчетная видимость, м:			
– в плане;	100 (75,50)	75 (50,40)	50 (40,25)
– встречного автомобиля	200 (150,100)	150 (100,80)	100 (80,50)
Наименьшие радиусы кривых:			
– в плане, м	200 (150,80)	150 (80,80)	80 (80,80)
– в продольном профиле, тыс. м:			
– выпуклых	4,0 (2,5;1,0)	2,5 (1,0;0,6)	1,0 (0,6;0,4)
– вогнутых	2,5 (2,0;1,0)	2,0 (1,0;0,6)	1,0 (0,6;0,4)
– вогнутых в трудных условиях	0,8 (0,6;0,3)	0,6 (0,3;0,2)	0,3 (0,2;0,1)

Примечание. 1. В скобках указаны параметры для трудных и особо трудных участков. 2. Ширина земляного полотна, возводимого на ценных сельскохозяйственных угодьях уменьшается: для I-с до 8м; для II-с до 6м; для III-с до 5,5м. 3. К ценным сельскохозяйственным угодьям относятся орошаемые, осушенные и другие мелиорированные земли, участки, занятые многолетними плодовыми насаждениями и виноградниками, а также участки с высоким естественным плодородием почвы и другие, приравняемые к ним, земельные угодья.

При расчете на массовое движение автопоездов (более 25% в общем составе движения) наибольший продольный уклон следует принимать не более 70‰.

Переходные кривые следует предусматривать для дорог I-с и II-с категорий при радиусах кривых в плане менее 500 м, а для дорог III-с категории при радиусах менее 300 м. Наименьшие длины переходных кривых следует принимать по табл. 28.3.

Таблица 28.3. Наименьшие длины переходных кривых на внутрихозяйственных дорогах

Элементы кривой в плане	Значения элементов кривой в плане, м										
	15	30	60	80	100	150	200	250	300	400	500
Радиус, м	15	30	60	80	100	150	200	250	300	400	500
Длина переходной кривой, м	20	30	40	45	50	60	70	80	70	60	50

Смежные элементы продольного профиля при алгебраической разности уклонов 10‰ и более для дорог I-с и II-с категорий и 20‰ и более для дорог III-с категории следует сопрягать кривыми, радиус которых надлежит принимать в соответствии с табл. 28.2.

Смежные кривые в продольном профиле допускается проектировать примыкающими одна к другой без прямых вставок.

При радиусах кривых в плане менее 60 м необходимо предусматривать смягчение наибольшего продольного уклона по 5‰ на каждые 5 м уменьшения радиуса кривой.

Для дорог I-с и II-с категорий при радиусах кривых в плане 1000 м и менее необходимо предусматривать уширение (0,4-3,5 м для I-с) проезжей части с внутренней стороны кривой за счет обочин, при этом ширина обочин после уширения проезжей части должна быть не менее 1 м.

При недостаточной ширине обочин для размещения уширенной проезжей части следует предусматривать соответствующее уширение земляного полотна. Уширение проезжей части должно быть выполнено в пределах переходной кривой, а при ее отсутствии – на прямом участке, примыкающем к кривой, длиной не менее 15 м.

На внутрихозяйственных дорогах, по которым предполагается регулярное движение широкогабаритных сельскохозяйственных машин и транспортных средств, следует предусматривать устройство площадок для разезда с покрытием, аналогичным принятому для данной дороги, за счет уширения одной обочины и соответственно земляного полотна.

Расстояние между площадками надлежит принимать равным расстоянию видимости встречного транспортного средства, но не менее 0,5 км. При этом площадки должны, как правило, совмещаться с местами съездов на поля.

Проезжую часть следует принимать с двухскатным поперечным профилем на прямолинейных участках дорог и на кривых в плане радиусом более 600 м для дорог I-с категории, более 400 м – II-с категории и более 300 м – III-с категории.

Поперечные уклоны проезжей части при двухскатном поперечном профиле следует назначать в зависимости от типа дорожной одежды: при капитальном – 15-25‰; облегченном – 25-30‰; переходном – 30-35‰; низшем – 35-40‰.

Поперечные уклоны обочин при двухскатном поперечном профиле следует принимать на 10-20‰ больше поперечных уклонов проезжей части.

Поперечные уклоны проезжей части на виражах следует принимать по табл. 28.4. При этом уклоны виража должны быть не менее поперечного уклона проезжей части на прямых участках.

Таблица 28.4. Поперечные уклоны проезжей части на виражах

Скорость движения,	Поперечный уклон проезжей части на виражах, % при радиусах кривых в плане, м						
	400	300	250	200	150	100	50 и менее
70	20	25	30	40	50 (40)	60 (40)	60 (40)
60	–	20	25	30	40	50 (40)	60 (40)
40 и менее	–	–	20	25	30	40	60 (40)

Поперечный уклон обочин на вираже следует принимать одинаковым с уклоном проезжей части дороги. Переход от принятого уклона обочин на прямых участках дороги к уклону проезжей части на виражах следует производить на протяжении не менее 10 м от начала отгона виража.

28.3. Тракторные дороги

Тракторные дороги при достаточно интенсивном и регулярном движении тракторов, самоходных сельскохозяйственных и других машин на гусеничном ходу проектируют как самостоятельные. На подходах к большим водным и другим преградам а также в случае прохождения по ценным угодьям, по узким участкам, по болотам тракторные дороги допускается совмещать с основными. При этом предусматривают съезды и въезды на основные дороги, расширяют земляное полотно и укрепляют обочины. На переездах через проезжую часть основной дороги следует применять усиленную дорожную одежду соответствующего типа.

Тракторные дороги обычно проектируют однопутными с разъездами (на расстоянии видимости). При интенсивности движения 20 и более поездов или одиночных тракторов в сутки, а также там, где невозможно обеспечить видимость между разъездами, предусматривают две полосы.

Внутрихозяйственные дороги для движения тракторов, тракторных поездов, сельскохозяйственных, строительных и других самоходных машин на гусеничном ходу следует предусматривать:

- на отдельном земляном полотне – при интенсивности движения в среднемесечные сутки наиболее напряженного в году месяца более 10 единиц. Эти дороги следует располагать рядом с соответствующими внутрихозяйственными автомобильными дорогами, с подветренной стороны в расчете на господствующие в летний период ветры;

- на совмещенном земляном полотне с отдельными полосами движения – при нерегулярном (не более 10 единиц в сутки) движении, на подходах к водным преградам, требующих устройства мостов, на заболоченных участках, при прохождении дороги по ценным сельскохозяйственным угодьям. Для движения гусеничных транспортных средств в этих случаях допускается использовать одну из укрепленных обочин автомобильной дороги; ширина обочины должна быть не менее 4,5 м.

Тракторные дороги следует проектировать, как правило, грунтовыми, серповидного поперечного профиля в нулевых отметках или в насыпях (в зависимости от грунтовых условий), с лотками или кюветами треугольного сечения для отвода воды. Продольные уклоны дорог, располагаемых на отдельном земляном полотне, должны быть на подъеме 40-80‰, на спуске 60-100‰ (последняя цифра – для трудных участков).

Радиусы кривых в плане должны быть не менее 100 м, для трудных участков допускается до 15 м при движении тракторных поездов с одним или двумя прицепами и до 30 м – с тремя прицепами или при перевозке длинномерных грузов. При радиусах менее 100 м земляное полотно с внутренней стороны кривой следует уширять.

28.4. Конструирование дорожной одежды на внутрихозяйственных дорогах

Воспринимая нагрузку от проходящих автомобилей, дорожная одежда передает ее железящим слоям грунта, рассредоточивая на большую площадь. В результате в земляном полотне возникают значительно меньшие напряжения и деформации, которые при рационально спроектированной конструкции не влияют на прочность всей одежды даже в периоды переувлажнения грунта.

Как известно, в зависимости от этих показателей дорожные покрытия разделяют на следующие *типы*: усовершенствованные капитальные, усовершенствованные облегченные, переходные и низшие.

Для дорог I-с применяют капитальный или облегченный тип с усовершенствованным покрытием, для II-с – капитальный или облегченный тип с усовершенствованным покрытием и переходной; для III-с – переходной или низший тип (СНиП 2.05.11-83).

Для усовершенствованных капитальных дорожных одежд основными видами покрытий, материалами и способами укладки являются:

– жесткие покрытия:

- 1) цементобетонные монолитные двухслойные или однослойные
- 2) железобетонные или цементобетонные сборные

– нежесткие покрытия:

- 1) асфальтобетонные двухслойные с верхним слоем из смесей II и III марок, типов Б, В, Г и Д, укладываемые в горячем состоянии;
- 2) асфальтобетонные однослойные из смесей I, II, III марок, типов Б, В, Г и Д, укладываемые в горячем состоянии.

Усовершенствованные облегченные покрытия выполняются из следующих видов покрытий:

- 1) асфальтобетонные двухслойные с верхним слоем из смесей II и III марок, типов Б, В, Г и Д, укладываемые в теплом состоянии;
- 2) асфальтобетонные двухслойные с верхним слоем из смесей I и II марок, типов Б, В, Г и Д, укладываемые в холодном состоянии;
- 3) асфальтобетонные однослойные из смесей II и III марок, типов Б, В, Г и Д, укладываемые в теплом состоянии;
- 4) асфальтобетонные однослойные из смесей I и II марок, типов Б, В, Г и Д, укладываемые в холодном состоянии;
- 5) из подобранного щебеночного или гравийного материала, обработанного вязким или жидким битумом в установке;
- 6) из фракционного щебня, обработанного вязким битумом в установке или методом пропитки с поверхностной обработкой;
- 7) из щебеночных или гравийных смесей, обработанных жидким битумом методом смещения на дороге;
- 8) из крупнообломочных (до 40 мм) или песчаных грунтов, обработанных битумной эмульсией с цементом в установке, с поверхностной обработкой

Переходные виды дорожной одежды имеют следующие виды покрытий:

- 1) из фракционного щебня, укладываемого по способу заклинки;
- 2) из подобранного щебеночного или гравийного материала;
- 3) из местных каменных материалов и песчаных грунтов, обработанных органическими и минеральными вяжущими с применением поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Низшие дорожные одежды выполняют из:

- 1) грунтов, укрепленных или улучшенных различными скелетными добавками (щебнем, гравием, дресвой, шлаком и другими местными материалами);
- 2) местных каменных материалов и грунтов, укрепленных местными вяжущими веществами (гранулированными доменными шлаками, активными золами уноса и т.п.)

Процесс деформирования нежестких дорожных одежд весьма сложен, так как фактически происходит деформирование многослойной, не ограниченной по длине плитной конструкции, слои которой состоят из различных материалов со свойствами, изменяющимися во времени в зависимости от ряда факторов (температуры, влажности, длительности воздействия нагрузки и т. д.). Эта конструкция опирается на грунтовое основание, физико-механические свойства которого резко меняются в течение года. Кроме того, характер нагрузки значительно отличается от характера расчетных нагрузок для сооружений промышленно-гражданского строительства. Для последних наиболее типична статическая нагрузка. Воздействие колеса на дорогу нельзя рассматривать и как динамическую нагрузку. Правильнее рассматривать ее как многократно повторяющуюся *импульсивную нагрузку*, действующую в течение краткого периода. Поэтому обычную методику расчета строительных конструкций, основанную на упругой (или даже пластичной) схеме деформирования под статической нагрузкой, в данном случае использовать нельзя.

Внутрихозяйственные дороги, согласно СНиП 2.05.11-83, рассчитывают на *нагрузку группы А*, что связано с наличием в составе движения тяжелых тракторных поездов и автомобилей большой грузоподъемности.

Нежесткие дорожные одежды рассчитывают по трем критериям:

- допускаемый упругий прогиб;
- сдвиг в подстилающем грунте и в слабосвязных материалах конструктивных слоев;
- прочность слоев из монолитных материалов на растяжение при изгибе.

Установлено, что в зависимости от вида грунта, его влажности, а также от интенсивности воздействия нагрузки один из критериев имеет преобладающее значение. В связи с этим целесообразно начинать расчет дорожной одежды именно с этого критерия. Чаще всего главным является *критерий прочности по упругому прогибу* (в особенности для дорог с переходными и низшими типами покрытий).

Одежды с покрытиями переходного типа – щебеночными, гравийными и из других прочных материалов, а также из грунтов и малопрочных каменных материалов, обработанных вяжущими материалами, мостовые из булыжного и колотого камня следует рассчитывать только **по двум критериям** – по сдвигу в грунте и по упругому прогибу при соответствующем уровне надежности. Детально методы расчета освещены в Пособии 3.03.01-96 «Проектирование дорожных одежд нежесткого типа».

28.5. Особенности проектирования водопропускных сооружений на внутрихозяйственных дорогах

Комплекс сооружений на внутрихозяйственных дорогах включает водопропускные (малые мосты и трубы), обустройство дорог, а также проектные решения при устройстве примыканий, пересечений, съездов на поля, разворотных площадок на тупиковых дорогах и площадок для разъезда транспортных средств.

Водопропускные сооружения проектируют согласно СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы». Стоимость их составляет 10-20% автомобильной дороги и зависит от их удельного количества на 1 км дороги. Основные виды – мосты и трубы.

На дорогах I-с категорий применяют мосты капитального типа, на дорогах II-с и III-с в лесной зоне допускается проектировать деревянные мосты.

Мост состоит из пролетных строений, поддерживающих дорожное полотно и одежду и из опор, передающих опорные давления этих строений на грунт. В зависимости от количества пролетных строений мосты могут быть одно- или многопролетными. Опоры разделяют на береговые (расположенные в местах сопряжения моста с берегами) и промежуточные. Массивные береговые опоры называют устоями, а промежуточные – быками.

В зависимости от длины мосты делятся на 3 категории – малые (до 25 м), средние (25-100 м) и большие (более 100 м).

Наиболее экономичным и удобным в эксплуатации типом водопропускных сооружений являются *трубы* – искусственные сооружения, устраиваемые в теле насыпи для пропуска небольших постоянных или периодически действующих водотоков. Их количество обычно составляет до 85% от общего количества водопропускных сооружений. Чаще применяются трубы круглого и реже прямоугольного сечений. Число очков (ниток) труб не ограничивается и назначается в зависимости от расчетного расхода. Обычно более 3-4 очков круглых труб назначать невыгодно, следует переходить на прямоугольные. Диаметр отверстия – не менее 0,75 м, на дорогах III-с категории не менее 0,5 м. Толщина засыпки над трубами принимается по расчету, но не менее 0,5 м.

Трубы проектируют на полную ширину земляного полотна, габариты мостов принимают по табл. 28.5

Таблица 28.5. Габариты мостов на внутрихозяйственных дорогах

Габариты	Категория дороги		
	I-с	II-с	III-с
Ширина проезжей части, м	6,0	3,5	3,5
Ширина полосы безопасности, м	1,0 (0,5)	1,0 (0,75)	0,5
Шифр типовой конструкции, цифры – ширина проезжей части моста в м.	Г-8 (Г-7)	Г-5,5 (Г-5,0)	Г-4,5

Примечание. В скобках – для деревянных мостов.

При наличии пешеходного движения на малых мостах устраивают тротуары шириной 1,0 м, а в сельских населенных пунктах – 1,5 м, превышение высоты тротуара над проезжей частью моста принимают не менее 0,3 м.

Чтобы обеспечить водоотвод, поверхности полотна на мосту придают продольный (не менее 5‰) и поперечный (не менее 20‰) уклон.

Размеры труб и малых мостов определяются гидравлическим расчетом. Без расчета возможно устраивать мосты, пролетом 2-3 м через каждые 1-2 км при проектировании дорог по заболоченной местности.

Расчет отверстий малых мостов выполняют по схеме свободного истечения воды, пользуясь формулой $b = Q_c / 1,33H^{3/2}$, где H – напор перед мостом, м; $Q_c = \lambda \cdot Q$ – расчетный расход, м³/с; λ – коэффициент, учитывающий аккумуляцию водного потока.

Методы расчета отверстий труб принимают с учетом гидравлического режима протекания по ним воды: *безнапорный* – когда подпор меньше высоты трубы или превышает ее не более чем на 20%; *напорный* – подтопление верха трубы на входе более чем на 20% и на большей части длины труба работает полным сечением; *полунапорный* – на входе труба работает полным сечением, на остальном протяжении трубы имеется свободная поверхность.

Пропускная способность трубы при безнапорном режиме $Q_c = 0,85\omega_c\sqrt{gH}$, где ω_c – площадь сжатого сечения потока в трубе, вычисляемая при глубине $h_c = 0,5H$, м².

Обеспеченность расчетных расходов для малых мостов и труб в районах с развитой дорожной сетью (территории с протяженностью дорог с твердым покрытием более 0,2 км/км²) принимают 5%, малоразвитой – 3%, для дорог III-с категории соответственно 10% и 5%.

На дорогах с малоинтенсивным движением, на которых можно допустить перерыв движения во время паводков и половодий можно устраивать *броды* при условии, что уровень воды не будет превышать 0,4 м. Дно брода должно быть достаточно твердым, а берега водотока в месте перехода достаточно пологими. На суходолах, затапливаемых в период ливней или снеготаяния, можно устраивать *лотки*, подобные броду.

28.6. Пересечения, примыкания, съезды, разворотные площадки. Обустройство внутрихозяйственных дорог

Пересечения внутрихозяйственных дорог всех категорий с автомобильными дорогами I категории общего пользования и внутрихозяйственных дорог I-с категории с дорогами II категории общего пользования при соответствующем технико-экономическом обосновании надлежит принимать в разных уровнях.

Пересечения между собой дорог I-с категории и примыкания к ним внутрихозяйственных дорог I-с – III-с категорий должны предусматриваться, как правило, на прямых участках пересекающихся или примыкающих дорог.

Примыкания внутрихозяйственных дорог II-с и III-с категорий к дорогам II-с категории и пересечения их между собой допускается предусматривать в пределах кривых в плане 100 м при условии обеспечения расчетных расстояний видимости поверхности дороги; при этом примыкание с внутренней стороны кривой в плане к дорогам II-с категории допускается в исключительных случаях.

Пересечения и примыкания следует выполнять под прямым углом или близким к нему. В обоснованных случаях допускается уменьшение угла пересечения и примыкания до 45°, а для дорог III-с категории – до 30°.

Радиус кривых в плане при пересечении дорог или примыканий следует принимать не менее 150 м для I-с и 80 м – для II-с и III-с. *Расчетные расстояния видимости* поверхности дороги в местах пересечений и примыканий внутрихозяйственных дорог должны быть не менее 175 м.

Скотопрогоны при пересечении ими дорог I-с и II-с категорий надлежит отводить под ближайшие искусственные сооружения с соответствующим их обустройством (укрепление дна и подходов к сооружению, устройство направляющих ограждений и др.). При отсутствии вблизи искусственных сооружений, удовлетворяющих требованиям скотопрогона, указанные пересечения следует предусматривать в одном уровне.

Пересечения и примыкания внутрихозяйственных дорог в одном уровне, как правило, следует располагать в небольших *насыпях* высотой до 0,8-1,0 м с откосами не круче 1:3. Заложка боковых резервов в пределах пересечений и примыканий не допускается.

Продольные уклоны внутрихозяйственных дорог в пределах расстояния видимости поверхности дороги на подходах к пересечению или примыканию не должны превышать 40%.

Съезды на вспомогательные полевые дороги, необходимые для проведения сезонных сельскохозяйственных работ, должны иметь дорожные покрытия видов, принятых на дороге, к которой примыкает съезд (но не прочнее усовершенствованного покрытия дорожной одежды облегченного типа), на протяжении не менее 25 м при движении одиночных автомобилей и сельскохозяйственных машин и 50 м – при движении автопоездов и тракторов с прицепами. При глинистых и тяжелых суглинистых грунтах указанные расстояния должны увеличиваться вдвое.

Пересечения внутрихозяйственных дорог с железными дорогами в разных уровнях следует проектировать в случаях:

- пересечения трех и более главных железнодорожных путей;
- скоростей движения поездов на пересекаемом участке железной дороги более 120 км/ч;
- пересечения железных дорог, проложенных в глубоких выемках, а также в случаях, когда не обеспечены нормы видимости.

На неохраемых пересечениях внутрихозяйственных дорог с железнодорожными путями в одном уровне должна быть обеспечена видимость, при которой водитель автомобиля (сельскохозяйственной машины); находящегося от переезда на расстоянии, равном расчетному расстоянию видимости поверхности дороги (175 м), должен видеть приближающийся к переезду поезд не менее чем за 400 м от переезда, а машинист приближающегося поезда должен видеть середину переезда на расстоянии не менее чем за 1000 м.

При пересечении подъездных железнодорожных путей предприятий указанные расстояния видимости допускается понижать по согласованию с министерством или ведомством, в ведении которых находятся пути соответственно до 200 м и 600 м.

Переезды следует располагать, как правило, на прямых участках железных и внутрихозяйственных дорог под углом не менее 60°.

Пересечения внутрихозяйственной дороги с железнодорожными путями в одном уровне должны быть оборудованы устройствами в соответствии с типовыми проектами переездов и согласованы с министерством или ведомством, в ведении которых находятся железнодорожные пути.

Ширину проезжей части внутрихозяйственной дороги на пересечении с железной дорогой в одном уровне следует принимать в зависимости от ширины транспортных средств, но не менее 6 м на расстоянии 50 м в обе стороны от переезда с продольным уклоном не более 30%.

Расстояние от бровки земляного полотна до опор *воздушных телефонных и телеграфных линий*, а также высоковольтных линий электропередач следует принимать не менее высоты опор, увеличенной на 5 м.

Автомобильные дороги I-с и II-с категорий, на которых предусмотрено регулярное автобусное движение, должны обустраиваться *остановочными и посадочными площадками* в местах автобусных остановок. Ширину остановочных площадок следует принимать 3 м, а длину – не менее 10 м для автобусов каждого направления. Ширину посадочных площадок с твердым покрытием следует принимать 2 м, а длину – 10 м. Посадочные площадки должны быть приподняты на 0,2 м над поверхностью остановочных площадок и ограждены от них бортовыми камнями.

Автобусные остановки следует располагать на прямых участках дорог или на кривых с радиусами в плане не менее 400 м при продольных уклонах не более 40%; при этом должны быть обеспечены нормы видимости в продольном профиле и плане, установленные для дорог соответствующих категорий.

Площадки для остановок и стоянок автотранспортных средств располагаются у административных, общественных и торговых зданий, медицинских учреждений, перед въездами на территорию производственных комплексов, ферм, складов и в других местах систематических остановок автомобилей. Размеры площадок должны устанавливаться расчетом

в зависимости от типа и количества одновременно останавливающихся транспортных средств, продолжительности их стоянки и т.п.

Места стоянки транспортных средств должны размещаться за пределами проезжей части дорог в виде специальных полос или площадок. Продольные и поперечные уклоны площадок следует принимать, как правило, не более 30‰, а у погрузочно-выгрузочных фронтов – не более 10‰.

В начальных (конечных) пунктах тупиковых внутрихозяйственных дорог, у проходных сельскохозяйственных комплексов, ферм и в других обоснованных случаях для разворота транспортных средств и сельскохозяйственных машин должны предусматриваться *разворотные площадки* прямоугольной формы размером не менее 25х15 м или грушевидные и петлевые объезды – радиусом не менее 12 м.

Форма и размеры дорожных знаков и указателей, а также конструкция опор для них должны соответствовать СТБ 1140-99 и СТБ 1300-2002.

Ограждения барьерного типа высотой не менее 0,8 м из железобетона, металла или дерева, предназначенные для предотвращения аварийных съездов транспортных средств и сельскохозяйственных машин с земляного полотна, следует предусматривать на участках дорог I-с и II-с категорий:

– при высоте насыпи 3 м и более на прямых участках и кривых в плане с радиусами 125 м и более;

– с вогнутыми кривыми в продольном профиле, сопрягающими встречные уклоны с алгебраической разностью 70‰ и более при высоте насыпи 2,5 м и более;

– с наружной стороны кривых в плане с радиусами менее 125 м.

Направляющие устройства в виде *сигнальных столбиков* следует предусматривать, когда не требуется установка ограждений барьерного типа или парапетов:

– на участках дорог I-с и II-с категорий при высоте насыпи 2 м и более – через 50 м;

– на ответвлениях пересечений в одном уровне дорог I-с и II-с категорий с внутренней стороны закруглений в пределах кривых радиусом менее 60 м – через 5 м, а при радиусе 60-400 м – через 10 м;

– на участках дорог I-с и II-с категорий при высоте насыпи 1 м и более, расположенных в пределах кривых в плане. Расстояние между сигнальными столбиками в зависимости от значения радиуса кривых (30-1000 м) принимается от 2 до 50 м.

Сигнальные столбики должны устанавливаться на расстоянии не менее 0,35 м от бровки земляного полотна; при этом расстояние от края проезжей части до столбика должно быть не менее 0,75 м.

При пересечении (примыкании) внутрихозяйственных дорог с существующими дорогами общего пользования необходимо предусматривать на дорогах II и III категорий *переходно-скоростные полосы* с соответствующей разметкой.

Участки внутрихозяйственных дорог I-с и II-с категорий должны быть защищены от *снежных заносов* при расчетном годовом снегоприносе более 25 м³ на каждый метр дороги, располагаемой на ценных землях, и более 10 м³ на каждый метр дороги, располагаемой на остальных землях:

– устройством высоты насыпи не менее расчетной по условию снегонезаносимости;

– временными защитными устройствами (переносными щитами, снеговыми валами, траншеями);

– снегозащитными лесонасаждениями, если они предназначены также в качестве полезавитных, снегозадерживающих, водоохраных, водорегулирующих, приовражных и других агролесомелиоративных полос, необходимых для нужд сельского хозяйства. При этом в качестве придорожных полос целесообразно использовать плодовые и ягодные насаждения, если местные грунтовые и климатические условия допускают их посадку.

28.7. Основные принципы размещения дорожной сети на гидромелиоративных системах (ГМС)

Начиная с 1981 г. в СССР началась интенсивная разработка *генеральных схем строительства* дорог в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях административных районов. Сегодня большая часть дорог сельскохозяйственных предпри-

ятий Беларуси запроектирована с использованием *генеральных схем, которые составляются в такой последовательности:*

- подготовительные работы и полевые обследования;
- разработка и обоснование развития сети внутрихозяйственных дорог сельскохозяйственных предприятий и административного района в целом;
- составление документации, ее согласование и утверждение.

Основой для размещения сети внутрихозяйственных дорог служит схема транспортных связей предприятий и перспективный объем перевозимых грузов за наиболее напряженный месяц сельскохозяйственных работ.

При размещении дорожной сети в хозяйстве необходимо учитывать также размещение внутрихозяйственных дорог смежных хозяйств и увязывать ее с сетью дорог общего пользования так, чтобы дороги сельскохозяйственного предприятия являлись фрагментами единой транспортной сети аграрно-промышленного комплекса района. На мелиоративных землях и на объектах, где ведется мелиоративное строительство, внутрихозяйственные дороги следует размещать в соответствии с проектом мелиорации.

По сравнению с проектированием дорог общей сети проектирование сети сельскохозяйственных дорог отличается тем, что часто приходится иметь дело не с начальной контрольной грузообразующей точкой будущей дороги, а с полем, представляющим собой грузообразующую площадь, расчлененную сетью полевых дорог, рациональная организация перевозок по которым зависит от особенностей производства ведущей сельскохозяйственной культуры.

Конфигурацию сети полевых дорог выбирают с учетом формы и размеров сторон полей севооборота, которые крайне нежелательно перерезать густой сетью внутрихозяйственных дорог ввиду существенного снижения производительности, перерасхода горючего, снижения качества работ и увеличения изнашивания машинно-тракторных агрегатов.

Наиболее целесообразная длина поля 1000-1500 м. Ширину полей устанавливают с учетом их площадей и объемов работ, выполняемых тракторными агрегатами в поперечном направлении (перекрестный сев, культивация пропашных культур). В районах, где пропашные культуры занимают 40-50% площади, затраты на работу машин в поперечном направлении довольно существенны и желательно, чтобы ширина полей была не менее 500-600 м.

Поскольку поля севооборота не рекомендуется пересекать полевыми дорогами, очевидно, что сеть таких дорог следует принимать в форме прямоугольников, стороны которых совмещены с границами полей. При этом каждая такая дорога может обслуживать два смежных, примыкающих к ней поля. Расстояние между дорогами должно быть кратно длине (ширине) прямоугольника поля. Оптимальное расстояние между полевыми дорогами окончательно устанавливают на основе учета всех затрат на транспортные работы, включая затраты на строительство и на содержание сети, а также на потери, вызываемые выделением земли под дороги.

По назначению полевые дороги делятся на:

1) *основные дороги*, как правило, обслуживают весь массив или большие части севооборотов, садов и других угодий; они связывают поля с населенным пунктом и производственным центром;

2) *линии обслуживания* предназначены для заправки агрегатов на холостых заездах и на поворотах, для транспортировки грузов с полей, кварталов, из садов, а также для проездов и переходов людей. Размещают эти дороги по коротким сторонам полей;

3) *вспомогательные дороги* служат для вывоза урожая с полей и подвоза удобрений, а при работе поперек поля они выполняют функции линий обслуживания. Проектируют такие дороги по длинным сторонам полей.

Для эффективного обслуживания территории дорожная сеть должна иметь *такую густоту*, которая обеспечивала бы минимальные суммарные затраты средств на строительство и эксплуатацию дорог, обслуживание сельскохозяйственного производства и перевозку грузов и людей. На густоту проектируемой дорожной сети *влияют*, прежде всего, местные природные условия и сложившаяся транспортная сеть. Большое значение имеет также количество грузов, приходящихся на единицу площади. Так, густота сети сельскохозяйственных дорог с твердым покрытием для ряда колхозов Беларуси составляет около 0,6 км/км² (6 м/га), для Литвы – 0,75-1,03 км/км², Эстонии – 1,8-2,3 км/км², Германии – 2,5-3,0 км/км².

При проложении трассы дорог на ГМС необходимо соблюдать следующие требования:

- 1) экономически целесообразно обходить болотные участки, если это не связано со значительным удлинением и извилистостью дороги;
- 2) пересекать болотные участки в наиболее узком и мелком месте, перпендикулярно направлению течения воды;
- 3) обязательным является изучение гидрологического режима болот, создавая условия свободного прохода воды, исключая ее застой и усиление процессов заболачивания;
- 4) для назначенных вариантов трассы выполняют съемку плана (М1:1000, М1:2000) с сечением горизонталей 0,25-0,30 м и съемку мощности торфа;
- 5) при пересечении болот с большим поперечным уклоном дна производят полное выторфовывание и выравнивание дна болота. При поперечном уклоне более 100‰ на дне болота делают уступы или рыхление взрывом;
- 6) для пропуска постоянных ручьев и поверхностных вод предпочтение отдают мостам, располагая их у края болота.

В процессе изысканий и проектирования дороги из нескольких намеченных вариантов (отличающихся длиной трассы, объемом работ, строительной стоимостью и т. д.) выбирают наиболее целесообразный вариант всей трассы или отдельных ее участков.

При оценке вариантов учитывают характеризующие их показатели:

- 1) насколько они удовлетворяют требованиям экономики народного хозяйства;
- 2) эксплуатационные показатели;
- 3) условия строительства.

Варианты оценивают по совокупности приведенных выше показателей, причем для различных случаев в зависимости от характера проектируемой дороги отдельные показатели имеют большее или меньшее значение.

При выборе вариантов сельскохозяйственных дорог наиболее важные показатели – общая стоимость и требуемые для строительства ресурсы.

Целесообразность капиталовложений в строительство дорог общей сети устанавливают путем соизмерения единовременных и текущих затрат, выражаемых коэффициентом эффективности или сроком окупаемости капиталовложений. Соизмерить затраты можно также путем суммирования по каждому варианту единовременных капитальных затрат и ежегодных эксплуатационных расходов за определенный период службы сооружения (с учетом их разновременного вложения).

Для строительства внутрихозяйственных дорог нормативный коэффициент эффективности установлен равным 0,12, а нормативный срок окупаемости 8 лет.

28.8. Общая характеристика внутриплощадочных дорог

В условиях сельскохозяйственного производства все более широко применяют различные площадки, требующие определенного благоустройства, а также обеспечения их необходимыми транспортными связями в соответствии с требованиями технологии работ. К таким площадкам относятся следующие:

- для доведения сельскохозяйственной продукции до кондиции, требуемой соответствующими нормативами (механизированные тока для очистки и просушивания зерна, площадки для очистки свеклы и т. п.);
- для складирования сельскохозяйственной продукции и минеральных удобрений (закрытые);
- для хранения и ремонта тракторов, сельскохозяйственных машин и автомобилей;
- для размещения предприятий хозяйства;
- для размещения производственных комплексов данного хозяйства или нескольких хозяйств (например, животноводческих комплексов и т. п.);
- для сельскохозяйственной авиации.

В соответствии с видом и назначением размеры, конфигурация и тип укрепления поверхности сельскохозяйственных площадок, весьма разнообразны.

Проектирование площадок включает следующие этапы:

- а) горизонтальную планировку (в том числе проектирование подъездов к площадке и проездов по ней);
- б) вертикальную планировку;
- в) проектирование водоотвода и дренажа;
- г) конструирование покрытий.

Внутриплощадочные дороги следует проектировать по прямоугольной замкнутой (кольцевой), тупиковой или смешанной схемам. На крупных сельскохозяйственных производственных комплексах предпочтение следует отдавать схемам дорог с кольцевым движением транспортных средств.

Основные принципы проектирования внутриплощадочных дорог:

1) при устройстве тупиковых дорог должны быть предусмотрены в конце тупика площадки для разворота транспортных средств, размеры которых следует принимать в зависимости от габаритов транспортных средств и перевозимых грузов;

2) радиусы кривых в плане по оси проезжей части следует принимать не менее 60 м без устройства виражей и переходных кривых;

3) при намечаемом движении автомобилей и тракторов с полуприцепами, с одним или двумя прицепами радиус кривой допускается уменьшать до 30 м, а при движении одиночных транспортных средств – до 15 м;

4) уширение проезжей части двухполосной дороги на кривой в плане следует принимать согласно СНиП 2.05.11-83 (табл. 6) в пределах 0,9-3,5 м. Для однополосной дороги уширение, установленное в табл. 6, надлежит уменьшать вдвое;

5) радиусы кривых в плане по кромке проезжей части и уширение проезжей части на кривых при въездах в здания, теплицы и т. п. должны определяться расчетом в зависимости от расчетного типа подвижного состава;

6) поперечный профиль внутриплощадочных дорог следует проектировать в увязке с проектом планировки и благоустройства территории сельскохозяйственного предприятия и во всех случаях, когда это возможно по архитектурно-планировочным условиям, санитарным требованиям и условиям водоотвода, принимать с обочинами без бортового камня.

Ширину проезжей части и обочин внутриплощадочных дорог следует принимать в зависимости от назначения дорог и организации движения транспортных средств по табл. 28.6.

Таблица 28.6. Параметры внутриплощадочных дорог

Параметры	Значение параметров, м, для дорог	
	производственных	вспомогательных
Ширина проезжей части при движении транспортных средств:		
двухстороннем	6,0	–
одностороннем	4,5	3,5
Ширина обочины	1,0	0,75
Ширина укрепления обочины	0,5	0,5

Ширину проезжей части производственных дорог допускается принимать:

– 3,5 м с обочинами, укрепленными на полную ширину, – в стесненных условиях существующей застройки;

– 3,5 м с обочинами, укрепленными согласно табл. 28.6 – при кольцевом движении, отсутствии встречного движения и обгона транспортных средств;

– 4,5 м с одной укрепленной обочиной шириной 1,5 м и бортовым камнем с другой стороны – при возможности встречного движения или обгона транспортных средств и необходимости устройства одностороннего тротуара.

Продольные уклоны внутриплощадочных дорог следует назначать в увязке с проектом вертикальной планировки прилегающей к дороге территории предприятия и принимать, как правило, не менее 5‰ и не более 30‰. Для дорог, располагаемых в трудных условиях рельефа местности (крутые уклоны, террасное решение вертикальной планировки), при соответствующем обосновании допускается увеличивать продольный уклон до 60‰, а в особо трудных условиях – до 90‰.

Смежные элементы продольного профиля при алгебраической разности уклонов 15‰ и более для производственных дорог и 20 ‰ и более для вспомогательных дорог следует сопрягать кривыми радиусом не менее, м: выпуклых – 600, вогнутых – 200.

Смежные кривые в продольном профиле допускается проектировать примыкающими одна к другой без прямых вставок.

28.9. Основы проектирования сельскохозяйственных площадок

Горизонтальную планировку площадки разрабатывают с учетом технологических процессов, для которых она предназначена. Учитывают также особенности перемещения транспортных средств, их маневровые возможности и способы маневрирования.

Большинство площадок в плане представляет собой территории, занятые крытыми или открытыми складами и другими сооружениями, зданиями, проездами, их разветвлениями.

Планы площадок для одиночных объектов обычно принимают в зависимости от той конфигурации проездов, по которым транспортные средства могут подъезжать к фронту погрузки-разгрузки и выполнять необходимое маневрирование. Предусматривают также наиболее удобное взаимное размещение соответствующих складов, механизмов, хранилищ и т. п.; учитывают технологию производимых работ.

Вертикальная планировка заключается в искусственном изменении рельефа поверхности земли, на которой намечено разместить площадку. Ее выполняют с учетом обеспечения нужд технологического процесса на площадке, экономичности и удобств последующей ее эксплуатации. Важное значение имеет также обеспечение водоотвода с площадки, что зависит от высотного положения и уклонов ее проектной поверхности (рис. 28.1).

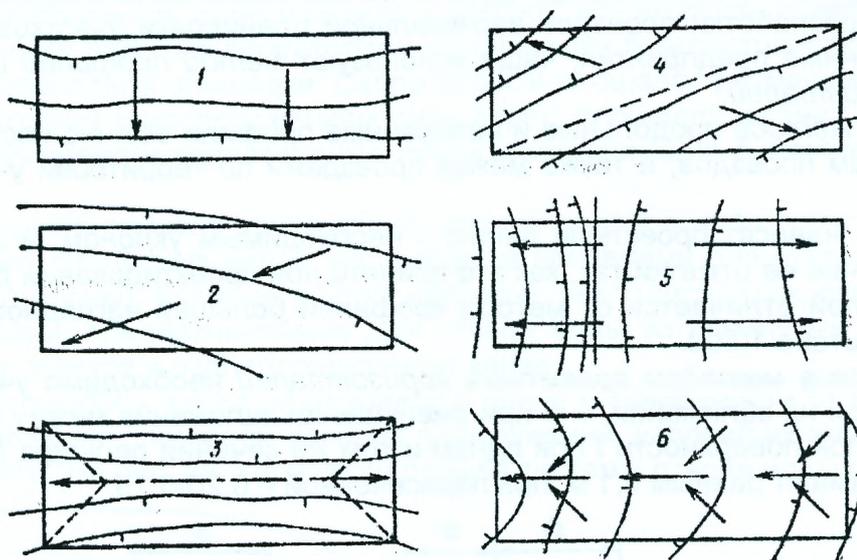


Рис. 28.1. Принципиальные схемы отвода поверхностных вод с территории объекта сельскохозяйственного производства: 1 – односкатная; 2 – односкатная диагональная; 3 – крышеобразная; 4 – двухскатная диагональная; 5 – двухскатная торцевая; 6 – односкатная вогнутая

Вертикальная планировка тесно связана с горизонтальной планировкой, она нередко подсказывает необходимость уточнения или изменения некоторых решений горизонтальной планировки (перемещение проездов, смещение зданий и др.). При решении задачи горизонтальной планировки необходима хотя бы схематичная разработка основных вопросов вертикальной планировки – ее схемы. При таком согласованном решении сводятся до минимума ошибки, как в горизонтальной, так и в детальной вертикальной планировке.

При назначении проектных отметок площадок сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений следует предусматривать максимальное сохранение рельефа и существующих зеленых насаждений, минимальную разность между объемами выемок и насыпей, сбор атмосферных вод и их отвод с площадки.

Сплошную вертикальную планировку допускается применять при плотности застройки более 25%. В остальных случаях следует предусматривать выборочную вертикальную планировку и выполнять планировочные работы только на тех участках, где расположены здания или сооружения.

Уклоны площадки предприятия принимают не менее 30‰, но не более: на глинистых грунтах – 50‰, песчаных – 30‰ и легко размываемых (лесс, мелкие пески) – 10‰. Уклоны выгульных площадок для животных необходимо принимать не менее 20 и не более 60‰.

Вертикальную планировку территории участка, отводимого под сельскохозяйственные производственные комплексы или объекты, выполняют в такой последовательности:

1) на топографическом плане уточняют направления отвода поверхностных вод в соответствии со схемами, приведенными на рис. 28.1;

2) решают вопросы о высотном положении внутриобъектных проездов с учетом вышеописанных требований, предъявляемых к вертикальной планировке, а также увязывают расположение проездов с отметками примыкающих дорог и проездов;

3) уточняют среднюю планировочную отметку участка в целом или средние планировочные отметки отдельных частей территории участка в зависимости от изменения объема насыпи или выемки за счет снятия почвенного слоя пахотных земель для использования при рекультивации; учета потребности в грунте для сооружения дополнительных насыпей – пандусов, отмопок и др.; учета избытка грунта, возникающего в результате разработки котлованов, траншей, корыта для дорожной одежды, выемок для различных сооружений, размещаемых ниже средней планировочной отметки участка;

4) обычно по внутриобъектным проездам устраивают водоотвод с основной части территории, отводимой под строительство. Поэтому желательно, чтобы внутриобъектные проезды имели понижение по направлению к подъездам, дорогам и совпадали с направлениями проектного водоотвода;

5) в соответствии с высотным размещением внутриобъектных проездов и отводов поверхностных вод разрабатывают проект детальной вертикальной планировки.

В практике разработки проездов вертикальной планировки участков, отводимых под сельскохозяйственные предприятия, чаще используют метод профилей и метод красных проектных горизонталей.

При первом методе продольные и поперечные профили обычно составляют по осям, а иногда по лоткам проездов, а также между проездами по территории участков через 20-50 м.

На профиль наносят проектную линию с необходимым уклоном, а затем вычисляют проектные и рабочие ее отметки так, как это принято при проектировании дорог. Метод проектных горизонталей отличается от метода профилей большей наглядностью, обычно его выполняют в масштабе 1:500.

При планировке методом проектных горизонталей необходимо учитывать следующее (рис. 28.2): при их сближении, т.е. при уменьшении заложения между горизонталями d , увеличивается уклон поверхности i при одном и том же сечении рельефа h . При равнинной местности h принимают равным 0,1 м, при пересеченной – 0,20-0,25.

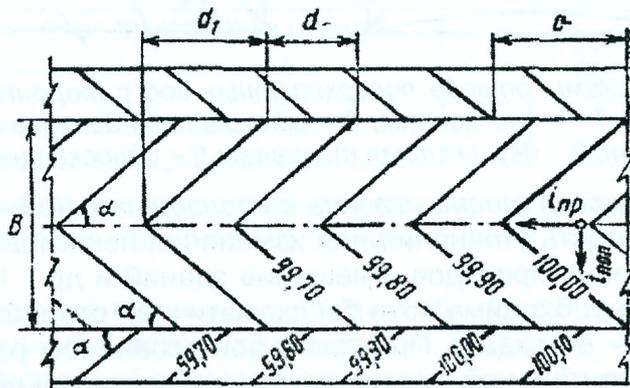


Рис. 28.2. Схема построения горизонталей: B – ширина проезжей части; α – угол наклона проектной горизонтали к оси проезда или бортам проезжей части; d_1 – проекция горизонталей в плане на ось проезжей части; d – заложение между горизонталями; c – значение сдвижки проектной горизонтали

Проектные горизонталы строят на основе формул $i = h/d$; $d = h/i$; $h = id$, где d – расстояние между горизонталями, м; h – сечение рельефа, м; i – уклон.

Для обеспечения заданного поперечного уклона проезжей части или тротуаров и образования лотков вдоль бортов, ограждающих проезжие части, или на проездах между площадками горизонталы проектируют в плане под определенным углом α по отношению к оси

проездов (и соответственно к бортам). Значение α зависит от соотношения продольных i_{np} и поперечных i_n уклонов проезжей части и тротуаров $tg\alpha = i_{np} / i_n$ (см. рис. 28.2).

Смещение одноименных горизонталей на тротуарах и проезжей части или на примыкающей территории и проезжей части с бортами $c = h/i_n$. Обычно при высоте бордюра $h_1=0,15$ $c = 0,15/i_{np}$ (в направлении продольного уклона – подъема), а при сечении рельефа $h=0,10$ м, $d=0,1/i_{np}$, $c=1,5d$.

При проектировании площадок необходимо предусмотреть отвод поверхностных, а в некоторых случаях и грунтовых вод. Системы для отвода поверхностных вод проектируют для каждой площадки, а грунтовых (дренаж) – лишь при близком залегании грунтовых вод к дневной поверхности. Вопросы обеспечения водоотвода с территории площадки нужно учитывать еще на начальной стадии дорожных изысканий.

К территории, на которой намечается разместить площадку, предъявляются следующие требования: незатопляемость участков; отсутствие переувлажненных и заболоченных мест; обеспечение стока поверхностных вод (для чего уклоны местности должны быть не менее 5‰), благоприятные грунтовые и гидрологические условия.

Желательно, чтобы вблизи площадок находились понижения, которые могли бы служить естественными водоприемниками для поступающих с площадки вод и оказывать дренажное воздействие на прилегающую территорию (хорошо выраженные тальвеги, ручьи).

Системы водоотвода проектируют в тесной взаимосвязи с вертикальной планировкой площадки. На больших территориях, подлежащих благоустройству, обычно имеются главная дорога, проезды и площадки. Около дорог и площадок размещают склады и сооружения. В соответствии с расположением сети дорог, площадок, зданий, складов и прочих сооружений располагают и водоотводные линии, составляющие в комплексе систему водоотвода.

Наиболее часто водоотводные линии проектируют в виде сети открытых канав. Канавы могут быть различных видов: нагорные, за пределами благоустраиваемой территории (с нагорной стороны); боковые у дорог (кюветы); около площадок, складов и различных сооружений; канавы, предназначенные для отвода воды из замкнутых понижений («блюдец»), а также из кюветов и околоплощадочных канав.

Сеть водоотводных канав размещают в плане в зависимости от начертания дорожной сети, расположения площадок, складов и сооружений, условий их эксплуатации, а также рельефа местности. На рис. 28.3 приведен пример системы отвода воды с части площадки.

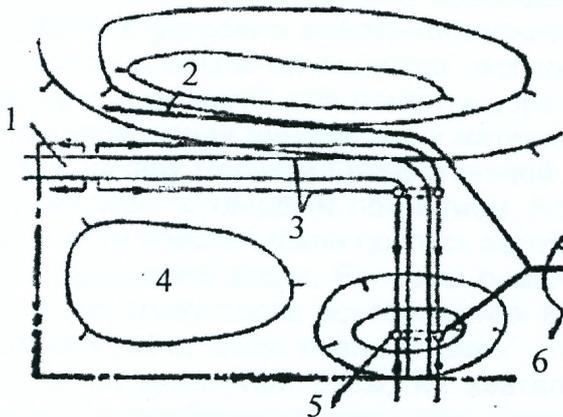


Рис. 28.3. Система отвода воды с части площадки путем устройства нагорной и отводящей канав: 1 – дорога; 2 – нагорная канава; 3 – боковые канавы; 4 – часть территории площадки; 5 – труба; 6 – отводная канава

Системы водоотвода по возможности следует устраивать наиболее простыми в плане. Водоотводные линии должны обслуживать равномерные площади стока, проводить их надо по кратчайшим расстояниям к выпускам, причем без больших заглублений. Уклоны дна канав должны быть такими, чтобы обеспечивались минимально допустимые скорости движения воды (не менее 3‰); максимальные же уклоны надо принимать с учетом скоростей потока, не вызывающих размыва русла.

В случае примыкания канав друг к другу следует избегать острых углов, так как это ухудшает условия работы канав.

Выпускать верховые воды из систем водоотвода площадки можно в реки, ручьи, овраги и на склоны местности. Желательно иметь не один, а несколько выпусков.

Воду от площадок и сооружений отводят по канавам, располагаемым по их периметру (рис. 28.4а, б). При строительстве сооружений с земляной обсыпкой и при отводе воды из пористых оснований одежд по контуру площадок и сооружений рекомендуется закладывать неглубокие дрены (рис. 28.4в, г). Если необходимо понизить уровень грунтовых вод, устраивают глубинный дренаж.

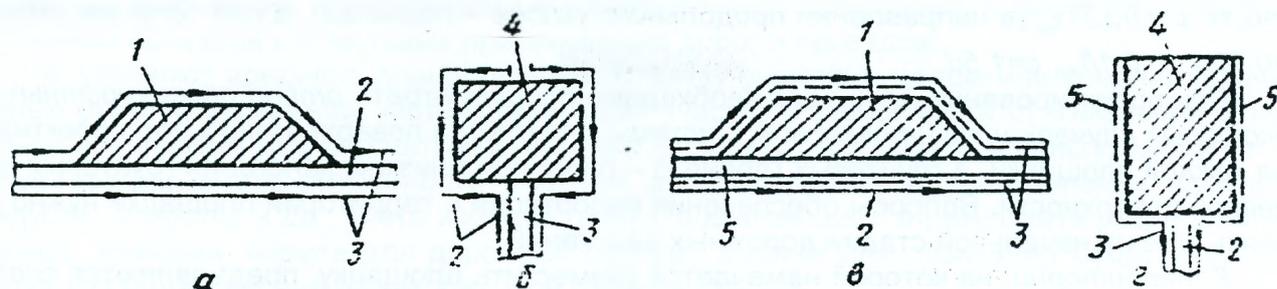


Рис. 28.4. Схемы расположения канав и дрен неглубокого заложения у площадок и отдельных сооружений: а, б – канавы; в, г – дрены неглубокого заложения; 1 – площадка; 2 – дорога; 3 – канава; 4 – сооружение; 5 – дрена

Согласно опыту эксплуатации проезды внутри площадок проектируют с капитальным или облегченным типом покрытий.

Толщина слоев одежды принимается по расчету не ниже минимальной прочности для данного типа покрытий на дорогах общей сети и с учетом минимальной толщины слоев.

Расчет асфальтобетонных покрытий на бетонных основаниях следует производить по двум условиям: трещиностойкости асфальтобетонного покрытия в наиболее холодный месяц зимы; прочности – предельной сопротивляемости покрытия и основания воздействию многократно повторяющихся нагрузок от автотранспортных средств.

Асфальтобетонное покрытие и цементобетонное основание по условию прочности следует рассчитывать для наиболее неблагоприятного периода года – жарких летних месяцев, когда модуль упругости асфальтобетона минимальный.

29. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

29.1. Развитие технологии ремонтных работ на автомобильных дорогах Беларуси

В Республике Беларусь уже сложилась разветвленная сеть дорог, продление их ресурса в условиях нарастания транспортной нагрузки становится первоочередной задачей. Если сравнивать долговечность дорожных покрытий на отечественных и зарубежных объектах, то мы имеем в 1,5-2,0 раза меньший межремонтный срок при примерно одинаковых климатических условиях эксплуатации. Между тем, нормы расчета дорожных одежд во всех странах дают сходные результаты, а вот качество выполненных работ и используемых материалов существенно отличаются. Свою негативную роль играет низкий уровень имеющихся у нас технических средств для содержания дорог и текущего ремонта. Лишь в последнее время начали применяться новые ремонтные технологии, специальные строительные материалы и средства механизации.

Основные этапы развития ремонтных работ в Беларуси:

1. Появление автомобильного транспорта, увеличение грузоподъемности транспортных средств в начале XX века вызвали необходимость совершенствования гужевых путей и создания специальных дорог для перемещения автомобилей. Протяженность дорог с твердым покрытием (белое щебеночное шоссе и булыжные мостовые) на территории Беларуси в начале Первой мировой войны составляла 2041 км, остальные дороги представляли собой естественные грунтовые пути. Гражданская война потребовала развития дорог для военных целей. Все это определило увеличение объемов ремонтных работ, связанных с улучшением грунтовых дорог с помощью местных материалов: хвороста, фашин, бревен, гравия и др.

2. Принципиально новый этап развития дорожного дела наступил со второй половины 1918 года, когда на территории Могилевской и Витебской губерний была введена так называемая «раскладочная дорожная повинность» – распределение среди жителей работ по усилению дорог. В дальнейшем для этих работ стали создаваться машинно-дорожные отряды. Они выполняли земляные, профилировочные и отделочные работы на таких дорогах, как Орша-Минск, Слуцк-Тимковичи, Содино-Губка-Камень и др.

3. К концу 1928 года на территории Беларуси имелось 380 автомобилей, в т.ч. 139 легковых, 97 грузовых и 144 специальных. К началу 1935 года отечественный автопарк превысил 2000 машин. В это время дорожная сеть составила 4 тысячи километров. В 1936 году было завершено строительство таких важных автомагистралей, как Минск-Могилев, Могилев-Бобруйск, устроено асфальтобетонное покрытие на дороге Минск-Орша. Со строительством твердых покрытий возникла необходимость в разработке и использовании новых материалов и технологий для ремонта дорог. Получили развитие ямочный ремонт, различные способы укрепления минеральных материалов известью и битумом.

4. К началу Великой Отечественной войны в республике эксплуатировалось 12550 километров дорог с твердым покрытием. Асфальто- и цементобетонные, клинкерные и брусчатые дороги обеспечивали пропуск автотранспорта. Война привела к массовому повреждению и разрушению дорог. Вопросы ремонта, восстановления и реконструкции дорог стали очень остро сразу после освобождения Беларуси от гитлеровских захватчиков. Выполнить этот объем работ было очень сложно: отсутствовал требуемый парк дорожных машин, не было производственной базы, не хватало инженерно-технических работников. Сознвая важность автомобильных дорог для успешного восстановления народного хозяйства, были приняты активные меры для организации массового выполнения этих работ. Щебень заготавливали вручную, битум разливали из трофейных котелков, смеси готовили на месте с помощью прицепных грейдеров и сельскохозяйственных дисковых борон. В это время для ремонта покрытий стали применяться поверхностные обработки. Распределение щебня производилось, как правило, вручную из заблаговременно устроенных штабелей на обочинах. При изменении климатических условий (осадки, понижение температуры) щебень приходилось собирать, повторно грохотить и просушивать.

5. К 1956 году была восстановлена довоенная сеть дорог с твердым покрытием (12,5 тыс. км), при этом было устроено 2,4 тыс. км дорог с усовершенствованным покрытием. Для ремонта дорог в 1958 году создали 100 межрайонных дорожно-эксплуатационных участ-

ков (ДЭУ). В это время особое внимание уделялось усилению дорожных одежд, поскольку возросли интенсивность движения и грузоподъемность машин. В период с 1959 по 1963 год капитальным и средним ремонтом было охвачено 6801 км дорог с твердым покрытием. Такой большой объем ремонтных работ потребовал усиленного развития дорожных машин и механизмов. Для смешения гравия с жидким битумом и дегтем применяли автогрейдеры и фрезы, при пропитке – передвижные битумные котлы. Впервые начали применяться автогудронаторы, которые использовались строго по разрабатываемым графикам. Уплотнение отремонтированных покрытий осуществляли, главным образом, за счет проходящего транспорта путем регулирования его движения по ширине дороги (метод «восьмерки»). В весенний период особой заботой дорожников было обеспечение проезда на пучинистых участках дорог. Проводились укрепительные работы с использованием песка, хвороста, фашин, деревянных настилов и т.п. В теплое время года проводился массовый ямочный ремонт.

6. Десятилетие с 1975 по 1985 год можно назвать периодом качественного скачка в дорожной отрасли. В это время втрое выросла сеть дорог с усовершенствованными капитальными покрытиями – цементобетонными и асфальтобетонными, в 1,5 раза увеличился парк дорожных машин, что позволило не только повысить уровень механизированного труда, но и осуществить маршрутные принципы капитального и среднего ремонта. На принципиально новой основе стали проводиться работы по ямочному ремонту, устройству защитных слоев и слоев износа. При устройстве поверхностных обработок повсеместно использовались автогудронаторы, щебнераспределители, катки. Щебень, как правило, подвергался предварительной обработке с органическим вяжущим на специальных площадках или в асфальтомесителях. Щебень, обработанный органическим вяжущим, обеспечивал повышение качества поверхностных обработок, увеличивал их долговечность. Для производства ямочного ремонта все шире стали применяться такие средства механизации, как машины КДМ-5, пневмоинструменты, компрессоры.

7. В последние годы, в связи с изменением экономической ситуации, для поддержания сети дорог в надежном эксплуатационном состоянии начала более активно применяться превентивная система ремонтных работ, стали использоваться новые энергосберегающие технологии с применением эффективных материалов: битумных эмульсий, модифицированных битумов, кубовидного щебня узких фракций. Развернута система диагностики и паспортизации автомобильных дорог с целью определения оптимальных вариантов ремонтных работ.

При этом протяженность дорог общего пользования, на которых осуществляется средний ремонт, возросла с 6114 км в 1971-75 годах до 33737 км в 1996-2000 годах, а протяженность автомобильных дорог, на которых осуществлялся капитальный ремонт, снизилась с 8871 км до 3836 км за те же периоды.

Очевидно, что технический прогресс и экономическое развитие ведут к увеличению транспортной нагрузки как за счет местных транспортных потоков, так и за счет транзита, связанного с географическим положением Беларуси в центре Европы.

Анализ сроков службы покрытий автомобильных дорог показывает, что 50% дорог имеют срок службы 14-16 лет и практически исчерпали свою работоспособность в соответствии с действующими нормами. О динамике старения автомобильных дорог можно судить по тому, что 30% дорог I категории в 1995 году имели срок службы 17 лет, а в 1999 году – уже 20 лет. Оценивая сеть автомобильных дорог в части ее изношенности и объема деформаций на покрытии, связанных со структурными разрушениями материалов слоев дорожной одежды, очевидной становится необходимость значительных объемов ремонтных работ для приведения дорог в соответствие с нормативной транспортной нагрузкой (расчетный автомобиль группы А с нагрузкой на ось 10 т). Это подтверждают результаты сопоставления данных о несущей способности конструкций существующих дорожных одежд и о количестве проходов транспортных средств по ним.

На основе известных многолетних натурных испытаний AASHTO (американская ассоциация дорожных администраторов), получены данные воздействий автомобильных нагрузок на дорожные одежды для различных дорог Республики Беларусь. Оказалось, что приведенная толщина покрытий находится ниже или в районе графиков для нормативной эквивалентной нагрузки – 10 т. Это свидетельствует о том, что существующие дорожные конструкции работают на пределе или их работоспособность полностью исчерпана. Кроме того, можно сделать вывод, что в связи с увеличением грузоподъемности транспортных средств и

соответствующего повышения транспортной нагрузки до 11,5 т или 13 т потребуется усиление дорожной одежды как минимум на 2,0-3,5 см асфальтобетона соответственно.

Однако, кроме прочности дорожных одежд, на транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог существенное влияние оказывают колеобразование, температурное трещинообразование и коррозионные деформации в виде выкрашивания и выбоин в асфальтобетонном покрытии, которые широко распространены на сети дорог. Установлено, что общий деструктивный эффект на работу покрытия возрастает в 4 раза в связи с увеличением нагрузки на ось до 13 т, а образование пластических деформаций ускоряется в 5,1 раза по сравнению с действующей нормативной нагрузкой. Кроме того, следует отметить, что ремонт дорог, подверженных колеобразованию, вызывает определенные трудности и недостаточно эффективен, так как пластические деформации образуются на асфальтобетонном покрытии через определенный промежуток времени повторно.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что объемы ремонтных работ в ближайшее время будут возрастать, ремонтные работы станут основным видом деятельности дорожных организаций. Кроме того, необходимо на должном уровне выполнять и работы по содержанию автомобильных дорог.

29.2. Основные причины появления дефектов на автомобильных дорогах

По данным диагностики, выполненной в 2000 году, на автомобильных дорогах Республики Беларусь из общей их протяженности 47,9 тыс.км отмечается несоответствие дорожных одежд требованиям по прочности для нагрузки 10 т на ось на протяжении 2102 км; для нагрузки 9 т – 1489 км; для нагрузки 8 т – 6863 км. По ровности покрытия 2390 км не соответствуют нормативным показателям, причем колея наблюдается на 5617 км дорог, а на 1580 км она превышает глубину в 15 мм.

Анализ транспортного потока, движущегося по дорогам Беларуси, выявил тенденцию увеличения количества автотранспортных средств с превышением расчетных весовых параметров: нагрузка на одиночную ось 10 т; на двухосную тележку с расстоянием между колесами 1,3-1,8 м нагрузка 16 т; на тележку строенных осей полуприцепа с расстоянием между осями 1,3-1,8 м нагрузка 22,5 т.

Особую опасность для дорожных одежд представляют тяжеловесные колесные транспортные средства с трехосной тележкой и односкатными колесами, которые, следуя колонной, за счет многократного воздействия на покрытия вызывают колеобразование и необратимые деформации в слоях дорожной конструкции. В связи с этим протяженность дорог с дефектами в виде колеи ежегодно увеличивается на 10-15%, причем наибольший рост колеобразования наблюдается на дорогах, входящих в международные транспортные коридоры: №2 (Запад-Восток), соответствующий автомобильной дороге М-1/Е30 Брест – Минск – граница Российской Федерации; №9 (Север-Юг), соответствующий автомобильной дороге М-8/Е95 граница Российской Федерации – Витебск – Могилев – Гомель – граница Украины; ответвление 9 (Гомель – Минск – граница Литвы). Общая протяженность этих коридоров составляет 1530 км, по ним движется транспортный поток, включающий тяжеловесные колесные транспортные средства.

Следует отметить, что технический прогресс и экономическое развитие Республики Беларусь напрямую связаны с увеличением транспортной нагрузки на сеть дорог. Тенденция развития автомобильного транспорта направлена на увеличение его грузоподъемности, а, следовательно, и осевых нагрузок. Учитывая эти факторы, должны совершенствоваться проектирование, строительство и реконструкция дорожных одежд.

Расчетная нагрузка на колесо (ось) многоосных транспортных средств составляет

$$Q_p = Q \cdot (1 + K), \quad (29.1)$$

где Q – нагрузка на рассматриваемое колесо, кН; K – коэффициент, учитывающий влияние других колес на нагрузку от рассматриваемого колеса, который возможно определять по формуле М.Б. Корсунского

$$K = \frac{l}{1 + \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{2 \cdot B_T}{D} \cdot \arctg \frac{D}{h_3} \right)^2}, \quad (29.2)$$

где B_T – расстояние между центрами осей автомобиля, см; D – диаметр круга, равновеликого площади контакта колеса покрытия, см; $h_3 = 1,1 \cdot h \cdot \sqrt[3]{E_{од} / E_{сп}}$ – эквивалентная толщина дорожной одежды, см; h – толщина дорожной одежды, см; $E_{од}$ – эквивалентный модуль упругости одежды, МПа; $E_{сп}$ – модуль упругости подстилающего грунта, МПа.

Как известно, нормальные силы взаимодействия автомобиля с дорогой вызывают прогиб дорожной одежды, касательные силы – износ и деформирование покрытия и имеют динамический характер. Кроме того, в течение всего года под воздействием погодноклиматических факторов происходят деструктивные процессы, приводящие к появлению дефектов на автомобильных дорогах и необходимости выполнения соответствующих ремонтных работ.

В зависимости от конструкции, прочности и состояния дорожной одежды под действием повторяющихся нагрузок в отдельных слоях и в дорожной одежде в целом могут появляться упруго-вязкие деформации либо одновременно *упруго-вязкие и вязко-пластические деформации*, которые, накапливаясь, могут достичь предельных значений. Для одежды из монолитных материалов наиболее опасны растягивающие напряжения, возникающие в слое *при изгибе*, а для слоев из слабосвязных материалов (зернистых) – напряжения *сдвига*.

Согласно данным А.П. Васильева, максимальные растягивающие напряжения σ_2 в асфальтобетонном и подобном ему покрытии возникают на его нижней поверхности по оси действующей нагрузки и могут быть определены по формуле

$$\sigma_2 = \frac{4 \cdot E_n \cdot W_0}{\pi \cdot D} \cdot \operatorname{arctg}^2 \frac{D}{h_3}, \quad (29.3)$$

где отношение $\frac{W_0}{D}$ определяется по формуле $\frac{W_0}{D} = \frac{p \cdot K \cdot (1 - \mu_{сп}^2) \cdot \left(1 - \frac{2}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} \frac{h_3}{D}\right)}{E_{общ.0}}$ при ус-

ловии $h_3 / D \geq 0,5$ или по формуле $\frac{W_0}{D} = \frac{p \cdot K \cdot (1 - \mu_{сп}^2)}{E_{общ.0}} \cdot \left(1 - \frac{2}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{h_3}{D}\right)^2\right)$ при условии

$h_3 / D < 0,5$; E_n – модуль упругости материала покрытия, МПа; B – диаметр круга, равновеликого площади контакта колеса и покрытия, см; h_3 – эквивалентная толщина дорожной одежды; W_0 – прогиб поверхности покрытия по оси действующей нагрузки, см; p – давление по площади контакта колеса с дорожным покрытием, МПа; $E_{общ.0}$ – общий модуль упругости, МПа; $\mu_{сп}$ – среднее значение коэффициента Пуассона полупространства подстилающего покрытия ($\mu_{сп} = 0,30$); отношение h_3 / D определяется по формуле $h_3 / D = \left(1,1 \cdot h_n \cdot \sqrt[3]{E_{од} / E_{общ.0}}\right) / D$; h_n – толщина покрытия, см; K – коэффициент динамичности расчетной нагрузки ($K = 1,15$).

Основным видом нарушения **сплошности грунтов и слабосвязных материалов** дорожной одежды под действием транспортных нагрузок является **сдвиг**. Чрезмерные напряжения от транспортных нагрузок приводят к возникновению необратимых деформаций. Их развитию способствуют природно-климатические факторы, вызывающие увлажнение, перегрев или промерзание конструкции. При высоких положительных температурах и тяжелом интенсивном движении прочностные свойства покрытий из материалов на органических вяжущих существенно ухудшаются, появляется опасность возникновения пластических деформаций в виде наплывов, волн, колея (рис. 29.1), вмятин, сдвигов. При отрицательных температурах такие покрытия приобретают свойства хрупкого тела. При этом значительно повышаются модули упругости и сопротивления сжатию, но одновременно снижается их способность деформироваться без нарушения сплошности. Предельные относительные удлинения асфальтобетона уменьшаются от 0,006-0,002 при 0°С до 0,0015-0,0006 при -20°С. При резком изменении в сторону низких температур такие покрытия растрескиваются вследствие недостаточной деформационной компенсации линейному сжатию. Весной в результате повторяющихся нагрузок от транспорта в покрытии, лежащем на ослабленном основании, возникают многократные прогибы, вызывающие усталостное разрушение в виде сетки трещин.

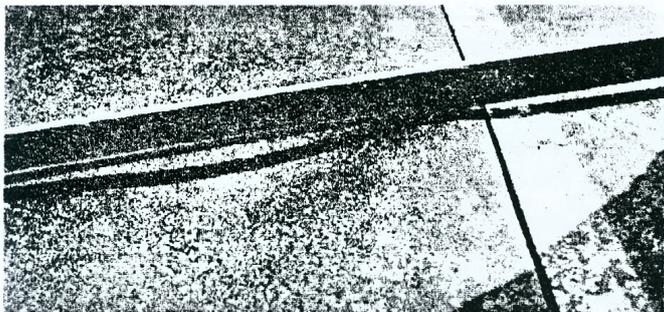


Рис. 29.1. Колея на асфальтобетонном покрытии



Рис. 29.2. Трещины в цементобетонном покрытии

Напряжения в цементобетонных покрытиях возникают от воздействия нагрузки и изменения температуры. При нагревании или охлаждении покрытие стремится изменить размеры, но из-за сопротивления сил трения по основанию это становится затруднительным. В результате появляются температурные напряжения. К ним добавляются напряжения от неравномерного распределения температур по толщине и от транспортных нагрузок. Все это приводит к образованию и развитию трещин в цементобетонном покрытии (рис. 29.2). Основываясь на механике разрушения, разработан алгоритм расчета прогноза долговечности бетона по обобщенному критерию трещиностойкости, который учитывает зоны концентрации указанных напряжений в вершинах радиальных трещин, возникающих на границе зерен клинкера и гидратированной массы, зерен мелкого заполнителя и цементного камня, зерен крупного заполнителя и цементно-песчаного раствора.

Согласно физической модели бетона все дефекты структуры бетона, как исходные, так и развившиеся в результате силовых и несиловых воздействий, делят на пять основных видов:

- 1) крупные поры с выходящими на их границы субмикротрещинами, образовавшимися в результате концентрации напряжений вокруг круглого отверстия;
- 2) эллипсовидные поры с выходящими на их границы микротрещинами;
- 3) трещиновидные дефекты в теле бетона;
- 4) краевые трещиновидные дефекты;
- 5) радиальные и контактные трещины вокруг зерен и включений.

От распределения указанных дефектов, определяемого главным образом составом бетона, зависит способность бетонных покрытий воспринимать транспортные и температурные нагрузки. При неблагоприятных условиях микротрещины в структуре бетона развиваются в макротрещины в слое покрытия. Таким образом, трещины образуются в разное время, в различных местах плит, имеют разные очертания и направления, неодинаковую глубину.

Характеристики наиболее распространенных деформаций и повреждений дорожной одежды приведены в табл. 29.1.

Таблица 29.1. Основные дефекты дорожных покрытий

Деформации и разрушения 1	Наиболее вероятные причины возникновения дефектов 2
Покрытия на органических вяжущих	
1. Колея и волны. <i>Часто наблюдаются на грузонапряженных трассах, а также в местах остановок транспорта</i>	Излишняя пластичность покрытия из-за избытка вяжущего или недостаточной теплоустойчивости смеси при высоких температурах (низкая температура размягчения вяжущего, неправильно подобран минеральный каркас), слабое основание
2. Сдвиги и наплывы. <i>Наблюдаются на крутых спусках, в местах торможения и остановок транспорта</i>	Аналогично п.1 в условиях недостаточного сцепления покрытия с основанием
3. Выкрашивание и шелушение. <i>Наблюдается на всей поверхности</i>	Недостаточно прочное сцепление (адгезия) вяжущего с каменным материалом
4. Выбоины. <i>Наблюдаются на всех видах покрытий</i>	Недостаточное сопротивление покрытия касательным усилиям от транспортных средств, выбивающих и выдергивающих каменные частицы

Продолжение таблицы 29.1

1	2
5. Трещины: – температурные поперечные, располагаются примерно через одинаковые расстояния (не менее 10м); – косые и поперечные трещины с ответвлениями, не образующие замкнутых фигур (через 1-4 м); – сетка трещин с крупными ячейками; – сетка трещин с мелкими ячейками	Недостаточная деформативная способность покрытия и малая сопротивляемость его напряжениям, возникающим от изменения температуры Неоднородность свойств покрытий и основания Воздействие многократной нагрузки Недостаточная прочность дорожной конструкции, старение вяжущего, деструкция бетона
6. Выбоины	Аналогично п.4, выщелачивание неорганических вяжущих водой и растворами противогололедных материалов
Покрытия на неорганических вяжущих	
7. Трещины: – поперечные сквозные; – продольные сквозные; – неглубокие; – волосяные; – косые вблизи углов плиты;	Превышение допустимого расстояния между швами сжатия или расширения, излишне длительные перерывы в бетонировании. Дефекты в продольных швах, недостаточное качество уплотнения земляного полотна. Неравномерное распределение температуры по толщине покрытия, обуславливающее его коробление, недостаточная деформативная способность под действием нагрузки. Усадка бетона при неправильном уходе после укладки покрытия, низкая морозостойкость материала. Недостаточно полное прилегание бетонной плиты к основанию и повышенные напряжения при проезде транспортных средств
8. Колея	Недостаточная прочность и высокая истираемость материала покрытия.
Все виды покрытий	
9. Просадка и проломы	Дефекты земляного полотна (недостаточное уплотнение, размыв)

29.3. Основные критерии оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог

Главным критерием оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог (ТЭС АД) является обеспечиваемая *скорость движения автомобилей и осевая нагрузка*, которую может пропускать дорога в расчетный период года. Основные параметры для оценки ТЭС АД включают:

- геометрические характеристики дороги (ширина проезжей части, ширина обочин, продольный уклон и уклон виража, расстояние видимости и т.п.);
- интенсивность и состав движения;
- прочность дорожной одежды;
- ровность покрытия;
- сцепление колеса автомобиля с покрытием;
- состояние разметки и дорожных знаков;
- наличие дорожных ограждений, инженерного оборудования и т. п.

Каждому состоянию параметра соответствует определенный частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости $K_{p.c.}$, значения которого изменяются в достаточно широких пределах (0,18-1,25). Так, например значение $K_{p.c.}$ при радиусе кривой в плане 1000 м для сухого и чистого покрытия составляет 1,25, а для гололеда – 0,60. Это означает, что при расчетной скорости для III категории автомобильной дороги 100 км/ч при движении в выше-названных условиях возможно увеличение скорости до 125 км/ч при сухом и чистом покрытии и снижении до 60 км/ч при гололеде.

ТЭС АД оценивают, как правило, для трех периодов года: летнего, весеннего (или осеннего) и зимнего. Совокупность всех наиболее важных параметров, прямо влияющих на скорость, оценивается итоговым коэффициентом обеспеченности расчетной скорости ($K_{p.c.}^{умог}$) на каждом характерном участке: прямые, участки с продольными уклонами, кривые в

плане и профиле, участки с ограждениями, участки с ограниченной видимостью и др. *Итоговый коэффициент обеспеченности* расчетной скорости на каждом характерном участке для указанных периодов года принимаются равным *наименьшему* из всех частных коэффициентов на этом участке.

По результатам строят линейный график, на котором наносят характерные параметры дороги, частные и итоговые значения коэффициента обеспеченности расчетной скорости, а также обобщенную оценку ТЭС АД для каждого периода года. Итоговый коэффициент обеспеченности расчетной скорости рекомендуется определять на основании непосредственных измерений скорости одиночного автомобиля на дороге.

Общую оценку дороги определяют как средневзвешенный комплексный показатель для всей дороги

$$K_{p.c.}^{a.d.} = \sum_{i=1}^n K_{p.c.i} \cdot L_i / L \quad (29.4)$$

где L_i – длина каждого участка с характерным $K_{p.c.i}$, км; L – общая протяженность дороги, км.

Допустимые значения итогового коэффициента обеспеченности расчетной скорости приведены в табл. 29.2.

Таблица 29.2. Допустимые минимальные значения итогового коэффициента обеспеченности базовой расчетной скорости

Категория дороги	Значения $K_{p.c.}^{итог}$ на участках по условиям проложения		
	основных	на трудных участках пересеченной местности	на трудных участках горной местности
I-a	$\frac{1,0}{0,75}$	$\frac{0,83}{0,67}$	$\frac{0,63}{0,50}$
I-b, II	$\frac{0,83}{0,67}$	$\frac{0,75}{0,58}$	$\frac{0,50}{0,38}$
III	$\frac{0,83}{0,63}$	$\frac{0,67}{0,50}$	$\frac{0,42}{0,33}$
IV	$\frac{0,67}{0,50}$	$\frac{0,50}{0,38}$	$\frac{0,33}{0,25}$
V	$\frac{0,50}{0,38}$	$\frac{0,33}{0,25}$	$\frac{0,25}{0,17}$

Примечание. В числителе даны значения для летнего периода; в знаменателе – для характерных состояний покрытия в осенне-весенний и зимний периоды.

При уменьшении итогового коэффициента ниже допустимого уровня необходимо выполнять специальные ремонтные работы. От правильного назначения межремонтных сроков службы дорожной одежды зависит экономическая эффективность эксплуатации автомобильных дорог.

Срок службы дорожной одежды (T_0) – это период времени, в пределах которого происходит снижение несущей способности дорожной конструкции до уровня, предельно допустимого по условиям движения. *Ремонт дорожной одежды* осуществляют при достижении в процессе эксплуатации расчетного уровня надежности дорожной одежды и соответствующего ему предельного состояния покрытия по ровности. *Под надежностью дорожной одежды* понимают вероятность безотказной работы конструкции в течение всего периода эксплуатации до ремонта. Количественно *уровень надежности (K_n)* представляет отношение протяженности прочных (неповрежденных) участков к общей протяженности дорожной одежды с соответствующими значениями коэффициента прочности (K_{np})

$$K_{np} = \frac{E_{\phi}}{E_{mp}} \quad (29.5)$$

где E_{ϕ} , E_{mp} – фактический и требуемый модули упругости дорожной одежды, МПа.

Нормативные межремонтные сроки службы дорожной одежды и соответствующие им нормы уровней надежности предложено принимать в зависимости от категории дороги, интенсивности движения и капитальности дорожной одежды (табл. 29.3). *Идея заключается в следующем:* если дорога запроектирована на определенную интенсивность движения и ей присвоена соответствующая категория, то под многократным воздействием транспортной нагрузки и климатических факторов в дорожной одежде возникнут усталостные явления и к

концу нормированного срока службы коэффициент прочности снизится до минимальных для каждой категории значений, что приведет к отказу дорожной одежды и возникновению на покрытии от 5 до 40% разрушенных участков дорог в зависимости от категории дороги. Например, отказ дорожной одежды наступает при интенсивности движения 7000 авт./сут на дорогах I категории после 14 лет эксплуатации при уровне надежности 0,95 (5% покрытия разрушено) и после 18 лет – при уровне надежности 0,90 (10% покрытия разрушено).

Таблица 29.3. Требуемые характеристики дорожной одежды

Категория дороги	Интенсивность движения транспортного потока, авт./сут	Тип дорожной одежды	Характеристики дорожной одежды		
			K_n	T_0 , годы	$K_{пр}$
I	7000	Капитальный	0,95-0,90	14-18	0,95
II	3000-7000	Капитальный	0,94-0,89	11-15	
III	1000-3000	Капитальный	0,92-0,87	11-15	0,85
		Облегченный	0,88-0,84	10-13	0,80
IV	500-1000	Капитальный	0,85-0,82	8-10	0,80
		Облегченный	0,87-0,83	10-15	
V	до 100	Переходный	0,82	3-8	0,60
		Облегченный	0,83-0,80	8-10	
		Переходный	0,65	3-8	
		Низший	0,65	2-4	

Очевидно, что между прочностью дорожной одежды и ровностью покрытия нет однозначной и тесной зависимости, поскольку предельное состояние по ровности покрытия во многих случаях наступает в результате совместного действия погодно-климатических факторов и транспортной нагрузки. При этом прочность дорожной одежды в целом может сохраняться на достаточном уровне, но по условиям ровности необходимо выполнять ремонт. К проблемам, возникающим при оценке прочности дорожных одежд, следует отнести также ее зависимость от водно-теплового режима дорожной конструкции и температуры асфальтобетонных слоев. В связи с вышесказанным вводится понятие отказа дорожной одежды – это такое ее состояние, при котором ровность покрытия и надежность дорожной одежды переходят предельно допустимые значения (табл. 29.4).

Таблица 29.4. Предельно допустимая ровность покрытия

Категория дороги	Интенсивность движения транспортного потока, авт./сут	Тип дорожной одежды	Предельно допустимые состояния покрытия по ровности		
			Показатель ровности, см/км		Число просветов под трехметровой рейкой
			по прибору ПКРС-2	по толчкомеру, ТХК-2	
I	Более 7000	Капитальный	540	100	6
II	3000-7000	Капитальный	660	120	7
III	1000-3000	Капитальный	860	170	9
		Облегченный	1100	240	12
IV	500-1000	Облегченный	1200	265	14
	100-500	Переходный	–	340	–
V	до 100	Переходный	–	–	–
		Низший	–	510	–

Примечание. Просвет соответствует величине более 10(6)мм под трехметровой рейкой (в скобках указано значение просвета под трехметровой рейкой при применении машин с автоматической системой задания вертикальных отметок).

Существуют определенные неувязки между декларируемым и реальным сроком службы дорожной одежды. Это связано с несоответствием реальной интенсивности движения на автомобильных дорогах расчетным показателям, особенностями погодно-климатического воздействия, условиями рельефа и др. Поэтому для эксплуатационных организаций предлагаются методы определения межремонтных сроков, основанные на статистической обработке данных о фактических сроках службы дорожной одежды либо на теоретическом описании изменения прочности во времени под воздействием транспортных нагрузок и природно-климатических факторов.

Для решения практических задач, связанных с оценкой сроков службы нежестких дорожных одежд и транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог, руководствуются предельно допускаемыми эксплуатационными состояниями покрытия по ровности (δ_1) в зависимости от надежности дорожной одежды (табл. 29.5). В Беларуси чаще всего ров-

ность определяется с помощью толчкомера ТХК-2, иногда применяются специальные передвижные лаборатории (рис. 29.3).

Таблица 29.5. Соотношение между уровнем надежности и предельным показателем ровности

K_n	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
δ_1 , см/км	530	510	475	440	390	340	265	170	80

Примечание. Приведенные данные получены по толчкомеру ТХК-2.

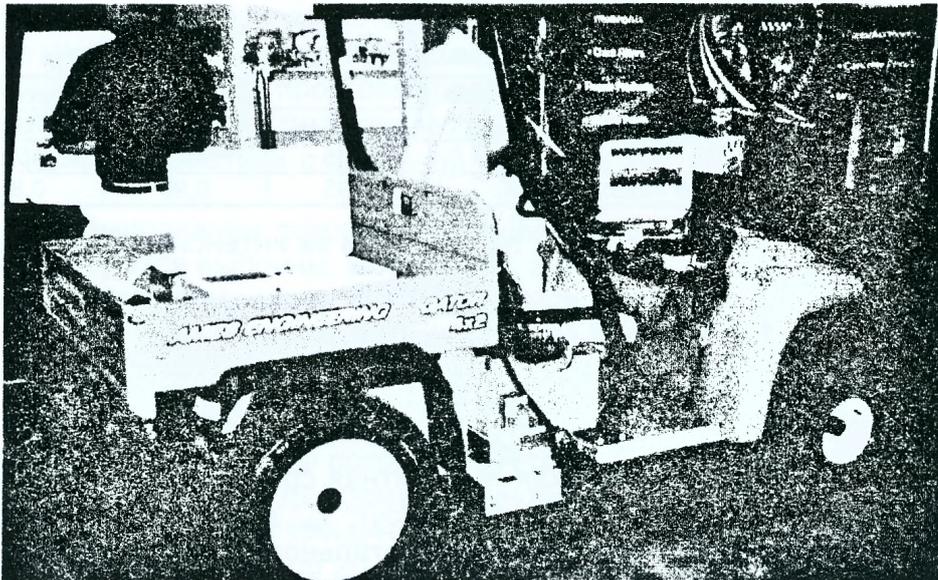


Рис. 29.3. Машина для оценки ровности дорожных покрытий

Следует отметить, что поперечная ровность также существенно влияет на скорость и безопасность движения, а, следовательно, надежность дороги как сооружения. В качестве характеристики поперечной ровности принимают глубину колеи, образующуюся по полосам наката. Предельно допустимые значения глубины колеи, регламентированные в Финляндии и Бельгии, представлены в табл. 29.6.

Таблица 29.6. Предельные значения глубины колеи, мм

Среднесуточное движение, грузовое, авт./сут	Предельная скорость, км/ч			
	60	80	100	120
<1500	45	35	26	18
1500-6000	40	31	23	16
>6000	35	27	20	14

Теоретические методы прогнозирования работоспособности дорожных одежд исходят из неизбежного, по мнению авторов, снижения в процессе эксплуатации прочности одежды в связи с воздействием нагрузки от автомобилей, а также природных факторов. Оценивая работы, выполненные в зарубежных странах, необходимо обратить внимание, на то, что предложенные модели прогнозирования получены для определенных климатических условий, качества строительства и содержания дорог, применяемых материалов и методов испытаний.

Для условий Республики Беларусь В.П. Корюковым на основе статистического анализа предложена следующая расчетная формула для определения предполагаемого срока службы дорожной одежды, эксплуатируемой в реальном режиме

$$\tau_n = \frac{\tau_p}{(1 + 5 \cdot \lg q) \cdot \sqrt{K_n}}, \quad (29.6)$$

где K_n – допустимый уровень надежности дорожной одежды, который равен отношению протяженности прочных (неповрежденных) участков дороги к общей протяженности дороги к концу срока службы дорожной одежды (табл. 29.7); τ_p – расчетное значение срока службы (табл. 29.7), лет; q – показатель среднегодового изменения интенсивности движения на дороге, который определяется по формуле

$$q = \frac{\sum q_i}{T_i - 1}, \quad (29.7)$$

где T_i – период, в течение которого проводились наблюдения за интенсивностью движения, годы; q_i – изменение интенсивности, определяемое по формуле $q_i = N_{T_i} / N_{T_i-1}$, N_{T_i} , N_{T_i-1} – среднесуточные интенсивности движения, приведенные к расчетному автомобилю группы А, соответственно, в последующий и предыдущий годы.

Таблица 29.7. Расчетный срок службы и допустимый уровень надежности

Показатели, необходимые для определения нормативного срока службы дорожных одежд	Категория дороги			
	I	II	III	IV
Расчетные значения сроков службы τ_p , лет	16,5	16,0	15,5	15,0
Допустимый уровень эксплуатационной надежности K_n	0,95	0,90	0,85	0,80

При отсутствии многолетних данных наблюдений за интенсивностью движения показатель q может быть вычислен по формуле

$$q = \frac{\left(N_\phi - \frac{N_n}{q_n^{\tau_n}} \right) \cdot q_n^{\tau_n}}{N_n \cdot \tau_\phi} + 1, \quad (29.8)$$

где N_ϕ , N_n – соответственно, фактическая и проектная среднесуточная интенсивность движения, приведенная к автомобилю группы А, авт./сут; τ_ϕ , τ_n – соответственно, фактический (от года строительства дороги или последнего капитального ремонта до года оценки интенсивности движения) и проектный сроки службы дороги; q_n – показатель среднегодового изменения интенсивности движения, принятый при проектировании строительства или капитального ремонта дороги.

Расчет срока службы дорожной одежды с использованием табл. 29.7 ведут в следующей последовательности:

- принимают расчетное значение срока службы применительно к рассматриваемой категории дороги;
- определяют по формулам (29.7 или 29.8) показатель ежегодного изменения интенсивности движения q с учетом данных натурных наблюдений (также значение q можно задавать, исходя из перспективы развития экономики страны, обычно 1,05-1,15);
- принимают допустимый уровень эксплуатационной надежности дорожной одежды K_n по табл. 29.3;
- по зависимости (29.6) находят нормативный срок службы.

Как показали практические расчеты, межремонтные сроки службы для дорог высоких категорий (I-III) незначительно (2-0,5 года) менее, чем расчетные значения сроков службы τ_p , приведенные в табл. 29.7, в то время как для IV категории они немного больше (0,5 года). Это означает, что практические и теоретические межремонтные сроки службы практически совпадают, что позволяет руководствоваться нормативными документами при назначении межремонтных сроков службы и только в некоторых случаях использовать теоретические формулы.

29.4. Определение работоспособности автомобильных дорог

При проектировании ремонта и усиления дорожных одежд возникает необходимость в определении их остаточного ресурса, установлении ожидаемого объема разрушений на конкретных участках дорог. Для этого существуют методы прогнозирования работоспособности дорожных одежд, основанные на учете жесткости конструкции, характеризуемой измеренным упругим прогибом, объемом деформаций на покрытии, интенсивности и составе движения. Принимая во внимание случайность процесса изменения основных транспортно-эксплуатационных показателей дороги в течение срока службы дорожной одежды, зависящего от многочисленных факторов (конструктивного исполнения, применяемых материалов, технологии производства работ и качества их выполнения, уровня содержания и текущего ремонта и др.), при выполнении прогноза параметры, входящие в расчет, обрабатывают методами математической статистики и теории вероятности. Практически встречается два случая при определении работоспособности автомобильных дорог.

1) Определение остаточного ресурса дорожной одежды

При прогнозировании срока службы конкретных участков дорог возникает необходимость в учете их индивидуальных особенностей. Это осуществляется путем сравнения фактической работоспособности дорожной одежды и ее состояния, достигнутого за прошедший срок службы, с расчетной, определенной по математической зависимости. Таким образом, устанавливается корреляционный коэффициент, с помощью которого метод прогноза привязывается к конкретной дорожной одежде и условиям ее эксплуатации.

Для выполнения прогноза срока службы дорожной одежды необходимо оценить ее прочность путем измерения упругого прогиба под колесом расчетного автомобиля с нагрузкой 50 кН с помощью рычажного прогибомера. Полученные значения прогиба, измеренные в конкретный период года, необходимо привести к расчетным значениям и обработать методами математической статистики с заданной надежностью применительно к характерному участку дороги.

Степень деформирования покрытия определяется по данным визуальных наблюдений, при этом фиксируются выбоины, колеи, шелушение, трещины и другие дефекты, и выражается в квадратных метрах на 1000 м² общей площади покрытия. По этим данным вычисляются фактический объем разрушений на покрытии в процентах

$$\alpha(z) = \frac{D}{10}, \quad (29.9)$$

где D – площадь деформированного покрытия, м²/1000 м².

Для определения площади деформированного покрытия при наличии отдельных трещин рекомендуется общую длину трещин (в метрах) с шириной раскрытия до 3 мм умножить на 0,2; с шириной раскрытия от 3 до 20 мм – на 0,5; более 20 мм – на 1,0. Приняв нормальный закон распределения процесса деформирования покрытия, его характеризуют зависимостью

$$\alpha(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_a}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (29.10)$$

Ординату z нормированной Гауссовской плотности распределения находят по табл. 29.8 на основании вычисленных значений функции $\alpha(z)$ по зависимости (29.9).

Таблица 29.8. Ординаты нормированной Гауссовской плотности

z	0,0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	Значения $\alpha(z)$									
0,0	0,50	0,496	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0665	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0106	0,0102	0,0099	0,00964	0,00939	0,00914	0,00889	0,00866	0,00842
2,4	0,0082	0,00798	0,00776	0,00755	0,00734	0,00714	0,00695	0,00676	0,00657	0,00639
2,5	0,00621	0,00604	0,00587	0,00570	0,00554	0,00539	0,00523	0,00508	0,00494	0,00480
2,6	0,00466	0,00453	0,00440	0,00427	0,00415	0,00402	0,00391	0,00379	0,00368	0,00357
2,7	0,00347	0,00336	0,00326	0,00317	0,00307	0,00298	0,00289	0,00280	0,00272	0,00264
2,8	0,00256	0,00248	0,00240	0,00233	0,00226	0,00219	0,00212	0,00205	0,00199	0,00193
2,9	0,00187	0,00181	0,00175	0,00169	0,00164	0,00159	0,00154	0,00149	0,00144	0,00139

Общее количество проходов транспортных средств, приведенных к расчетному автомобилю группы А, за прошедший период эксплуатации дороги определяют по формуле

$$N_{\phi} = 240 \cdot f \cdot N_p^c \cdot \frac{K_c}{q^{(\tau-1)}}, \quad (29.11)$$

где f – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним (табл. 29.9); N_p^c – приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения в обоих направлениях в последний год службы конструкции, авт./сут, для приближенных расчетов допускается использовать зависимость $N_p^c = 0,15 \cdot N_i$, где N_i – суточная интенсивность движения автомобилей всех марок в обоих направлениях, авт./сут; K_c – коэффициент суммирования, который определяется по зависимости $K_c = \frac{q^{\tau} - 1}{q - 1}$, где τ – прошедший срок

службы дорожной одежды после строительства или последнего капитального ремонта; q – прирост интенсивности движения.

Таблица 29.9. Коэффициент учета числа полос движения f

Число полос движения	Значения коэффициента f для полосы номер		
	1	2	3
1	1	–	–
2	0,55	–	–
3	0,50	0,50	–
4	0,35	0,20	–
6	0,30	0,20	0,05

При постоянной, без существенных изменений, интенсивности движения ($q=1$) в формуле (29.11) отношение $\frac{K_c}{q^{(\tau-1)}}$ принимают равным τ .

Вычисление расчетной работоспособности дорожной одежды с учетом ее жесткости и степени деформирования покрытия производят по формуле

$$N = 10^{2,72 - 3,25 \cdot \lg l - \frac{\lg \left(\frac{z}{3} + 1 \right)}{0,31}}, \quad (29.12)$$

где l – измеренный расчетный прогиб дорожной одежды, см; z – ордината нормированной Гауссовской плотности распределения, определяемая по табл. 29.8 в зависимости от степени деформирования покрытия $\alpha(z)$.

При этом прогнозируемый срок службы дорожной одежды определяют по зависимости

$$\tau_{\text{прог}} = \frac{N_{\text{прог}} \cdot N_{\phi}}{240 \cdot N_p \cdot N_p^c \cdot f}, \quad (29.13)$$

где $N_{\text{прог}}$ – ожидаемая работоспособность дорожной одежды, выраженная в количестве проходов расчетных автомобилей за прогнозируемый срок службы, рассчитывается по зависимости (29.12), при уровне надежности дорожной одежды (объем разрушений на покрытии) на конец срока службы; N_p – расчетная работоспособность дорожной одежды за прошедший период эксплуатации дороги при существующем объеме деформаций на покрытии, выраженная в количестве проходов расчетных автомобилей, вычисляется по формуле (29.12).

Прогноз срока службы дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на конкретном участке дороги осуществляют в следующей последовательности:

1. Измеряют упругий прогиб дорожной одежды и определяют расчетное значение прогиба (l), характеризующего жесткость конструкции на рассматриваемом участке дороги.
2. Вычисляют фактическое количество проходов расчетных автомобилей за прошедший срок службы дороги (N_{ϕ}), находят показатель изменения интенсивности движения (q) в течение прогнозируемого срока службы.
3. Оценивают степень деформирования покрытия $\alpha(z)$ и находят величину z .
4. По зависимости (29.12), принимая значения l и z , вычисляют расчетную работоспособность N_p , за прошедший период эксплуатации дороги.

5. С помощью зависимости (29.12) находят прогнозируемую работоспособность дорожной одежды $N_{\text{прог}}$. Для этого задаются уровнем надежности дорожной одежды на конец срока службы, определяют степень деформирования покрытия $\alpha(z)$ и величину z .

6. Подставляя все полученные значения в формулу (29.13), вычисляют прогнозируемый срок службы дорожной одежды.

В качестве примера прогнозирования работоспособности дорожных одежд рассмотрим следующий. Требуется определить остаточный срок службы дорожной одежды на автомобильной дороге II категории, при проведении обследования которой установлено, что измеренный расчетный прогиб равен $62(1/100)\text{мм}$, степень деформирования покрытия составляет $28\text{м}^2/1000\text{м}^2$, среднегодовая суточная интенсивность $N=4000\text{авт./сут}$, показатель изменения интенсивности движения по годам $q=1,05$, срок службы дороги после последнего капитального ремонта равен 6 годам.

1. Фактическая жесткость дорожной одежды характеризуется расчетным прогибом $l=62(1/100)\text{мм}=0,062\text{см}$, полученным на основании обработки измеренных значений упругого прогиба.

2. Фактическое количество проходов расчетных автомобилей группы А за прошедший срок службы дороги после капитального ремонта, равный 6 годам, определяется следующим образом. Приводим общую суточную интенсивность движения к расчетным автомобилям $N_p^c = 0,15 \cdot N_i = 0,15 \cdot 4000 = 600\text{авт./сут}$. Затем определяем общее количество проходов расчетных автомобилей по формуле

$$N_{\phi} = 240 \cdot f \cdot N_p^c \cdot \frac{K_c}{q^{(\tau-1)}} = 240 \cdot 0,55 \cdot 600 \cdot \frac{6,8}{1,05^5} = 420750 = 0,42 \cdot 10^6 \text{ авт.},$$

в которой $K_c = \frac{q^{\tau} - 1}{q - 1} = \frac{1,05^6 - 1}{1,05 - 1} = 6,8$.

3. Вычисляем степень деформирования покрытия $\alpha(z) = \frac{D}{10} = \frac{28}{10} = 2,8\% = 0,028$. При этом z по табл. 29.8 равно 1,91 (при 0,0).

4. Определяем расчетную работоспособность дорожной одежды за прошедший период эксплуатации дороги, подставляя $l=0,062\text{см}$ и $z=1,91$ по формуле

$$N_p = 10^{2,72-3,25 \cdot \lg l - \frac{\lg\left(\frac{z+1}{3}\right)}{0,31}} = 10^{2,72-3,25 \cdot \lg 0,062 - \frac{\lg\left(\frac{1,91+1}{3}\right)}{0,31}} = 10^{5,93} = 0,85 \cdot 10^6 \text{ авт.}$$

5. Прогнозируемая работоспособность дорожной одежды с учетом степени деформирования покрытия к концу срока службы, равной $\alpha(z)_1 = 10\%$; $\alpha(z)_2 = 20\%$ ($z=1,28$; $z=0,84$), составит:

$$N_{\text{прог}1} = 10^{2,72-3,25 \cdot \lg l - \frac{\lg\left(\frac{z+1}{3}\right)}{0,31}} = 10^{2,72-3,25 \cdot \lg 0,062 - \frac{\lg\left(\frac{1,28+1}{3}\right)}{0,31}} = 10^{6,12} = 1,32 \cdot 10^6 \text{ авт.}$$

$$N_{\text{прог}2} = 10^{2,72-3,25 \cdot \lg l - \frac{\lg\left(\frac{z+1}{3}\right)}{0,31}} = 10^{2,72-3,25 \cdot \lg 0,062 - \frac{\lg\left(\frac{0,84+1}{3}\right)}{0,31}} = 10^{6,27} = 1,86 \cdot 10^6 \text{ авт.}$$

6. Подставляем полученные значения в формулу $\tau_{\text{прог}} = \frac{N_{\text{прог}} \cdot N_{\phi}}{240 \cdot N_p \cdot N_p^c \cdot f}$ и получаем

$$\tau_{\text{прог}1} = \frac{1,32 \cdot 10^6 \cdot 0,42 \cdot 10^6}{240 \cdot 0,85 \cdot 10^6 \cdot 600 \cdot 0,55} = 8,2 \text{ года}, \quad \tau_{\text{прог}2} = \frac{1,86 \cdot 10^6 \cdot 0,42 \cdot 10^6}{240 \cdot 0,85 \cdot 10^6 \cdot 600 \cdot 0,55} = 11,6 \text{ года}.$$

Таким образом, остаточный срок службы дорожной одежды при степени деформирования покрытия, равной 10% перед капитальным ремонтом составит 8,2 года, при степени деформирования 20% – 11,6 года.

Наряду с прогнозированием срока службы дорожной одежды по данной методике можно решать и другие задачи:

– определять степень разрушения асфальтобетонного покрытия через задаваемый срок службы дороги;

– устанавливать, какой должна быть жесткость дорожной одежды (упругий прогиб l), толщина слоев, чтобы через определенный период времени состояние асфальтобетонного покрытия (уровень надежности) соответствовало задаваемым условиям.

2) Прогнозирование ежегодных разрушений дорожных одежд

Весенний период, когда в наибольшей степени проявляются деформации дорожных одежд, связанные с потерей устойчивости земляного полотна, в Республике Беларусь включает время: от последней пятнадцатки марта до 25 апреля для южных районов республики; в течение апреля – для центральных районов; с 10 апреля по 15 мая – для северных районов. В наибольшей степени весенним деформациям подвержены участки дорог с недостаточной толщиной дорожной одежды, в низких насыпях и выемках, сложенных пылеватыми и глинистыми грунтами, при близком от поверхности земли залеганием грунтовых вод, сильно заиленным дренарующим слое или отсутствии его.

Весенними разрушениями принято считать деформации дорожных одежд, проявляющиеся в виде полного или частичного разрушения (проломы, колеиность, сетка трещин т. д.), требующие постоянного выполнения работ по весеннему содержанию и ремонту дорог.

Потеря прочности и устойчивости земляного полотна весной происходит в результате переувлажнения грунтов за счет повышенного влагонакопления в осенне-зимний период. Беларусь относится к районам избыточного увлажнения, наиболее неблагоприятным с точки зрения воздействия климата на дорожную конструкцию. Осенью на увлажнение земляного полотна расходуется от 70 до 170 мм выпадающих осадков при продолжительности осеннего влагонакопления от 1,5 до 3 месяцев. Зимой в результате промерзания верхней части земляного полотна влага перераспределяется и накапливается за счет миграции воды в зону промерзания. Дополнительное увлажнение грунтов происходит во время продолжительных и интенсивных зимних оттепелей, вследствие которых увеличение влажности достигает 0,2-0,3 от влажности предела текучести.

Учет климатических факторов, анализ их влияния на накопление влаги и прочность дорожных конструкций дает возможность прогнозировать появление разрушений, что в свою очередь позволяет своевременно намечать и осуществлять мероприятия по текущему содержанию дорог и предотвращению повреждений на них.

Натурные наблюдения за воднотепловым режимом дорожных конструкций и анализ влияния климата на прочность земляного полотна и дорожных одежд показали, что для условий Беларуси наиболее неблагоприятными климатическими факторами являются:

– повышенное количество предзимних осадков, выпадающих в течение месячного срока перед началом промерзания земляного полотна;

– малая скорость промерзания грунта земляного полотна в периоды до и после оттепели;

– наличие продолжительных и интенсивных зимних оттепелей.

Следует учитывать, что максимальные объемы разрушений на автомобильных дорогах наблюдаются при наиболее неблагоприятном сочетании вышеприведенных факторов. Наибольших деформаций надо ожидать в годы, когда выпадает значительное количество предзимних осадков.

На основе анализа и сопоставления данных о весенних разрушениях на автомобильных дорогах и основных климатических характеристиках, полученных из Департамента гидрометеорологии Минприроды Республики Беларусь, получена зависимость для прогноза объема весенних разрушений

$$\frac{V}{A} = I_g \left(\frac{\sum D \cdot \sum T}{\left| \frac{\sum Z}{2} - \sum D \right|} \right) + \frac{Q}{100}, \quad (29.14)$$

где V – объем разрушений на дороге, %; A – коэффициент, характеризующий состояние дороги; $\sum D$ – сумма градусо-дней мороза в начальный период промерзания, предшествующий

оттепели; ΣT и $\Sigma З$ – сумма градусо-дней тепла и мороза за зиму; Q – количество предзимних осадков, мм.

Основная проблема при вычислении объема разрушения на дороге V заключается в определении коэффициента A , который рассчитывается для характерных участков автомобильных дорог с использованием таблиц объемов весенних разрушений и методов математической статистики.

С достаточной для практических расчетов точностью значение V/A возможно определять по номограмме (рис. 29.4). Порядок расчета следующий:

1) вычисляют величину температурного фактора $\theta = \frac{\Sigma D \cdot \Sigma T}{\left| \frac{\Sigma З}{2} - \Sigma D \right|}$;

- 2) находят количество осадков в предзимний период Q ;
- 3) из отложенной на оси абсцисс точки θ восстанавливают перпендикуляр до пересечения с соответствующей прямой Q . Из полученной точки проводят прямую, перпендикулярную оси ординат, до пересечения с осью V/A ;
- 4) найденное значение V/A умножают на ранее вычисленный коэффициент A и получают предполагаемый объем разрушений в процентах от протяженности участка дороги, для которого составлен прогноз.

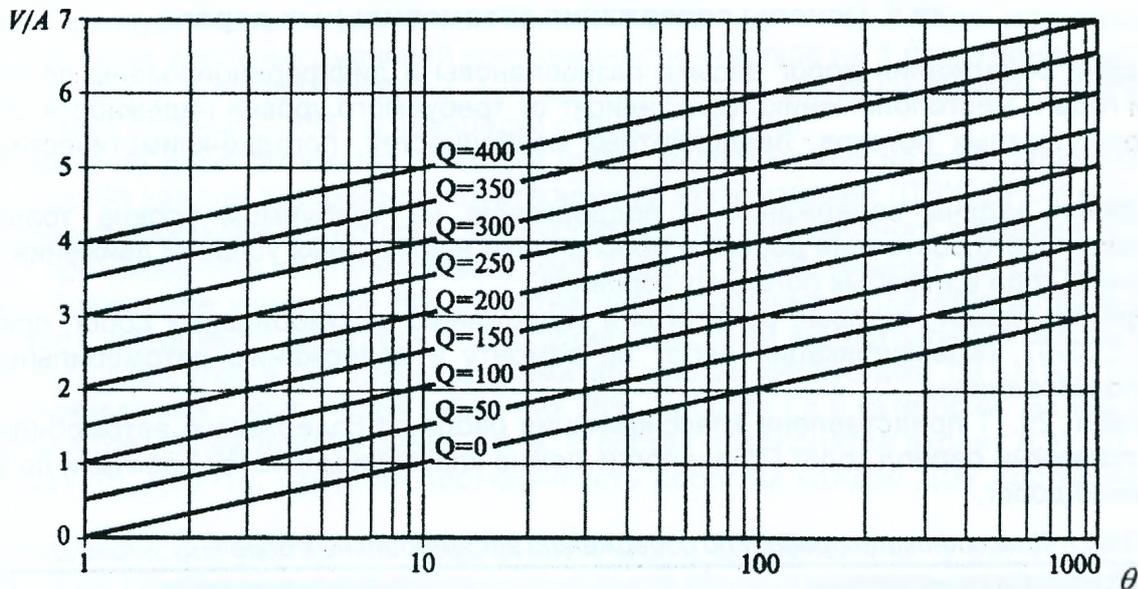


Рис. 29.4. Номограмма для расчета объема весенних разрушений на дорогах (Q – сумма осадков в предзимний период, мм)

При отсутствии данных наблюдений для первичной ориентировочной оценки предлагаются следующие значения коэффициента A в зависимости от капитальности покрытия дороги и его состояния (табл. 29.10).

Таблица 29.10. Коэффициенты, характеризующие состояние дороги

Значение коэффициента A при типах покрытия			
усовершенствованные капитальные		усовершенствованные облегченные	
I	II	I	II
2,0	4,0	2,5	5,0

Примечания. 1. Значения коэффициента A принимают для участков дорог, на которых наблюдаются весенние разрушения. 2. После проведения капитального ремонта или реконструкции дороги необходимо накапливать данные о весенних разрушениях и определять величину коэффициента A , характерного для данной дороги. 3. I и II – соответственно, удовлетворительное и неудовлетворительное состояния дороги. 4. К удовлетворительным по состоянию дорожной одежды относят участки дорог, на которых не наблюдаются сетки трещин, келейность, связанная с недостаточной несущей способностью конструкции, выпотевание. Объем разрушений покрытия составляет менее 15%, а коэффициент запаса прочности дорожной одежды – более 0,8. К участкам дорог с неудовлетворительным состоянием относятся участки, на которых объем разрушений равен или превышает 15%, а коэффициент запаса прочности – равен или менее 0,8.

Рассмотрим в качестве примера расчета ежегодных разрушений дорожных одежд следующий. Необходимо определить объем весенних разрушений на участке дороги III кате-

гории с усовершенствованным капитальным асфальтобетонным покрытием протяженностью 40 км.

1. Выбирают необходимые климатические показатели по данным ближайшей к дороге метеорологической станции и вычисляют значения: суммы градусо-дней мороза в начальный период зимы $\Sigma D=185,8$; суммы градусо-дней мороза за зиму $\Sigma Z=225,8$; суммы градусо-дней тепла $\Sigma T=29,6$; количество предзимних осадков $Q=56$ мм.

2. Вычисляют значение температурного фактора

$$\theta = \frac{\Sigma D \cdot \Sigma T}{\left| \frac{\Sigma Z}{2} - \Sigma D \right|} = \frac{185,8 \cdot 29,6}{\left| \frac{225,8}{2} - 185,8 \right|} = 75,44.$$

3. По номограмме находим $V/A=2,45$.

4. По табл. 29.10 определяем значение коэффициентов $A=2,0$ и $4,0$.

5. Тогда объем разрушений при удовлетворительном состоянии дорожной одежды составит $V=2,45 \cdot 2,0=4,9\%$, а при неудовлетворительном $V=2,45 \cdot 4,0=9,8\%$.

Таким образом, ориентировочно объем разрушений составит 4,9% и 9,8%, или на участке дороги протяженностью 40 км и ширине проезжей части 7 м: $40000 \cdot 7 \cdot 0,049=13720$ м² при удовлетворительном состоянии дороги и $40000 \cdot 7 \cdot 0,098=27440$ м² при неудовлетворительном.

29.5. Основы содержания автомобильных дорог

Задачи содержания дорог весьма разноплановы и дифференцированы по объектам, времени года и местоположению. Они зависят от требуемого уровня надежности, интенсивности транспортных потоков, ландшафтных особенностей, погоднo-климатических факторов.

Главная задача содержания – поддержание на требуемом уровне транспортно-эксплуатационного состояния дороги и обеспечение нормальных условий движения по ней в любое время года и в любых погодных условиях.

Перечень работ, которые относятся к содержанию автомобильных дорог, приведен в РД 0219.1.03-97 «Классификация работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования».

В табл. 29.11 представлена классификация работ по содержанию автомобильных дорог в бесснежный период года. По аналогии можно классифицировать работы и по зимнему содержанию дорог.

Таблица 29.11. Классификация работ по содержанию автомобильных дорог

Классификационные признаки	Наименование работ
Объекты дорожного комплекса	Содержание земляного полотна, водоотводных и искусственных сооружений, дорожной одежды, производственных зданий, подсобных помещений, элементов инженерного обустройства, полосы отвода, декоративных и снегозадерживающих насаждений
Сезоны года	Содержание дорог: весеннее, летнее, осеннее и зимнее
Время суток	Содержание дорог в дневное и ночное время, круглосуточное
Уровень механизации (технической вооруженности)	Работы ручные, механизированные, комплексно-механизированные, машинные, автоматизированные
Система организации	Работы линейные, сосредоточенные, выборочные
Методы организации труда	Работы, выполняемые индивидуально и комплексными бригадами

Вся система дорожной отрасли Республики Беларусь сориентирована на то, чтобы обеспечить сохранность, повысить надежность и продлить срок службы автомобильных дорог путем своевременного и качественного выполнения работ по их содержанию и ремонту. Главной целью при этом является максимальное удовлетворение общественного спроса, который формируется пользователями дорог. Кроме потребительских качеств собственно дорог большая роль отводится и дорожному сервису (табл. 29.12).

Таблица 29.12. Дорожный сервис и перспективы его развития (по плану на 1997-2005 годы)

Автодороги	Пункты, посты				АЗС				СТО				Пункты питания				Охраняемые стоянки				Площадки отдыха			
	Сущест.	Строящ.	Проектир.	Предпол.	Сущест.	Строящ.	Проектир.	Предпол.	Сущест.	Строящ.	Проектир.	Предпол.	Сущест.	Строящ.	Проектир.	Предпол.	Сущест.	Строящ.	Проектир.	Предпол.	Сущест.	Строящ.	Проектир.	Предпол.
М-1	3	8	29	—	28	6	51	4	5	8	36	—	43	13	61	6	8	7	30	3	72	—	—	10
М-2	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—	4	—	—	2
М-3	—	—	5	—	8	2	8	5	3	—	3	1	6	—	5	11	4	—	—	1	23	—	—	10
М-4	—	—	—	1	7	1	4	6	1	—	1	2	3	—	—	6	—	—	1	2	7	—	—	11
М-5	—	1	—	—	3	—	5	6	1	—	—	2	7	1	2	9	3	—	—	1	19	—	—	7
М-6	1	1	—	1	11	—	11	3	2	—	—	1	14	—	3	9	2	—	1	3	14	—	—	9
М-7	1	—	—	1	7	1	5	5	2	1	—	1	1	1	4	8	1	—	—	2	14	—	—	9
М-8	2	—	2	2	11	—	9	7	4	—	2	2	15	—	2	21	10	—	—	2	20	—	—	18
М-9	—	1	1	1	8	—	3	4	3	—	1	—	6	—	3	8	—	1	2	3	12	—	2	5
М-10	2	—	—	—	10	—	9	12	2	—	2	4	10	1	3	18	5	—	—	1	30	—	—	24
Итого	9	11	37	6	93	10	108	52	23	9	45	13	108	16	84	96	33	8	34	18	215	—	2	105
Всего	63				263				90				304				93				322			

Используя данные таблицы 29.12, можно рассчитать удельные значения протяженности участка автомобильной дороги на 1 сооружение дорожного сервиса. Как известно, протяженность республиканских дорог составляет 15462 км, в том числе магистральных – 3284 км. Значения удельных значений протяженности участков на 1 сооружение составляет: для пунктов поста $C_1=3284/63=52$ км; АЗС $C_2=12$ км; СТО $C_3=36$ км; пункты питания $C_4=10$ км; охраняемые стоянки $C_5=35$ км; площадки отдыха $C_6=10$ км.

Содержание дорог включает комплекс работ, выполняемых на всей дорожной сети в течение года. За каждой дорожно-эксплуатационной организацией (ДЭУ, ДРСУ и др.) закреплено определенное количество дорог республиканского или местного значения, установлена общая протяженность обслуживаемых ими дорог и искусственных сооружений. Например, Республиканское унитарное предприятие автомобильных дорог «Магистральавтодор» обеспечивает управление, контроль и обслуживание 10-ти магистральных автомобильных дорог, являющихся главными транспортными артериями республики (М1-М10). Протяженность обслуживаемых дорог – 3284 км, из них 76% – дороги I и II категории. На них расположены 706 мостов общей длиной 32565 пог.м. В состав предприятия входят ДЭУ-10, ДЭУ-12, ДЭУ-13, ДЭУ-15, ДЭУ-16. Средняя протяженность дорог на каждое ДЭУ составляет более 600 км.

Республиканские унитарные предприятия (РУП) расположены в областных центрах Беларуси. В их структуру входят дорожно-эксплуатационные управления (ДЭУ). Протяженность обслуживаемых ими дорог и мостов приведена в табл. 29.13.

Таблица 29.13. Структура РУПавтодоров

Областные центры	Брест	Витебск	Гомель	Гродно	Минск	Могилев
Протяженность обслуживаемых дорог республиканского значения, км	1793	2535	1637	1951	2214	2152
Количество мостов, шт.	227	276	165	240	245	270
Общая длина мостов, м	7823	9444	10942	7553	8662	12014
Дорожно-эксплуатационные управления	ДЭУ-21- ДЭУ-26	ДЭУ-31- ДЭУ-35	ДЭУ-46, ДЭУ-47	ДЭУ-54	ДЭУ-61- ДЭУ-69	ДЭУ-71- ДЭУ-77

Также в систему Облдорстроя входят дорожные ремонтно-строительные управления (ДРСУ), на которые возложены функции эксплуатационного содержания закрепленных за ними дорог, а также работы по ремонту и реконструкции небольших дорожных объектов.

29.6. Меры по повышению надежности и работоспособности автомобильных дорог

Выбор конкретных мер по повышению надежности и работоспособности автомобильных дорог зависит, главным образом, от типа дорожной одежды, так как из всех компонентов дороги покрытие является наиболее подверженным статическим и повторяющимся нагрузкам. Но это не означает, что остальные части автомобильной дороги не требуют содержания и ремонта.

Асфальтобетонные покрытия наиболее распространены на автомобильных дорогах высших категорий. При их строительстве используются различные материалы, основу которых составляют битумы и каменные заполнители. Надежность и долговечность асфальтобетонных покрытий зависит от многих факторов, но, главным образом, от *свойств асфальтобетонных покрытий и технологии их укладки*.

Технические свойства асфальтобетонов являются определяющими не только для конструктивных, но и для транспортно-эксплуатационных качеств покрытия. Соотношение минеральных фракций и вяжущего в асфальтобетоне влияет на его деформативные свойства, светотехнические характеристики и шероховатость. Эти свойства необходимо учитывать при выборе способа ремонта асфальтобетонного покрытия.

Качество автомобильных дорог в значительной степени определяется состоянием поверхности проезжей части. Инженерное обустройство дороги, продольная и поперечная ровность проезжей части, световая однородность, шероховатость покрытия, наличие горизонтальной и вертикальной разметки позволяют развивать скорость движения в допустимых пределах, осуществлять необходимые маневры в процессе управления транспортными средствами, исключать вероятность дорожно-транспортных происшествий по дорожным причинам.

Однако в процессе эксплуатации дороги ее транспортно-эксплуатационные характеристики не являются постоянными. Под действием транспортных нагрузок, погодноклиматических факторов, в результате физико-механических и биологических процессов поверхность дороги деградирует, на ней появляются выбоины и трещины, развиваются процессы шелушения, истирания и другие последствия физико-химической коррозии.

Замедлить процесс физического износа дорожных покрытий, а значит, повысить их эксплуатационную надежность и долговечность, можно путем *качественного выполнения работ по содержанию дороги и своевременного выполнения ремонтных работ*. Комплекс работ, выполняемых с целью устранения дефектов покрытия или повышения первоначальных транспортно-эксплуатационных характеристик, относится к их ремонту. Различают текущий, средний и капитальный ремонт покрытий.

При текущем ремонте устраняют относительно мелкие повреждения и разрушения в виде выбоин, колеи, трещин, сдвигов, разрушения кромок, волн, бугров, наплывов. Основной объем работ по текущему ремонту выполняют весной и летом с наступлением теплой устойчивой погоды (при температуре не ниже 5°C). В остальной период (до температуры 10°C осенью) ремонт производят по мере необходимости при появлении тех или иных повреждений.

Средний ремонт асфальтобетонного покрытия включает периодическое возобновление слоев износа с целью продления срока службы дорожной одежды и создание в необходимых случаях шероховатой поверхности. Для этого после устранения локальных повреждений проводится поверхностная обработка или укладка дополнительного тонкого слоя износа. Верхний слой покрытия возобновляют на участках, где разрушение образуется столь интенсивно, что ограничиться ямочным ремонтом становится экономически невыгодным. Для создания защитных слоев покрытия применяют различные технологии, которые рассмотрены ниже.

Капитальный ремонт предусматривает усиление и уширение дорожной одежды, в необходимых случаях с перестройкой и усилением основания, а также устройство новых одежд. На перестраиваемых участках капитальный ремонт может производиться как по существующему покрытию, так и с удалением его. Технология капитального ремонта асфальтобетонных покрытий зависит от вида используемых материалов и машин и во многом напоминает технологию их строительства.

Ямочный (выборочный) ремонт асфальтобетонных покрытий является основным при текущем ремонте и включает выполнение следующих операций (рис. 29.5):

- ограждение участка производства работ;
- очистку покрытия от грязи, льда и снега;
- определение зон разрушения покрытия, разметку мест ремонта;
- нарезку контуров «карт»;
- вырубку и очистку «карт»;
- сушку «карты» (при необходимости),
- огрунтовку стенок и дна «карты»;

- укладку и разравнивание ремонтного материала;
- уплотнение смеси и отделку мест сопряжения;
- уборку отходов, вывоз асфальтобетонного лома;
- контроль качества ремонтных работ;
- снятие ограждений.

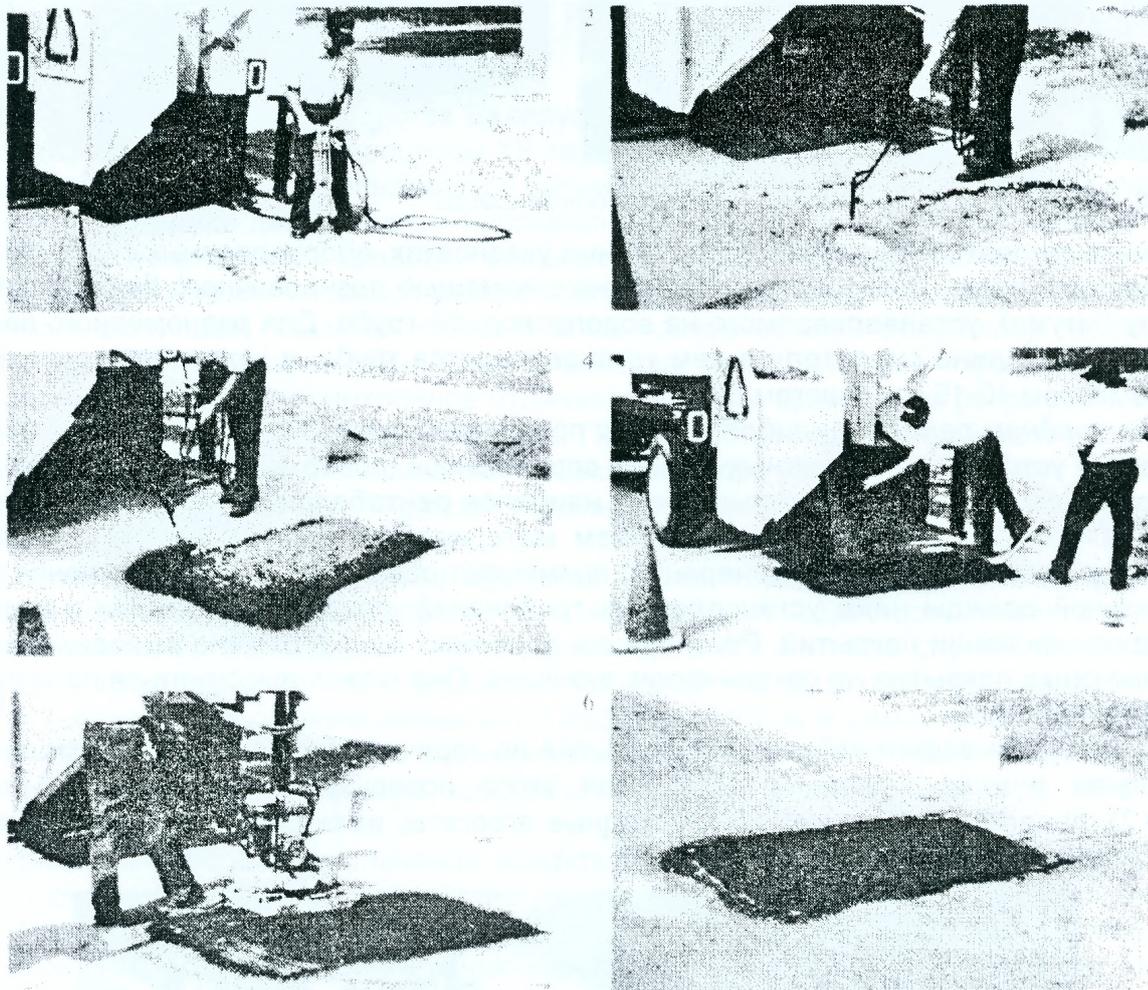


Рис. 29.5. Технология ямочного ремонта: 1 – вырубка «карты»; 2 – очистка «карты» сжатым воздухом; 3 – огрунтовка стенок и дна; 4 – укладка и разравнивание ремонтного материала; 5 – уплотнение; 6 – общий вид отремонтированной выбоины

Чаще всего *ямочный ремонт* выполняется с использованием горячей литой асфальтобетонной смеси, которая благодаря своим особенностям и специфике средств доставки и укладки позволяет вести ремонт дорожных покрытий при температуре воздуха до минус 10°C. Средство доставки литой смеси представляет собой специальную машину в виде термоса-миксера, смонтированного на прицепе или шасси грузового автомобиля или на самоходном шасси (рис. 29.6). Термос-миксер обеспечивает: прием готовой смеси с температурой 200-220°C из мешалки или из перегрузочного бункера асфальтобетонной установки; поддержание температуры литой смеси в пределах 200-220°C с момента загрузки до выдачи на объекте работ; постоянное перемешивание смеси в пути, исключающее ее расслоение; порционную выгрузку смеси с варьированием скорости ее выдачи; распределение смеси по ремонтируемой карте с помощью поворотного лотка.

Наиболее перспективными и экономически выгодными являются технологии, позволяющие в течение года выполнять работы с использованием *холодной ремонтной смеси*. Эта смесь, содержащая минеральный материал подобранного гранулометрического состава, воду и жидкое органическое вяжущее, готовится и укладывается в холодном состоянии. При ее приготовлении можно применять местные минеральные материалы, в том числе отходы камнедробления, пески. Лучшие результаты обеспечиваются при использовании карбонатных материалов с максимальной величиной зерен 20 мм.

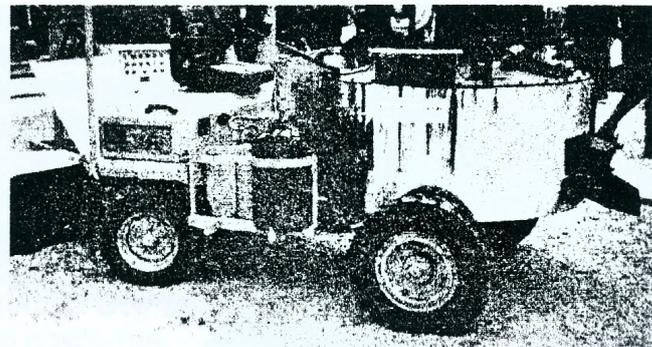


Рис. 29.6. Термос-миксер на прицепе и на самоходном шасси

Смесь готовят на асфальтосмесительных установках, оборудованных системой подачи и дозирования воды. Дозировать воду можно с помощью дозирующего бачка (аналогично дозатору битума), устанавливаемого на водопроводной трубе. Для равномерного распределения воды по длине смесителя в нем устанавливается труба, в которой сверлятся отверстия диаметром 10-15 мм с шагом 50 мм.

При среднем ремонте наиболее часто приходится сталкиваться регенерацией дорожных одежд и устройством защитных слоев и слоев износа (поверхностной обработкой).

При восстановлении дорожных одежд наиболее рентабельными оказываются методы, связанные с максимальным использованием материалов старого покрытия и основания. Технологию восстановления (регенерации) применяют обычно в условиях снижения прочности дорожной одежды ниже установленных требований, при растрескивании и недопустимом деформировании покрытий. Регенерация дорожных одежд обычно выполняется на дорогах, имеющих покрытия на органических вяжущих. Она может выполняться по холодной и горячей технологиям.

Регенерация асфальтобетонных покрытий по горячей технологии осуществляется по технологиям *ремикс* и *ремикс плюс*. Для этого используются специальные машины (рис. 29.7), представляющие собой самоходные агрегаты, имеющие блок горелок для разогрева покрытия.

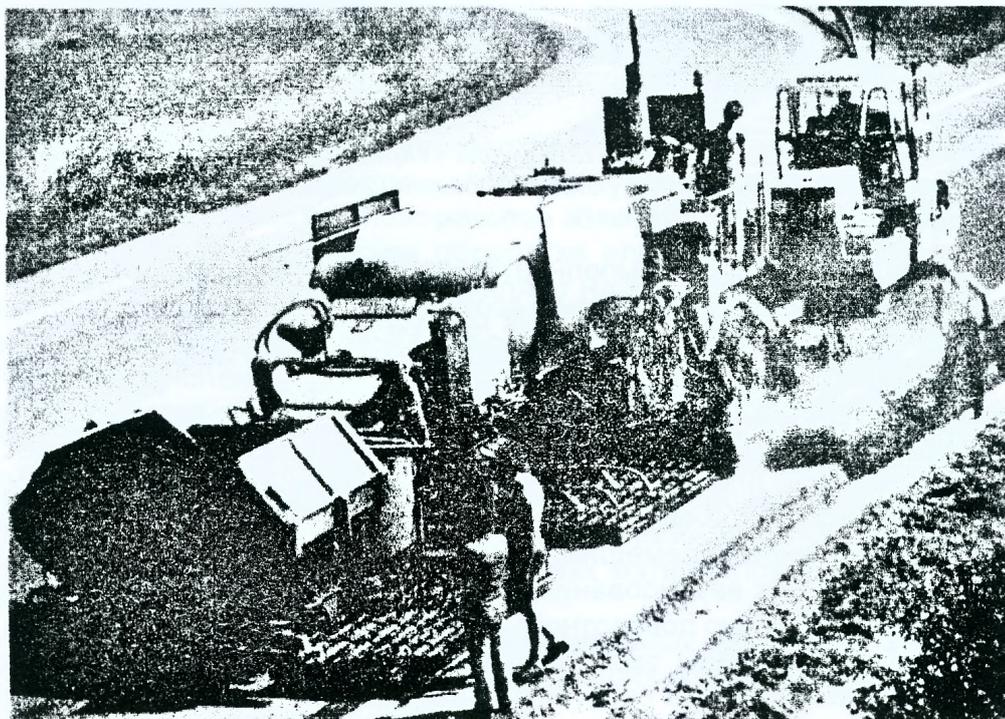


Рис. 29.7. Ремиксер в процессе работы

Регенерация асфальтобетона может осуществляться и в стационарных условиях асфальтобетонного завода (АБЗ). Для этого старое покрытие разрушается фрезерными машинами, либо с помощью гидравлических молотов. Полученный в результате фрезерования асфальтогранулят перевозят самосвалами на АБЗ, где его используют в процессе пригото-

ления новых смесей. Регенерация асфальтобетона на АБЗ связана с транспортными перевозками и высокими энергозатратами на сушку и нагрев минералов. Поэтому в последнее время отдается предпочтение регенерации на месте производства дорожных работ и применению холодных технологий регенерации, отличающихся от горячих технологий применением холодных фрез и фрезерных барабанов с наконечниками из карбидного сплава.

Обобщая зарубежный опыт холодной регенерации (ХР), можно выделить следующие варианты реализации данной технологии: «Новакол», «Режелаш», «Ресикол», «Факир», «Флексосим» и др.

В настоящее время на дорогах Беларуси применяются комбинированные автопоезда, позволяющие выполнять все процессы ХР за один проход. При этом для укрепления покрытия одновременно может использоваться битумная эмульсия и цементно-водная суспензия.

Можно выделить два основных направления развития холодной регенерации – совершенствование механических средств и расширение видов используемых вяжущих.

Одним из основных способов ремонта автомобильных дорог с усовершенствованными и переходными типами покрытий можно считать *поверхностную обработку*, которая имеет два основных направления в технологии устройства: раздельное и синхронное распределение материалов. При этом синхронное отличается малым временным разрывом между распределением вяжущего и щебня – около 1 с. Поверхностной обработкой можно считать также технологии «Сларри сил», «Савалко», «Секмер» и др., которые позволяют восстанавливать верхний слой дорожного покрытия, используя органоминеральные композиции различных составов.

Шероховатость поверхности проезжей части – один из важнейших транспортно-эксплуатационных показателей дороги, обуславливающий надежность контакта колес автомобиля с поверхностью покрытия. Характеристикой этого контакта служит величина сопротивления скольжению шины по поверхности проезжей части, которая оценивается коэффициентом сцепления. Дорожные покрытия из асфальтобетона и цементобетона при сухом их состоянии обеспечивают высокие значения коэффициента сцепления ($> 0,6$). На мокрых и увлажненных покрытиях величина коэффициента сцепления снижается в 1,5-3 раза по сравнению с сухими.

Основным способом *увеличения коэффициента сцепления* автомобильной шины с мокрым покрытием является устройство на нем *слоев износа с шероховатой поверхностью*. В процессе эксплуатации такой поверхности ее шероховатость постепенно уменьшается в результате износа и втапливания зерен щебня в верхний слой покрытия. Интенсивность износа или втапливания зерен щебня в верхний слой асфальтобетона обусловлена характеристиками движения транспортных средств, гранулометрическим составом и качеством применяемых материалов, а также твердостью дорожного покрытия и вязкостью вяжущих, используемых при устройстве поверхностной обработки. Для повышения сроков службы шероховатых слоев износа выбор требуемых материалов, параметров технологического процесса и способов их устройства следует производить с учетом состояния существующих дорожных покрытий, характеристик движения транспортных средств и погодноклиматических особенностей района, в котором расположена автомобильная дорога. Классификация дорожных покрытий по шероховатости в зависимости от средней глубины впадин (h_{cp}) следующая: гладкие G_l (0,02-0,25 мм), мелкошероховатые $M_{шер}$ (0,25-1,5 мм), среднешероховатые $C_{шер}$ (1,0-3,0 мм), крупношероховатые $K_{шер}$ (2,0-4,0 мм).

Шероховатые слои устраивают методом поверхностной обработки, методом втапливания щебня или из литых эмульсионно-минеральных материалов (слои Сларри Сил, микроасфальт). Они не входят в расчетную толщину покрытия и подлежат периодическому восстановлению в процессе эксплуатации дороги. Тип покрытий по шероховатости поверхности назначают в зависимости от категории дороги: для I категории – $C_{шер}$ или $K_{шер}$; для II-V категорий – $C_{шер}$, $K_{шер}$ или $M_{шер}$.

По конструкции шероховатые слои, устроенные методом поверхностной обработки, подразделяют на одиночные, в том числе с двукратной россыпью щебня, и двойные.

Одиночная поверхностная обработка включает слой органического вяжущего и слой фракционированного щебня (рис. 29.8а). Одиночная поверхностная обработка с двукратной россыпью щебня включает слой органического вяжущего и два слоя фракционированного щебня (рис. 29.8б). Двойная поверхностная обработка состоит из двух слоев органического вяжущего и двух слоев фракционированного щебня (рис. 29.8в).

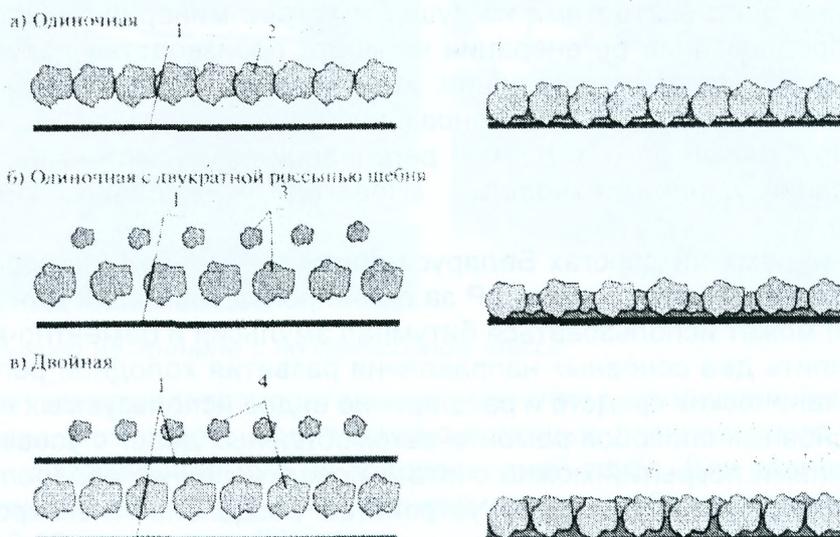


Рис. 29.8. Конструкции поверхностной обработки: 1 – органическое вяжущее; 2, 3, 4 – фракционированный щебень

Устройство одиночного или двойного шероховатого слоя поверхностной обработки производят комплектом машин, в состав которого входят автогудронатор (ДС-39А, ДС-142, АРБ-7, «Secmair» рис. 29.9) для розлива вяжущего; навесной, прицепной или самоходный щебнераспределитель (ПЩР-3,5, БД-130, «Secmair», рис. 29.10), обеспечивающий распределение щебня по нанесенному слою вяжущего на покрытии; самоходные катки на пневматических шинах (ГРВ-101, «Road star», «Sakai», рис. 29.11) для уплотнения шероховатого слоя. Для устройства шероховатых слоев может быть использован также комбайн («Secmair»), позволяющий практически одновременно производить распределение органического вяжущего и щебня, а также предварительную прикатку щебня (рис. 29.12).

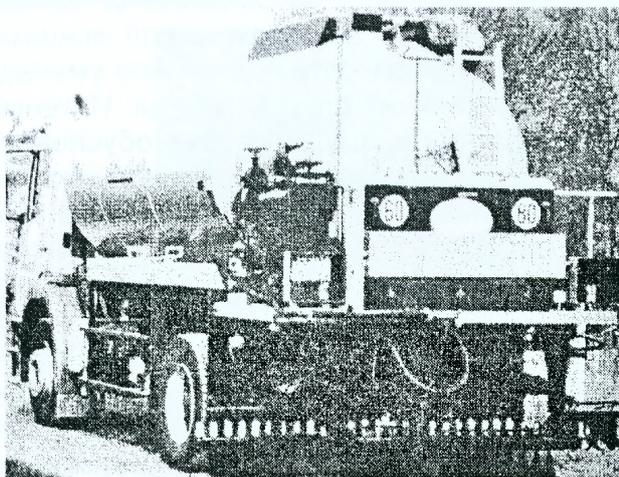


Рис. 29.9. Автогудронатор

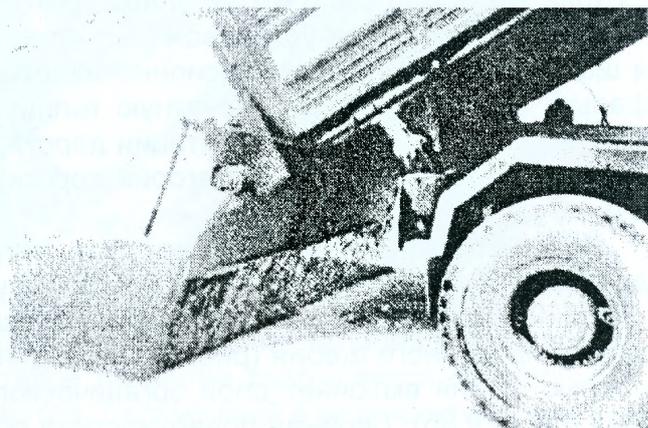
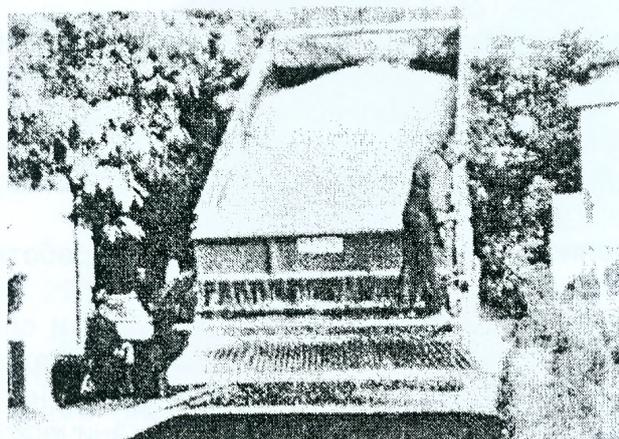


Рис. 29.10. Щебнераспределители

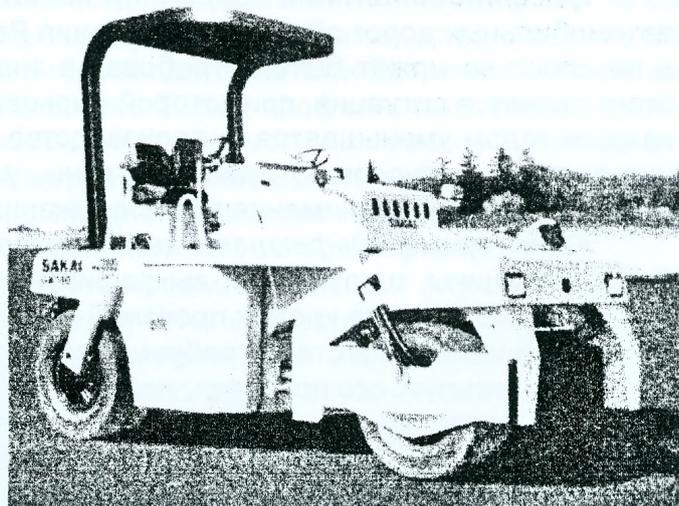


Рис. 29.11. Катки на пневматических шинах

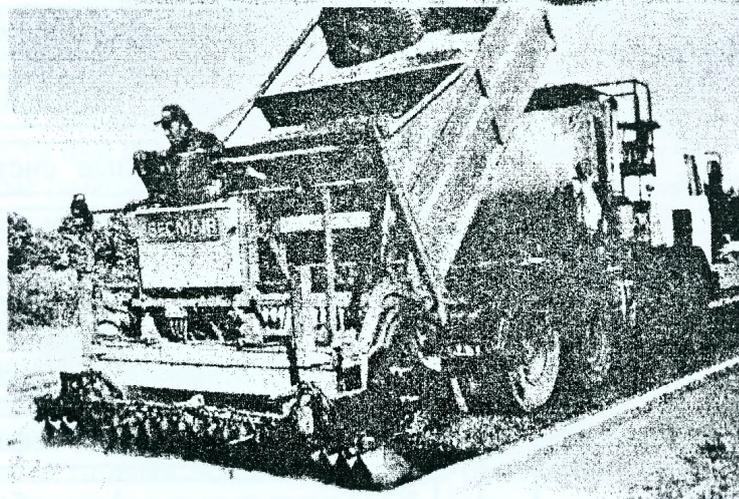
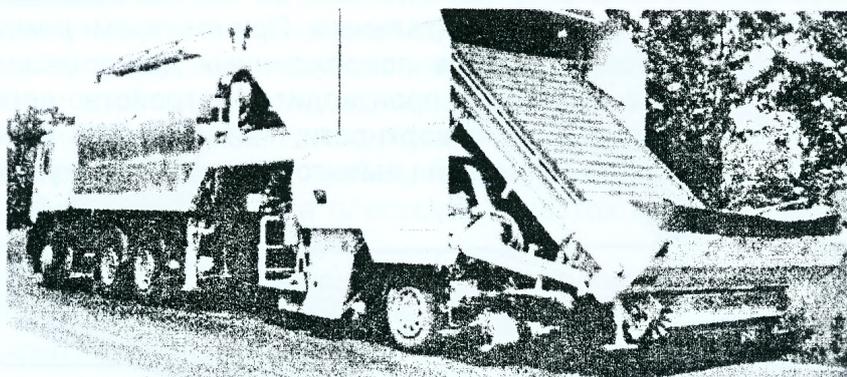


Рис. 29.12. Комбайны для устройства поверхностной обработки

В случае необходимости небольшого усиления дорожной одежды используются *тонкослойные асфальтобетонные покрытия*. Они представляют собой слои из специальных асфальтобетонов, устраиваемых в горячем состоянии на подгрунтовку из катионной модифицированной эмульсии, наносимой непосредственно перед укладкой асфальтобетонной смеси. Комбинация горячей асфальтобетонной смеси и холодной битумной эмульсии позволяет устраивать покрытия толщиной 10-15 мм, что недостижимо при укладке горячих асфальтобетонов по традиционной технологии. Тонкослойные покрытия применяются в качестве фрикционных слоев, слоев гидроизоляции и износа на асфальтобетонных и цементобетонных покрытиях, а также для удаления колеечности глубиной до 25 мм на асфальтобетонных покрытиях. Противопоказаниями к применению являются: недостаточная несущая способность конструкции дорожной одежды и деформации покрытия, вызванная незатухающей консолидацией грунтов земляного полотна или пластическими деформациями основания дорожной одежды.

Цементобетонные покрытия имеют относительно небольшой удельный вес среди автомобильных дорог общего пользования Республики Беларусь. Однако этот вид покрытий в перспективе может быть истребован в значительно больших объемах. Доказательством этого является ситуация, при которой сырьевая база для получения органических вяжущих с каждым годом уменьшается, а производство цемента может быть увеличено без привлечения внешних ресурсов. С другой стороны, уже существующие цементобетонные покрытия требуют серьезного внимания при содержании и ремонте автомобильных дорог.

Характерными *дефектами цементобетонных покрытий* являются: взбугривание, выбоины, трещины, шелушение, выкрашивание; частичное или полное разрушение плит; их просадка; разрушение кромок проезжей части, граней плит, укрепленных обочин; деструкция существующих и отсутствие требуемых швов сжатия и расширения; недостаточные сцепные качества покрытия, его просадки; недостаточная прочность дорожной одежды и др.

Опыт эксплуатации дорог с цементобетонным покрытием позволил выявить причины, приводящие к появлению дефектов, которые подразделяются на конструктивные, технологические и эксплуатационные.

В зависимости от степени дефектности и общего эксплуатационного состояния технико-экономически обосновывается способ ремонта (рис. 29.13). Как и для других типов покрытия, он может быть текущим, средним и капитальным. При *текущем ремонте* устраняются отдельные дефекты, улучшается состояние поврежденных деформационных швов; при *среднем* устраняются возникшие дефекты и производится устройство слоя износа по соответствующей технологии модернизации поверхности; *капитальный ремонт* затрагивает всю конструкцию дорожной одежды с заменой цементобетонных плит, усилением прочности или уширением проезжей части.

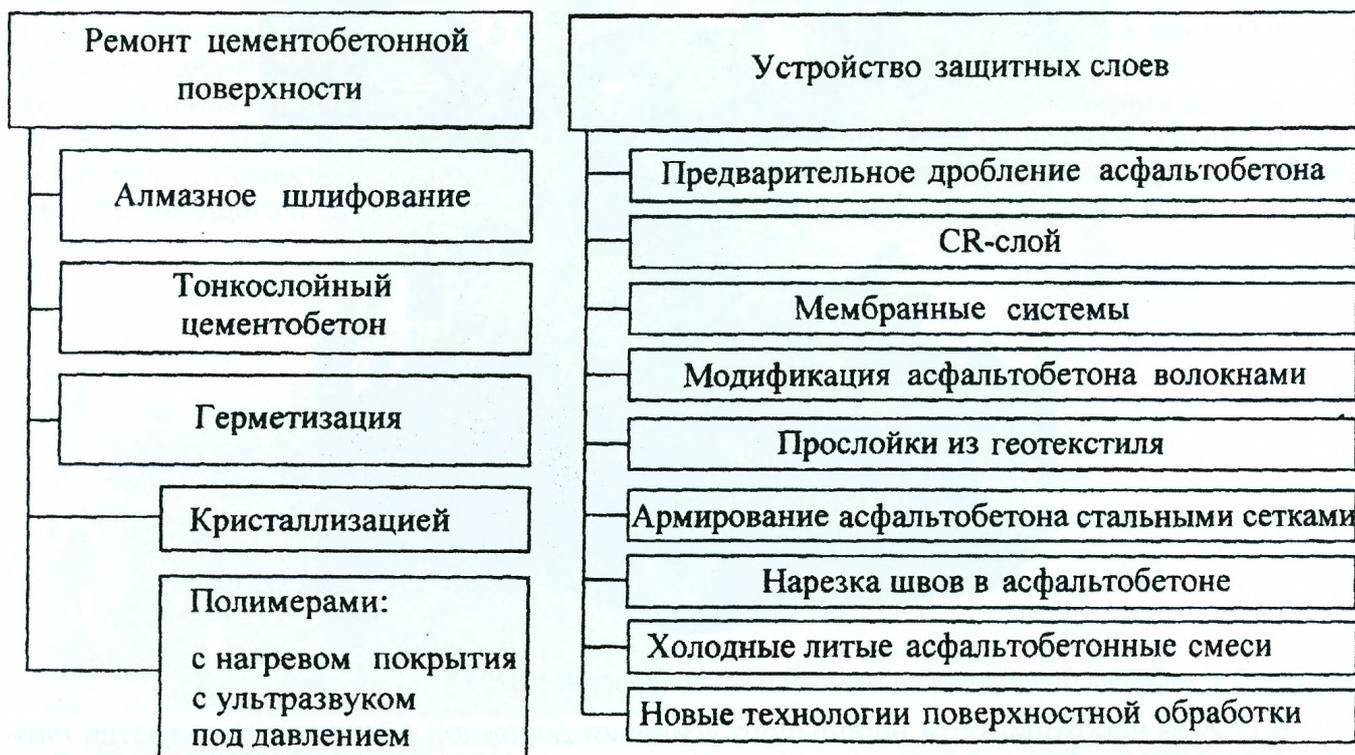


Рис 29.13. Основные технологии ремонта цементобетонных покрытий

Гравийные и щебеночные покрытия имеют широкое распространение как на сети дорог общего пользования, так и на многих ведомственных дорогах. По состоянию на 1 января 2002 г. на республиканских дорогах черные гравийные покрытия составляли 293 км, гравийные – 372 км, на местных дорогах соответственно – 1112 и 22357 км. В целом дороги с гравийным покрытием составляют около 30% от общей протяженности дорог в Республике Беларусь.

Поддержание гравийных автомобильных дорог в требуемом эксплуатационном состоянии неразрывно связано с их ремонтом, который осуществляется с использованием и традиционных технологий, и новых, основанных на применении вяжущих, обеспыливающих и стабилизирующих материалов.

Текущий ремонт гравийных и щебеночных покрытий выполняется в процессе их содержания. Небольшие просадки, выбоины и ямы на гравийном покрытии устраняются путем профилирования. Профилирование поверхности производится автогрейдером, а уплотнение – тяжелыми (до 10 т и более) катками на пневмошинах. Перед профилированием поверхностный слой увлажняется водой (6-12 л/м²) с помощью поливочных машин. Частично изношенные участки гравийного покрытия профилируют автогрейдером с небольшой добавкой гравийного материала. Непосредственно перед профилированием производится увлажнение водой (6-8 л/м²) покрытия поливочными машинами или автоцистернами.

При среднем ремонте производится сплошное профилирование и улучшение проезжей части грунтовых дорог гравием, щебнем, шлаком, а также вяжущими, битумом, битумной эмульсией, дегтем, известью, цементом и обеспыливающими материалами. С восстановлением изношенного слоя гравийных и щебеночных покрытий осуществляется выравнивание поперечного профиля и обеспечивается плавное сопряжение покрытия с обочинами. Расход нового материала достигает 500 м³ на 1 км дороги. Кроме того, может производиться подъем небольших по протяженности участков земляного полотна на сырых и снегозаносимых местах, устройство виражей на кривых и уширение дорожного покрытия на опасных для движения участках дорог.

В зависимости от состояния проезжей части и проектных решений объем работ по *капитальному ремонту* гравийных и щебеночных типов дорожных покрытий может быть различным. При полном восстановлении дорожного покрытия учитывается перспективная интенсивность движения. Отдельные конструктивные слои и дорожная одежда в целом приводятся в соответствие с расчетными требованиями. Здесь возможны утолщение покрытия, уширение проезжей части, постройка площадок в местах кратковременного отдыха и размещения дорожных павильонов.

При *капитальном ремонте* покрытий, обработанных органическим вяжущим (конструктивных слоев) производят их утолщение, улучшение проезжей части, устройство более совершенного покрытия поверх существующего, при необходимости с перестройкой и усилением основания, а также устройство дорожных одежд на вновь перестраиваемых участках дорог в пределах норм, соответствующих технической категории, установленной для ремонтируемой дороги. При этом дорожные одежды устраивают на транспортных развязках, тротуарах, пешеходных и велосипедных дорожках, автобусных остановках и площадках для стоянки автотранспорта вне проезжей части дорог.

При капитальном ремонте щебеночных и гравийных покрытий могут быть использованы технологии смещения материалов непосредственно на дороге.

При *ремонте земляного полотна* восстанавливают его деформированные и разрушенные элементы. При ремонте неукрепленных обочин профилируют и планируют их поверхность с приданием требуемого поперечного уклона (до 50-60‰). Для подсыпки обычно используют супесчаный, песчаный грунт или аналогичный тому, из которого отсыпана насыпь. На укрепленных обочинах заделывают разрушения покрытий и нижних слоев укрепления. Эти работы целесообразно совмещать с ремонтом проезжей части. При размыве боковых канав ливневыми и талыми водами, подмыве оснований и выемок их укрепляют сборными бетонными элементами или монолитным бетоном, мощением, дернованием и другими способами с учетом скорости течения и объема перемещаемой воды, вида грунта.

Для снижения расхода материалов на укрепление земляного полотна и повышения срока его службы в конструкции вводят прослойки из *синтетических материалов тканого или нетканого типов*. При сильном увлажнении насыпей грунтовыми водами на границе полосы отвода следует устраивать продольные дренажные прорези. В случае необходимости ремонтируют дренажные системы, усиливая щебеночные фильтры и промывая заилившиеся участки с помощью гидромелиоративных машин. В отдельных случаях заменяют отдельные дрены, ремонтируют колодцы, и меняют фильтровальную обсыпку.

На пучинистых участках частично заменяют грунт, инъецируют растворы закрепляющих материалов, выполняют очистку дренажных устройств.

При ремонте земляное полотно может быть *уширено* как с одной, так и с двух сторон. Двухстороннее уширение выполняется в случае, когда не изменяется положение оси дороги. При этом с двух сторон досыпают откосы насыпей и срезают откосы выемок.

Откосы земляного полотна обычно укрепляют посевом трав, причем его сочетают с укладкой синтетических материалов, предотвращающих вымывание семян и защищающих

откос от эрозии на период формирования травяного покрова. В отдельных случаях на откосах укладывают бетонные сборные решетчатые конструкции, ячейки которых заполняют каменным материалом или растительным грунтом с посевом трав. Для укрепления откосов высоких насыпей в условиях Республики Беларусь наиболее эффективно применение *ребристых вибропрессованных плит* (рис. 29.14), которые обеспечивают необходимую устойчивость откосов при сравнительно небольших затратах труда на укладку.

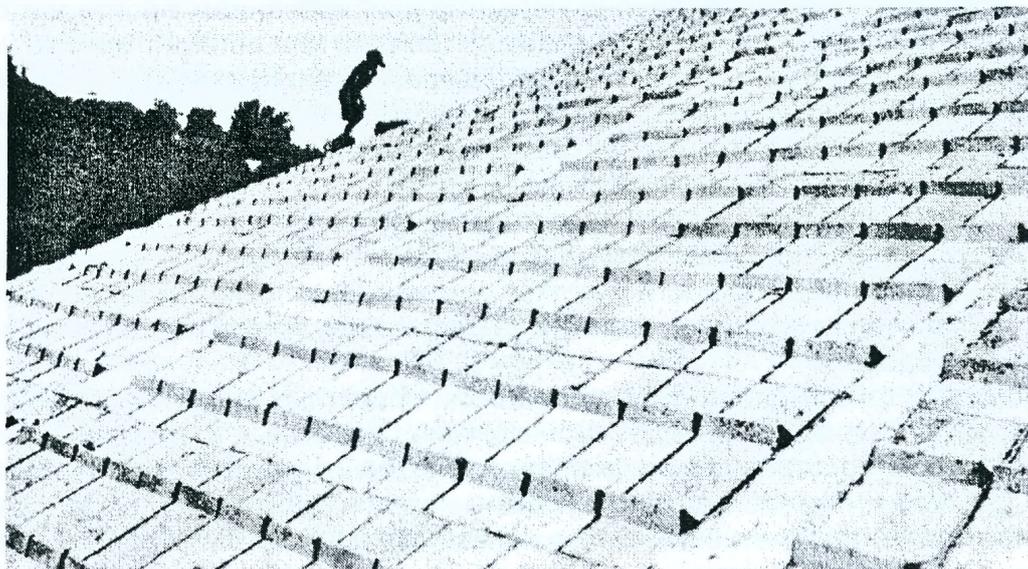


Рис. 29.14. Укрепление откосов ребристыми плитами

Основными задачами **текущего ремонта** земляного полотна являются: исправление отдельных мелких повреждений земполотна, водоотводных сооружений и резервов; обеспечение местной и общей устойчивости, геометрических форм насыпей и выемок, качества поверхности обочин и откосов; частичная планировка откосов; ликвидация съездов в неустановленных местах.

К основным работам, выполняемым при **среднем ремонте** земполотна, относятся: сплошная очистка водоотводных канав, устройства новых канав; увеличение высоты насыпи; ликвидация отдельных пучинистых участков общей протяженностью не более 10% протяженности обслуживаемой дороги; подсыпка, срезка, планировка обочин и т.п.

При **капитальном ремонте** земполотна предусматривается: устройство обходов населенных пунктов и спрямлений на отдельных участках при соответствующем ТЭО; переустройство пучинистых и оползневых участков; устройство и переустройство транспортных развязок в одном уровне; рекультивация карьеров, резервов и ликвидируемых участков дорог; переустройство земполотна и доведение его геометрических размеров до соответствующих норм и т.п.

Элементы обустройства автомобильной дороги, включающие водоотводные и водопропускные сооружения, ограждающие конструкции, дорожные знаки, информационные щиты, сигнальные столбики и др. конструкции, подвергаются атмосферному воздействию, коррозии при попадании на них растворов противогололедных материалов, наездам транспортных средств и другим воздействиям негативных факторов, приводящим к их деформациям и разрушениям.

К **текущему ремонту** относятся: установка недостающих дорожных знаков и ограждений; ремонт, окраска, замена отдельных дорожных знаков, направляющих устройств и секций ограждений; устройство и ремонт беседок, скамеек, устройство присыпных берм и т.п.

К **среднему ремонту** относятся: устройство горизонтально и вертикальной разметки; устройство и ремонт барьерного ограждения; оформление и благоустройство отдельных развязок, примыканий, пересечений; ремонт и устройство съездов и переездов в одном уровне, автобусных остановок, площадок отдыха; устройство и восстановление снегозадерживающих зеленых полос, посадка и восстановление декоративных насаждений; устройство остановочных и посадочных площадок и т.п.

К **капитальному ремонту** относятся: устройство новых и переустройство существующих пересечений и примыканий, переходно-скоростных полос; устройство электроосвеще-

ния на отдельных участках дорог, мостах и путепроводах; устройство и оборудование пунктов по учету движения и т.п.

Практически на дорогах Беларуси большая часть объемов ремонтных работ инженерного обустройства дороги (более 60%) приходится на средний ремонт.

Чтобы представить объемы системы инженерного обустройства, приведем данные, относящиеся к Минской кольцевой автомобильной дороге. При общей длине 56,2 км ее обустройство включает: 140,1 км металлических барьерных ограждений, 13 автобусных остановок, 1775 дорожных знаков, 2539 пог.м шумозащитных экранов высотой от 2 до 6 м, 5 площадок для взвешивания автомобилей, 3 метеостанции и др. Ремонт этих элементов сугубо индивидуальный и требует большого объема ручного труда, который может быть сокращен активным применением средств малой механизации. Для выполнения данных работ обычно используются передвижные мастерские, имеющие в своем составе электростанцию и комплекс специальных электроинструментов (рис. 29.15). Иногда применяют специализированные машины многопрофильного назначения типа «Унимог» (рис. 29.15), позволяющие с помощью навесного оборудования выполнять комплекс ремонтных работ.

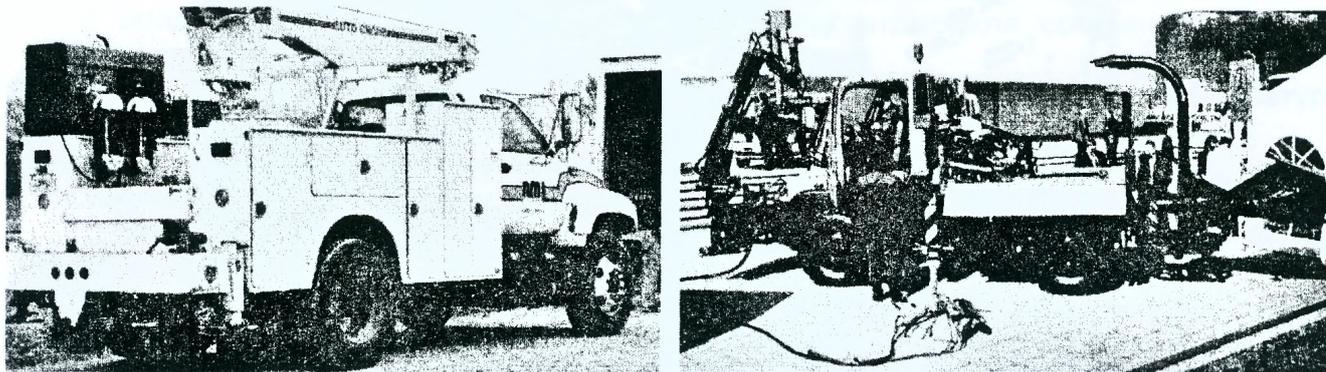


Рис. 29.15. Передвижная мастерская (слева) и машина «Унимог» (справа) с навесным оборудованием

После продолжительных дождей, сильных ливней и весной после таяния снега водоотводные и водопропускные сооружения обычно имеют повреждения. Крупные размывы иногда сопровождаются смещением и разрушением конструкций (оголовков и звеньев труб, плиток мощения, лотков быстротоков и др.), при этом требуется выполнение работ по ремонту земляного полотна и переукладке деформированных и разрушенных элементов. В этом случае работы выполняются с применением специальных машин для разрезания, сверления и разрушения бетона.

Глубокие сколы устраняют с помощью полимербетонных композиций на основе эпоксидных смол. Для восстановления целостности растрескавшихся элементов используют метод инъектирования. Инъектирование ведут через штуцеры, заделанные в отверстия конструкции. Для этого обычно используют ремонтные составы на основе эпоксидных смол. При заполнении трещин шире 1мм, щелей и пустот применяют водоцементное тесто.

К **техническим средствам организации дорожного движения** относятся: дорожные знаки, ограждения, дорожная разметка, светофоры и направляющие устройства на автомобильных дорогах. Основными проблемами при эксплуатации этих технических средств организации дорожного движения является утрата яркости и светоотражающей способности.

Сила света – отношение светового потока, направляемого от источника в пределах элементарного пространственного угла (1стерадиан), охватывающего данное направление, к этому углу. Единица измерения силы света – кандела (кд). Единица измерения яркости – кд/м² (кандела/метр кв.). Прежнее название *нит*. Ранее в качестве единицы измерения использовался Стильб (сб). 1 сб = кд/см².

Обычно применяются дорожные знаки со световозвращающей поверхностью. Средняя яркость элементов изображения знака должна быть: (240±40) кд/м² для белого цвета; (35±10) кд/м² для красного цвета; (150±30) кд/м² для желтого цвета; (50±15) кд/м² для зеленого цвета; (20±5) кд/м² для синего цвета. Для дорог I-III категорий удельный коэффициент силы света для знаков со световозвращающей поверхностью при угле наблюдения $\alpha=20'$ и

угле освещения $\beta=5^\circ$ должен соответствовать нормативным значениям (от 2 до 180 кд/(лк·м²)) в зависимости от цвета (синий – белый).

Под воздействием погодно-климатических факторов фотометрические характеристики дорожных знаков изменяются в худшую сторону и при нарушении вышеуказанных требований их ремонтируют путем замены покрытия новыми световозвращающими материалами. При ремонте устраняются механические повреждения опор и элементов крепления знаков.

Дорожная разметка должна быть восстановлена, если в процессе эксплуатации ее износ по площади (для продольной разметки износ измеряется на участке протяженностью 50м) составляет более 50% при выполнении разметки краской и более 25% – термопластичными материалами. При повторном нанесении разметки не должно оставаться видимых следов старой разметки. Восстановление разметки осуществляется специальными машинами (рис. 29.16).

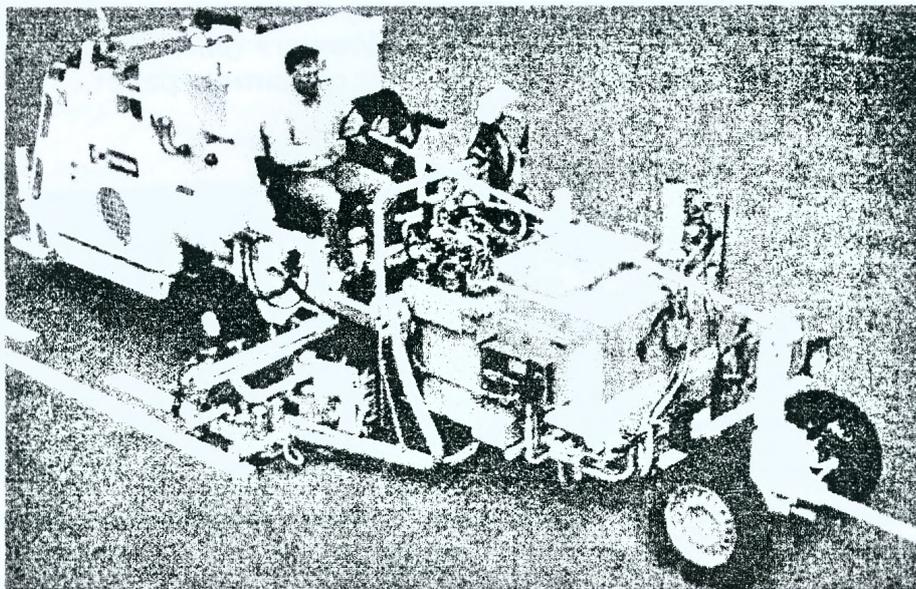


Рис. 29.16. Машина для разметки дорог

Ремонт вертикальной разметки осуществляется в основном ручным способом по мере разрушения и потери свойств ниже нормативных пределов (удельный коэффициент силы света для белого 100 мкд/(лк·м²), для желтого – 60 мкд/(лк·м²)). Не требуют разметки оцинкованные поверхности конструктивных элементов металлических ограждений.

Окрашенные металлические ограждения и стойки дорожных знаков в процессе эксплуатации корродируют и разрушаются. Процесс коррозии значительно ускоряется в случае применения хлоридсодержащих противогололедных материалов при зимнем содержании дорог. Для предотвращения коррозии ограждающий брус периодически окрашивается, а в случае разрушения слоя краски очищается с помощью пескоструйных или дробеструйных аппаратов для повторного нанесения защитного слоя. В этом случае часто используют цинкнаполненные протекторные грунтовки, цинкнаполненные краски, методы холодного и горячего цинкования.

Светофоры, светящиеся и направляющие устройства ремонтируются в случае нарушения их нормального режима работы. Ремонт связан с электротехническими и наладочными работами, выполняемыми специализированными подразделениями.

Более детально различные виды ремонта и содержание автомобильных дорог, технология их выполнения, машины и механизмы рассмотрены в курсе «Эксплуатация автомобильных дорог, мостов и транспортных сооружений» и регламентируются РД 0219.1.03-97.

30. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

30.1. Воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду

Автомобильный транспорт создает значительную нагрузку на экологическую систему, как придорожной полосы, так и целых городов. Он используется не только для перевозки пассажиров и грузов, но при выполнении различных видов дорожных работ, связанных как со строительством новых автомобильных дорог, так и с реконструкцией и ремонтом существующих. Возможно с инженерной точки зрения выделение нескольких компонентов экологической системы, на которые автомобильный транспорт оказывает наибольшее влияние.

30.1.1. Загрязнение атмосферного воздуха

Загрязнение воздуха, вызванное автотранспортом, подчиняется определенному циклу:

- 1) эмиссия загрязнителей (в зависимости от типа автомобиля, состояния двигателя, качества топлива);
- 2) распространение в воздухе (в зависимости от локальной топографии, температуры, атмосферных осадков, ветра);
- 3) восприятие (поглощение) человеком, почвой, флорой и фауной.

Основными загрязнителями природной среды являются:

- 1) окислы азота (NO_x), оказывающие негативные действия на дыхательную систему человека и жизнедеятельность растений (действуют как окислители);
- 2) углеводороды (CH), образующиеся при неполном сгорании топлива и включающие токсичные, раздражающие, канцерогенные органические химические соединения;
- 3) моноокись (окись) углерода (CO), сохраняющаяся в атмосфере до двух месяцев, соединяется с гемоглобином крови человека и препятствует переносу кислорода (дизельные двигатели выбрасывают меньше CO и CH чем бензиновые);
- 4) двуокись серы (SO_2) вызывает дыхательные проблемы, действует на растения (кислотные дожди), водный обмен, строительные материалы;
- 5) твердые частицы, включающие взвешенные в воздухе частицы дизельного топлива, материалов, образующихся в результате трения и износа шин, тяжелые металлы, пыль;
- 6) свинец (Pb), повышающий при добавлении к топливу октановое число и способствующий смазке двигателя, но оказывающий значительное отрицательное действие на организм и скапливающийся, в основном, на придорожной полосе.

Выхлопные газы содержат около 200 различных соединений, которые по характеру воздействия на организм человека подразделяются на семь групп: нетоксичные (азот, кислород, водяные пары, углекислый газ); токсичные (окись углерода); окислы азота; углеводороды; окислы серы; соединения свинца и сажа.

Состав выхлопных газов зависит от типа двигателя, его технического состояния и используемого топлива (табл. 30.1).

Таблица 30.1. Состав основных компонентов выхлопных газов автомобиля, %

Компоненты	Состав выхлопных газов	
	карбюраторных	дизельных
Азот N_2	74-77	76-78
Кислород O_2	0,3-8,0	2-18
Пары воды H_2O	3,0-3,5	0,5-4,0
Диоксид углерода CO_2	5,0-12,0	1-10
Оксид углерода CO	0,5-12,0	0,01-0,50
Оксид азота NO_x	0,007-0,8	0,002-0,5
Углеводороды неканцерогенные C_nH_m	0,2-3,0	0,009-0,5
Альдегиды	0,0-0,2	0,01-0,009
Сажа	0,0-0,4	0,01-1,1
Бенз(а)пирен – 3, 4	до 10-20	до 10

Кроме газообразных, выхлопы автомобилей содержат вещества в виде паров или аэрозолей, в которых содержатся различные углеводороды – соединения типа C_nH_m .

Вредные выбросы сосредотачиваются, в основном, у поверхности земли, где их концентрация максимальная. Это особенно опасно при туманах. Специфическое сочетание дыма и тумана (смог) особенно опасно для здоровья человека.

30.1.2. Шумовое загрязнение

Транспортный шум – это совокупность звуков, возникающих в процессе работы двигателей транспортных средств и их движения. Он характеризуется звуковым давлением, скоростью распространения и интенсивностью. В технической акустике транспортный шум принято оценивать в относительных логарифмических единицах (белах и децибелах), основной характеристикой при этом является уровень силы звука (уровень шума).

Человеческое ухо обладает диапазоном звуковой чувствительности от 20 до 120 дБ, что соответствует изменению интенсивности звуковой энергии в 10 раз. Увеличение силы звука на 10 дБ соответствует увеличению громкости примерно в 2 раза. Уровень шума менее 55 дБ не причиняет вреда человеку, 55-60 дБ – причиняет неудобства, 60-65 дБ – вызывает неприятные ощущения; более 65 дБ – причиняет существенные неудобства.

При практической оценке уровня источников транспортного шума получены следующие результаты:

- автомобильный транспорт (на расстоянии 7,5 м) – 77-83 дБ;
- легковые автомобили – 77 дБ;
- автобусы и грузовые автомобили – 78-83 дБ;
- железнодорожный транспорт (на расстоянии 20 м) – 90-101 дБ;
- воздушный транспорт (под трассой) – 98-105 дБ.

В Беларуси, согласно принятым стандартам, допустимый шум уличного движения у стен домов должен быть не более 50 дБ днем и не более 40 дБ – ночью. Общий уровень шума в жилых домах должен не превышать днем – 40 дБ, ночью – 30 дБ.

30.1.3. Эрозия грунтовых поверхностей

Проблемы эрозии имеют множество причин и являются следствием постоянного взаимодействия между почвенными структурами, климатическими условиями и водными процессами. В некоторых случаях эрозия (разрушение почвенного покрова) может иметь последствия, выходящие далеко за пределы полосы отвода.

Основные причины эрозии:

- стабильность откосов может быть нарушена в процессе выемки грунта или устройства насыпи;
- крутизна новых откосов, дефицит дренажа и изменение режима водных потоков может привести к оползням;
- пустая порода, образовавшаяся при земляных работах, может заглушить естественную растительность, способствовать усилению эрозии.

Меры по борьбе с эрозией, как водной, так и ветровой, сводятся к посадке растительности, укреплению откосов и устройству дренажных и водоотводных систем.

30.1.4. Загрязнение воды

Проблемы загрязнения воды обычно возникают на дорогах высоких категорий (I-III) и должны учитываться при проектировании дорожных объектов и технологических процессов. В первую очередь, учитываются:

- близость водозаборов питьевой воды;
- границы с зонами большой биологической ценности;
- близость рек с минимальными уровнями воды;
- пересечение почв с ограниченной фильтрующей способностью.

Чувствительность к изменению водных потоков может быть физической (влияние на гидрологию и гидрогеологию), биологической (ареалы обитания фауны) и человеческой (рекреация и водопотребление).

Основными загрязнителями водных источников являются: пыль (при интенсивности 1000 авт./сут – содержание 5-10 кг/сут/км), свинец (8-14 кг/сут/км), цинк (4 кг/сут/км), углеводороды (0,1-0,5 кг/сут/км). Меры по нейтрализации выбираются с учетом местных особенностей.

30.1.5. Загрязнение почвы

Загрязнение почвы особенно проявляется при интенсивности движения более 7000 авт./сут (I категория). Такие металлы как хром, свинец и цинк остаются в почве на сотни лет. Загрязнение почвы металлами сильно локализовано. Например, на магистральной дороге, построенной более 25 лет назад, максимальная токсичность наблюдается на придорожной полосе в 10 м, в уже на удалении 50 м от дороги концентрация металлов-загрязнителей практически не отличается от естественного подпочвенного уровня.

Меры по предотвращению загрязнения почвы сводятся к уменьшению полосы отвода (нарушению естественного почвенного покрова), своевременной посадке растений, обходу трассой экологически чувствительных участков и контролю скорости и расходов потоков весеннего половодья.

30.2. Рекультивация земель

Согласно СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги» во временное пользование дорожным организациям для размещения отвалов грунта из плодородного слоя и для проезда транспортных средств, осуществляющих его вывозку, отводятся определенные площади.

В табл. 30.2 приведены осредненные площади отвода земель для строительства автомобильной дороги на 1 км ее протяженности при поперечном уклоне местности менее 1:20. При уклонах от 1:20 до 1:10 площади постоянного отвода для дорог всех категорий, кроме III, увеличивают на 0,1 га, а дорог III категории – на 0,2 га.

Таблица 30.2 Осредненные площади отвода земель

Категория дороги	Число полос движения	Площадь временной полосы отвода, га/км, на землях	
		сельскохозяйственного назначения	непригодных для сельского хозяйства
I-а и I-б	8	1,8	2,3
	6	1,7	2,2
	4	1,6	2,1
II	2	1,4	2,0
III	2	1,3	2,0
IV	2	1,3	2,0
V	1	1,2	2,0

По завершении строительства или реконструкции эти земли подлежат рекультивации.

Рекультивация – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление продуктивности нарушенных земель и улучшение окружающих природных комплексов.

Различают два основных этапа рекультивации:

- 1) рекультивация земель для последующего целевого использования;
- 2) биологическая рекультивация, направленная на восстановление биотипа.

30.3. Меры по нейтрализации негативных воздействий автомобильных дорог на окружающую среду

Для снижения отрицательного воздействия автомобильного транспорта и дорожных работ на окружающую среду необходимо предусматривать адекватные меры по его нейтрализации (табл. 30.3).

Таблица 30.3. Виды негативных воздействий автомобильных дорог на окружающую среду и меры по их нейтрализации

Основные виды негативных воздействий	Профилактические и оперативные меры по нейтрализации
1	2
1. Увеличение осадочных отложений в водных потоках под воздействием эрозии со строительной площадки, земляного полотна, отвалов и отходов	Укрепление подверженных негативному воздействию поверхностей мульчей или тканью, заполнение подверженных эрозии поверхностей новым материалом
2. Загрязнение почвы и воды нефтью, смазкой, топливом и краской с машинных дворов и асфальтобетонных заводов	Сбор и циркуляция смазочных материалов; исключение случайных утечек посредством хорошей организации работ
3. Загрязнение воздуха асфальтобетонными заводами	Установка и обеспечение надежной эксплуатации оборудования контроля воздуха; установка соответствующих фильтров

Продолжение таблицы 30.3

1	2
4. Местные пылевые и шумовые загрязнения	Периодическая поливка водой и другими обеспыливающими материалами временных дорог; установка и правильное обслуживание глушителей на оборудовании
5. Загрязнение воздуха и шум от работы транспортных средств в населенных районах, через которые проходит магистраль (обычно – городские районы или густонаселенные сельские местности)	Устройство противозумных барьеров; соблюдение стандартов и правил эксплуатации двигателей; расширение возможностей общественного транспорта, его использования взамен транспорта личного пользования
6. Нарушение ландшафта за счет насыпей, глубоких выемок, разрезов, отвалов и карьеров	Соблюдение правил ландшафтного проектирования; рекультивация земель
7. Оползни, кучи, сбросы и другие перемещения земельных масс при строительстве, реконструкции и ремонте дорог	Правильное выполнение дренажных работ, основанное на предыдущих исследованиях, для снижения риска нежелательных явлений; прокладка трассы в обход потенциально нестабильных зон; стабилизация дорожной конструкции (подпорные стенки, габионы и т. д.)
8. Эрозия почвы ниже уровня дорожного полотна от концентрированных стоков из закрытых дренажей	Увеличение количества дренажных выходов, размещение дренажных выпусков таким образом, чтобы избежать каскадных эффектов; совмещение принимающих стыков поверхности с валунами, бетоном и другими укреплениями
9. Лесной опад и придорожный мусор	Создание свалок для отходов и мусора; утилизация отходов и мусора
10. Опасность вождения на участках дорог, где ведется строительство новой дороги или производятся ремонтные работы	Разработка в проектах необходимой маркировки дороги и ограждения мест производства работ; установка временных знаков и ограждений
11. Изменение поверхностного и почвенного дренажа (в местах, где прорези дорог пересекают водяные пласты, родники и т. д.)	Выполнение соответствующих дренажных работ
12. Разрушение вегетативного слоя и зоны естественной природы в полосе прокладки магистрали или ее реконструкции	Перепланировка с целью обхода исключительно ценных зон выявленных в процессе реализации проектов
13. Разрушение или повреждение наземного ареала обитания представителей дикой природы, биологических ресурсов или экосистем, которые должны быть сохранены	Прокладка трассы с учетом расположения чувствительных, уникальных в экологическом отношении районов
14. Изменение гидрологических режимов болот при строительстве дорог, нанесение ущерба существующим экосистемам	Изменение положения трассы в обход болот; устройство водопропускных труб, мостов и т. д. в соответствии с выполненными гидробиологическими исследованиями
15. Разрыв маршрутов миграций диких и домашних животных; увеличение числа столкновений с животными	Изменение трассы в обход важных миграционных путей; устройство подземных переходов
16. Плохое состояние свалок твердых отходов на строительных базах и площадках	Устройство правильно расположенных мусоросборников, обеспечение их надежного функционирования
17. Возможная передача заразных болезней от дорожных рабочих местным жителям и наоборот	Периодическая проверка здоровья рабочих и принятие мер по их лечению
18. Возникновение временных ареалов для насекомых переносчиков болезней, например, на солнце, в застойных резервуарах воды	Оценка векторной экологии в рабочих зонах; принятие мер во избежание возникновения таких ареалов
19. Создание коридоров переноса болезней, вредителей, сорняков и др.	Организация санитарных служб для растений и животных и соответствующих пунктов контроля
20. Браконьерство со стороны дорожных рабочих	Запрещение браконьерства в нормативных документах и в контрактах по найму
21. Перемещение и принудительное переселение людей, живущих в зоне строительства	Применение ранее не известных механизмов и процедур для получения равной и адекватной компенсации
22. Нарушение существующих дорог от жилищ к фермам, которое может привести к увеличению времени на преодоление расстояния	Устройство обоснованных съездов, пересечений и развязок
23. Нарушение существующих дорог немоторного транспорта в зоне магистральных дорог общего пользования	Устройство дополнительной полосы движения, укрепленных обочин и безопасных перекрестков
24. Риск связанных с ростом транзитного транспорта аварий, которые могут привести к отравлению токсичными материалами, увечьям и смерти	Проектирование и реализация мер безопасности и планирование чрезвычайных действий по ограничению ущерба от случайных разливов вредных веществ; выделение специальных маршрутов для транспортировки опасных материалов

Содержание и ремонт автомобильных дорог по характеру и объему работ варьирует в значительных пределах, поэтому и проблемы охраны окружающей среды в каждом конкретном случае имеют свои особенности, которые следует учитывать при выборе защитных мер.

30.4. Экологический мониторинг и принципы его построения

Под *экологическим мониторингом* понимают единую государственную систему контроля, обследований и анализа состояния окружающей среды. Цель организации такой системы – обеспечение всех уровней управления в государстве, области, регионе, городе информацией о состоянии окружающей среды, в том числе прогнозами вероятного его изменения, а также информацией о результатах реализации механизма улучшения экологического состояния.

При организации мониторинга должны реализоваться *следующие принципы*:

- 1) минимум затрат на мониторинг;
- 2) максимальное использование ведомственных систем контроля;
- 3) широкий доступ к собираемой информации государственных структур и общественности.

В настоящее время можно выделить *несколько уровней дорожно-экологического мониторинга*:

- 1) объектный, включающий пункты (посты) наблюдений на отдельных предприятиях;
- 2) локальный, представляющий собой сеть станций наблюдения, специальных полигонов и лабораторий;
- 3) территориальный (например, областной, краевой и т. п.), предполагающий привлечение научно-исследовательских организаций, высших учебных заведений для решения конкретных экологических задач данной территории, сбора и анализа экологической информации;
- 4) региональный, формирующийся путем создания экологических региональных центров;
- 5) общегосударственный, предусматривающий создание государственного экологического центра (например, силами Министерства окружающей среды и природных ресурсов, Национальной академии наук Беларуси).

Задача дорожно-экологического мониторинга (ДЭМ) состоит в осуществлении контроля на придорожных территориях за состоянием отдельных экосистем или их компонентов (атмосферы, растительности, животного мира, водной среды, почвы и т. д.). *Цель мониторинга* заключается в своевременном предупреждении нежелательных последствий при воздействии автомобильных дорог и транспорта на окружающую среду. ДЭМ является составной частью общегосударственной службы наблюдения и контроля за уровнем загрязнения атмосферы, почвы и водных объектов.

Система назначения станций контроля за состоянием окружающей среды должна охватывать:

- 1) крупные магистрали с интенсивным движением транспортных потоков;
- 2) зоны влияния предприятий и транспорта города;
- 3) характерные по условиям станции, которые должны располагаться с таким расчетом, чтобы на основании данных наблюдений можно было судить в целом об экологической ситуации в рассматриваемом районе.

Согласно ГОСТ 17.2.3.01-77 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов», для контроля за загрязнением атмосферы устанавливаются 3 категории постов наблюдения: 1) стационарный; 2) маршрутный; 3) передвижной.

Посты первых двух категорий располагаются в местах наименьшего загрязнения (на территориях, примыкающих к автодорогам с интенсивным движением).

На постах для оценки измерения используются приборы отечественного и зарубежного производства («Пост-1», «Воздух-1» и др.); осуществляется непрерывная регистрация загрязнения воздуха; берутся пробы почв, воздуха и воды; производится измерение уровня шума. Образцы анализируются в лабораториях. Получается информация с метеорологических станций (о скорости ветра, температуре влажности воздуха, атмосферном давлении и т. д.).

Регистрация степени загрязнения и метеорологических факторов производится в строго фиксированное время (например, через 4 часа, т.е. в 1.00, 5.00, 9.00, 13.00, 17.00, 21.00). Фиксируются разовые концентрации загрязнений, определяются среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые концентрации.

Передвижные станции должны быть оснащены компактными приборами, производящими измерения с приемлемой точностью по экспресс-методам. Базовыми машинами, на которых устанавливаются приборы, служат микроавтобусы и машины малой грузоподъемности. Передвижения этих станций осуществляются по определенным маршрутам. Увеличение числа точек измерений и количества маршрутов позволяет существенно сгустить сеть наблюдений.

Полученные данные передаются в стационарные пункты. Если требуются лабораторные исследования, их проводят в этих пунктах. Далее полученные и рассчитанные данные передаются в банк данных республиканского значения.

Оперативная связь осуществляется по телефонной, компьютерной и спутниковой связи. Поступающая информация должна быть представлена по единым формам (и форматам баз данных компьютерной связи) для всей структуры.

В настоящее время разработаны методики проведения исследований загрязнений атмосферы, почвы, воды, шумового загрязнения придорожных территорий, по которым разрабатывается система размещения станций для передвижных дорожно-экологических машин; выбираются опытные участки автомобильных дорог и проводятся лабораторные исследования; определяются уровни шума и загрязненность почв придорожных территорий. Полученные данные подлежат обработке на ЭВМ по специально подготовленным программам.

Статистическая обработка полученных данных позволяет выявить математические закономерности и целенаправленно проводить работы по уменьшению отрицательного воздействия дорожно-транспортного комплекса на окружающую среду.

30.5. Методика расчета выбросов транспортными средствами загрязняющих веществ

В процессе эксплуатации дорог и при оценке воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду часто приходится производить расчеты массы выбросов оксидов углерода, азота, серы, сажи, свинца и других загрязняющих веществ. Далее приведены основные положения методики определения массы выбросов загрязняющих веществ автомобильными средствами в атмосферный воздух, утвержденной Министерством транспорта Российской Федерации в 1993 г. и активно применяемой в Беларуси.

30.5.1. Легковые автомобили

Массовый выброс загрязняющих веществ легковыми (грузопассажирскими) автомобилями с определенным рабочим объемом двигателя при движении по территории населенных пунктов рассчитывается по формуле

$$M'_{ij} = m_{ij} \cdot L'_j \cdot K_n \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (30.1)$$

где m_{ij} – пробеговой выброс i -го загрязняющего вещества легковым автомобилем с двигателю j -го рабочего объема, г/км (табл. 30.4); L'_j – суммарный пробег легковых автомобилей с двигателями j -го рабочего объема по территории населенных пунктов, км (может определяться на основании данных учета или обработки результатов выборочных обследований); K_n – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населенных пунктом (табл. 30.5).

Таблица 30.4. Пробеговые выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями по территории населенных пунктов

Рабочий объем двигателя, л	Пробеговой выброс m_{ij} , г/км						
	СО	СН	NO ₂	С	SO ₂	Pb в марках бензина	
						А-76	АИ-93
менее 1,3	11,4	2,1	1,3	0	0,052	0,008	0,017
1,3-1,8	13	2,6	1,5	0	0,076	0,011	0,025
1,8-3,5	14	2,8	2,7	0	0,096	0,014	0,031

Таблица 30.5. Значение K_n в зависимости от типа населенных пунктов

Тип населенных пунктов	Значение K_n					
	CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb
Города с числом жителей более 1 млн. чел.	1,0	1,0	1,0	0	1,25	1,25
Города с числом жителей от 100 тыс. чел. до 1 млн. чел.	0,87	0,92	0,94	0	1,15	1,15
Города с числом жителей от 30 до 100 тыс.чел.	0,7	0,79	0,81	0	1,05	1,05
Прочие населенные пункты	0,41	0,59	0,6	0	1,00	1,00

Массовый выброс загрязняющих веществ легковыми (грузопассажирскими) автомобилями с определенным рабочим объемом двигателя при движении *вне населенных пунктов* рассчитывается по формуле

$$M_{ij}'' = m_{ij}' \cdot L_j'' \cdot 10^{-6}, \quad (30.2)$$

где m_{ij}' – пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества легковым автомобилем с двигателем j -го рабочего объема *вне населенных пунктов*, г/км (табл.30.6); L_j'' – суммарный пробег при движении *вне населенных пунктов*, км.

Таблица 30.6. Пробеговые выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями при движении *вне населенных пунктов*

Рабочий объем двигателя, л	Пробеговый выброс m_{ij}' , г/км						
	CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb в марках бензина	
						A-76	AI-93
менее 1,3	4,8	1,2	2,3	0	0,052	0,008	0,017
1,3-1,8	5,5	1,5	2,7	0	0,076	0,011	0,025
1,8-3,5	6,0	1,6	4,0	0	0,096	0,014	0,031

Токсичность отработавших газов при работе двигателя на сжиженном нефтяном газе принимается равной токсичности отработавших газов при работе двигателя на бензине; выбросы соединений свинца отсутствуют.

Расчет выбросов соединений свинца выполняется только для регионов, где используется этилированный бензин. При отсутствии данных о распределении автомобилей, работающих на бензине AI-93 и A-76, принимается соотношение: 60% – AI-93, 40% – A-76.

Суммарный массовый выброс (в тоннах) i -го загрязняющего вещества легковыми автомобилями определяется по формуле

$$M_{ni} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (M_{ij}' + M_{ij}'') \cdot K_{mi}, \quad (30.3)$$

где K_{mi} – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния автомобилей на массовый выброс i -го загрязняющего вещества ($K_{mCO}=1,75$; $K_{mCH}=1,48$; $K_{mNO}=1,0$; $K_{mSO}=1,15$; $K_{mPb}=1,15$).

При отсутствии данных о распределении пробега автомобилей и городских и загородных условиях и наличии данных об общем пробеге автомобилей L_j пробеги L_j' и L_j'' определяются по формулам:

– легковые автомобили, принадлежащие индивидуальным владельцам:

в городах – $L_j' = 0,6 \cdot L_j$; $L_j'' = 0,4 \cdot L_j$; в сельской местности – $L_j' = 0,3 \cdot L_j$; $L_j'' = 0,7 \cdot L_j$;

– легковые автомобили, принадлежащие предприятиям и организациям:

в городах – $L_j' = 0,9 \cdot L_j$; $L_j'' = 0,1 \cdot L_j$; в сельской местности – $L_j' = 0,3 \cdot L_j$; $L_j'' = 0,7 \cdot L_j$.

30.5.2. Грузовые автомобили

Массовый выброс загрязняющих веществ грузовыми специальными автомобилями с определенной грузоподъемностью и типом двигателя при движении по территории населенных пунктов рассчитывается по формуле

$$M_{iks}' = m_{iks}' \cdot L_{iks}' \cdot K_{ris} \cdot K_{nis} \cdot 10^{-6}, \quad (30.4)$$

где m_{iks} – пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями k -ой грузоподъемности с двигателем s -го типа, г/км (табл. 30.7); L'_{iks} – суммарный пробег по территории населенных пунктов грузовых автомобилей k -ой грузоподъемности с двигателями s -го типа, км; K_{nis} – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населенных пунктов (табл. 30.8); K_{nis} – коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса от уровня использования грузоподъемности и пробега, равный для городских перевозок и перевозок сельскохозяйственных грузов:

- для бензиновых (газовых) двигателей: $K_{nis\ CO}=0,68$; $K_{nis\ CH}=0,87$; $K_{nis\ NO_2}=0,67$; $K_{nis\ SO_2}=1,19$; $K_{nis\ Pb}=1,19$;
- для дизельных двигателей: $K_{nis\ CO}=0,68$; $K_{nis\ CH}=0,76$; $K_{nis\ NO_2}=0,82$; $K_{nis\ SO_2}=0,54$; $K_{nis\ Pb}=1,20$.

Выбросы свинца рассчитываются только при использовании этилированного бензина.

Таблица 30.7. Пробеговые выбросы загрязняющих веществ при движении грузовых автомобилей по территории населенных пунктов

Грузоподъемность автомобиля или автопоезда, т	Тип двигателя	Пробеговый выброс m_{iks} , г/км					
		CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb
0,5-2,0	Б	22	3,4	2,6	0	0,13	0,019
2,0-5,0	Б	52,6	4,7	5,1	0	0,16	0,023
	Г	26,8	2,7	5,1	0	0,14	0
	Д	2,8	1,1	8,2	0,5	0,96	0
5,0-8,0	Б	73,2	5,5	9,2	0	0,19	0,029
	Г	37,4	4,4	9,2	0	0,17	0
	Д	3,2	1,3	11,4	0,8	1,03	0
8,0-16,0	Б	97,8	8,2	10,0	0	0,26	0,038
	Д	3,9	1,6	13,4	1,0	1,28	0
Более 16,0	Д	4,5	1,8	16,4	1,1	1,47	0

Примечание. Б – бензиновый, Д – дизельный, Г – газовый (сжатый газ).

Таблица 30.8. Значения K_{nis} в зависимости от типа населенных пунктов

Тип населенных пунктов (НП), число жителей	Значение K_{nis}								
	CO		CH		NO ₂		C	SO ₂	Pb
	Б, Г	Д	Б, Г	Д	Б, Г	Д	Д	Б, Г, Д	Б
Город более 1млн. чел.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,20
Город 100тыс. – 1млн. чел.	0,89	0,95	0,85	0,93	0,79	0,92	0,80	1,15	1,15
Город 30-100тыс. чел.	0,74	0,83	0,70	0,80	0,69	0,82	0,50	1,05	1,05
Прочие НП	0,58	0,64	0,50	0,60	0,60	0,70	0,30	1,00	1,00

Токсичность отработавших газов при работе двигателя на сжатом нефтяном газе принимается равной токсичности отработавших газов при работе двигателя на бензине; выбросы свинца отсутствуют. Выбросы свинца рассчитываются только при использовании этилированного бензина.

Массовый выброс загрязняющих веществ грузовыми (специальными) автомобилями с определенной грузоподъемностью и типом двигателя при движении вне населенных пунктов рассчитывается по формуле

$$M''_{iks} = m'_{iks} \cdot L''_{iks} \cdot K_{nis} \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (30.5)$$

где m'_{iks} – пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями k -ой грузоподъемности с двигателем s -го типа, г/км (табл. 30.9); L''_{iks} – суммарный пробег при движении вне населенных пунктов, км; K_{nis} – коэффициент, учитывающий изменение выброса от уровня использования грузоподъемности и пробега, равный для междугородних перевозок:

- для бензиновых (газовых) двигателей: $K_{nis\ CO}=0,84$; $K_{nis\ CH}=0,94$; $K_{nis\ NO_2}=0,83$; $K_{nis\ SO_2}=1,34$; $K_{nis\ Pb}=1,34$;
- для дизельных двигателей: $K_{nis\ CO}=0,84$; $K_{nis\ CH}=0,88$; $K_{nis\ NO_2}=0,92$; $K_{nis\ SO_2}=0,80$; $K_{nis\ Pb}=1,37$.

Таблица 30.9. Пробеговые выбросы загрязняющих веществ грузовыми автомобилями при движении вне населенных пунктов

Грузоподъемность автомобиля или автопоезда, т	Тип двигателя	Пробеговой выброс m_{iks} , г/км					
		CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb
0,5-2,0	Б	15,2	1,9	2,1	0	0,13	0,019
2,0-5,0	Б	26,3	2,6	4,1	0	0,16	0,023
	Г	13,1	1,5	4,1	0	0,14	0
	Д	2,5	0,8	6,9	0,1	0,96	0
5,0-8,0	Б	40,8	4,1	8,0	0	0,19	0,029
	Г	20,2	2,4	8,0	0	0,17	0
	Д	2,6	1,2	9,1	0,2	1,03	0
8,0-16,0	Б	50,5	4,5	8,5	0	0,26	0,038
	Д	3,2	1,4	10,7	0,2	1,28	0
Более 16,0	Д	3,6	1,5	13,1	0,3	1,47	0

Примечание. Б – бензиновый, Д – дизельный, Г – газовый (сжатый газ).

Суммарный массовый выброс i -го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями M_{zi} определяется по формуле

$$M_{zi} = \sum_{k=1}^n \sum_{s=1}^n (M'_{iks} + M''_{iks}) \cdot K_{mis}, \quad (30.6)$$

где K_{mis} – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния автомобилей на массовый выброс i -го загрязняющего вещества для s -го типа двигателя:

- для грузовых автомобилей с бензиновыми и газовыми двигателями: $K_{mCO}=2,0$; $K_{mCH}=1,83$; $K_{mNO}=1,0$; $K_{mSO}=1,15$; $K_{mPb}=1,15$;
- для автомобилей с дизельными двигателями: $K_{mCO}=1,60$; $K_{mCH}=2,10$; $K_{mNO}=1,0$; $K_{mSO}=1,90$; $K_{mPb}=1,15$.

При отсутствии данных о распределении пробега грузовых автомобилей в городских и загородных условиях и наличии данных об общем пробеге автомобиля L_{iks} пробеги L'_{iks} и L''_{iks} определяются по формулам:

- в городах $L'_{iks} = 0,9 \cdot L_{iks}$; $L''_{iks} = 0,1 \cdot L_{iks}$;
- в сельской местности $L'_{iks} = 0,2 \cdot L_{iks}$; $L''_{iks} = 0,8 \cdot L_{iks}$.

30.5.3. Автобусы

Массовый выброс загрязняющих веществ междугородними, пригородными и туристскими автобусами определенного класса с определенным типом двигателя при движении по территории населенных пунктов рассчитывается по формуле

$$M'_{ims} = m_{ims} \cdot L'_{ms} \cdot K_{ris} \cdot K_{his} \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (30.7)$$

где m_{ims} – пробеговой выброс i -го загрязняющего вещества автобусами m -го класса с двигателем s -го типа, г/км (табл. 30.10); L'_{ms} – суммарный пробег по территории населенных пунктов автобусов s -го типа, км; K_{ris} – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населенных пунктов (табл. 30.8); K_{his} – коэффициент, учитывающий изменение выброса от вида перевозок и типа двигателя автобуса (табл. 33.11).

Таблица 30.10. Пробеговые выбросы загрязняющих веществ при движении автобусов по территории населенных пунктов

Класс автобуса (L – габаритная длина), т	Тип двигателя	Пробеговой выброс m_{ims} , г/км					
		CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb
особо малый L<5	Б	13,5	2,9	3,0	0,0	0,09	0,031
малый 6,0 <L<7,5	Б	44,0	3,4	6,1	0,0	0,18	0,028
	Д	4,5	1,4	9,1	0,8	0,90	0,0
средний 8,0 <L<9,5	Б	67,1	5,0	9,9	0,0	0,25	0,037
	Д	4,5	1,4	9,1	0,8	0,90	0,0
большой 10,5<L<12	Б	104,0	7,7	10,4	0,0	0,32	0,047
	Д	4,9	1,6	10,0	1,0	1,23	0,0
особо большой L>12	Д	5,0	1,6	11,0	1,1	1,65	0,0

Примечание. Б – бензиновый, Д – дизельный.

Таблица 30.11 Значения K_{his} в зависимости от вида перевозок и типа двигателя

Вид перевозок	Тип двигателя	Значения K_{his}					
		CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb
Городские и пригородные	Б	0,90	0,96	0,89	0,00	1,30	1,30
	Д	0,89	0,92	0,93	0,75	1,30	0,00
Междугородные и туристические	Б	0,70	0,88	0,67	0,00	1,10	1,10
	Д	0,68	0,76	0,81	0,44	1,10	0,00

Массовый выброс (в тоннах) загрязняющих веществ маршрутными городскими автобусами определенного класса с определенным типом двигателя при движении по территории населенных пунктов рассчитывается по формуле

$$M''_{ims} = K_p \cdot m_{ims} \cdot L''_{ms} \cdot K_{ris} \cdot K_{his} \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (30.8)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении маршрутных городских автобусов по территории населенных пунктов (для CO, CH, NO₂, C – $K_p=1,4$; для SO₂, Pb – $K_p=1,1$); L''_{ms} – суммарный пробег по территории населенных пунктов маршрутных городских автобусов m -го класса с двигателями s -го типа, км.

Массовый выброс загрязняющих веществ автобусами определенного класса с определенным типом двигателя при движении вне населенных пунктов рассчитывается по формуле

$$M'''_{ims} = K_p \cdot m'_{ims} \cdot L'''_{ms} \cdot K_{ris} \cdot K_{his} \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (30.9)$$

где m'_{ims} – пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества автобусами m -го класса с двигателями s -го типа, г/км (табл. 30.12); L'''_{ms} – суммарный пробег при движении вне населенных пунктов, км.

Таблица 30.12. Пробеговый выброс загрязняющих веществ автобусами при движении вне населенных пунктов

Класс автобуса (L – габаритная длина), т	Тип двигателя	Пробеговый выброс m_{ims} , г/км					
		CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb
особо малый L<5	Б	6,0	1,6	4,0	0,0	0,09	0,031
малый 6,0 <L<7,5	Б	24,0	2,3	5,0	0,0	0,18	0,028
средний 8,0 <L<9,5	Б	34,0	3,9	8,2	0,0	0,25	0,037
	Д	3,3	1,2	8,0	0,2	0,90	0,00
большой 10,5 <L<12	Б	2,0	4,6	9,5	0,0	0,32	0,047
	Д	3,5	1,3	18,0	0,2	1,23	0,00
особо большой L>12	Д	3,6	1,3	18,8	0,3	1,65	0,00

Примечание. Б - бензиновый, Д - дизельный.

Суммарный массовый выброс i -го загрязняющего вещества автобусами определяется по формуле

$$M_{ai} = \sum_{m=1}^n \sum_{s=1}^n (M'_{ims} + M''_{ims} + M'''_{ims}) \cdot K_{mis}, \quad (30.10)$$

Для автобусов с бензиновыми двигателями $K_{mCO}=2,0$; $K_{mCH}=1,83$; $K_{mNO}=1,0$; $K_{mSO}=1,15$; $K_{mPb}=1,15$; (для особо малого класса $K_{mCO}=1,75$; $K_{mCH}=1,48$; $K_{mNO}=1,0$); для автобусов с дизельными двигателями $K_{mCO}=1,6$; $K_{mCH}=2,1$; $K_{mNO}=1,0$; $K_{mSO}=1,9$; $K_{mPb}=1,15$.

При отсутствии данных о распределении пробега автобусов в городских и загородных условиях и наличии данных об общем пробеге автобусов L_{ms} пробег L'_{ms} , L''_{ms} и L'''_{ms} определяется по формулам:

- городские перевозки $L''_{ms} = L_{ms}$;
- пригородные, туристические перевозки $L'_{ms} = 0,7 \cdot L_{ms}$; $L'''_{ms} = 0,3 \cdot L_{ms}$;
- междугородные перевозки $L'_{ms} = 0,2 \cdot L_{ms}$; $L'''_{ms} = 0,8 \cdot L_{ms}$;
- перевозки в сельской местности, вахтовые перевозки $L'_{ms} = 0,3 \cdot L_{ms}$; $L'''_{ms} = 0,7 \cdot L_{ms}$.

31. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК

31.1. Обзор развития пересечений и примыканий автомобильных дорог

История развития пересечений и примыканий автомобильных дорог неразрывно связана с историей автомобильного транспорта.

Возможно выделение нескольких крупных этапов развития пересечений и примыканий автомобильных дорог.

1. В начале развития автомобильного транспорта, когда скорости и интенсивность движения автомобилей были небольшие, все пересечения и примыкания автомобильных дорог осуществлялись в *одном уровне*, причем никаких специальных мер для обеспечения безопасности движения и увеличения пропускной способности на них не предусматривалось.

2. После Первой мировой войны вследствие непрерывного увеличения скоростей и интенсивности движения автомобилей вопрос обеспечения безопасности движения и пропускной способности на пересечениях и примыканиях дорог стал приобретать все большее значение, так как число несчастных случаев стало непрерывно расти. Для повышения безопасности движения и пропускной способности были приняты *меры по обеспечению видимости на подходах к пересечениям и примыканиям и установки специальных дорожных знаков*.

Однако, несмотря на все эти мероприятия, простые крестообразные пересечения дорог в одном уровне имеют ряд существенных недостатков, а именно: они способствуют дорожно-транспортным происшествиям, значительно сокращают пропускную способность пересекающихся дорог и снижают скорости движения.

В Германии на пересечениях автомобильных дорог в одном уровне происходит в среднем 33,0% всех дорожно-транспортных происшествий, в Англии и Италии – 26,0%, США – 21,0%, Чехии – 18,4%, СНГ – 16,1%.

В настоящее время вопросы обеспечения безопасности движения стали проблемой мирового значения, изучением которой занимается Организация Объединенных Наций. По данным ООН, на автомобильных дорогах земного шара в результате аварий ежегодно погибает около 250 тыс. человек и более 7 млн. получают травмы; только на автомобильных дорогах Европы ежегодно погибает более 50 тыс. человек и около 1 млн. получают травмы.

3. С целью повышения безопасности движения и увеличения пропускной способности пересекающихся дорог в начале 20-х годов прошлого века в некоторых странах стали устраивать так называемые канализированные (пересечения, на которых для каждого направления движения выделялись самостоятельные полосы (каналы)), отделенные друг от друга островками, полосами и разметкой проезжей части. Широкое распространение получили канализированные пересечения в США, Германии, Англии, Италии и других странах. В Италии часто применялся комбинированный способ канализирования движения при помощи направляющих островков и разметки проезжей части.

4. Наиболее совершенным типом пересечения автомобильных дорог в одном уровне является кольцевое пересечение. Оно осуществляется в виде достаточно широкого кольца, к которому примыкают пересекающиеся дороги (рис. 31.1а) без направляющих островков.

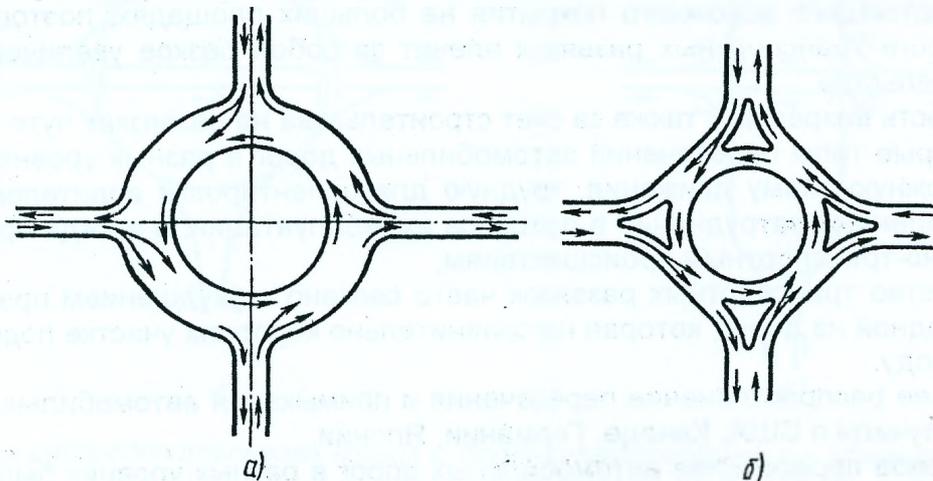


Рис. 31.1. Схемы кольцевых пересечений автомобильных дорог в одном уровне

Вариантом кольцевого пересечения является пересечение с направляющими островками (рис. 31.16). Острова направляют движение и позволяют более четко отделить потоки, сворачивающие вправо на ближайшую дорогу, от потока, продолжающего движения по кольцу.

Кольцевые пересечения имеют следующие преимущества по сравнению с простыми крестообразными пересечениями дорог в одном уровне:

- повышается безопасность движения;
- обеспечивается непрерывность движения транспортных потоков;
- создается возможность устройства в одном пункте пересечения не только двух, но и трех и более дорог;
- увеличивается пропускная способность.

Однако на кольцевых пересечениях автомобили проходят больший путь, чем на обычных крестообразных. Кроме того, для устройства кольцевых пересечений требуется значительная площадь.

Кольцевые пересечения часто применяли в Голландии, Германии, Швеции, США, Канаде и некоторых других странах в 1930-1950-х годах. Наиболее широкое распространение они получили в Англии. Интересно отметить, что при сооружении кольцевых пересечений в Англии проезжую часть на кольце устраивают односкатной с уклоном в сторону островка, в результате чего повышается устойчивость автомобилей в пределах пересечения.

Кольцевые пересечения автомобильных дорог устраивали также и в СССР. Такие пересечения были построены, например, на автомагистралях Киев – Харьков – Ростов, Алма-Ата – Фрунзе – Ташкент, в пригородном районе г. Таллинна и т.д. Однако широкого распространения в СССР кольцевые пересечения не получили.

В то же время имеющиеся статистические данные свидетельствуют о значительном уменьшении количества дорожно-транспортных происшествий после сооружения кольцевых пересечений. Например, по данным Английской дорожной исследовательской лаборатории, после реконструкции 22 перекрестков на кольцевые пересечения количество дорожно-транспортных происшествий снизилось в среднем на 70%.

5. С появлением автомагистралей возникла необходимость в устройстве пересечений в разных уровнях. *Пересечения и примыкания автомобильных дорог в разных уровнях получили название транспортных развязок.*

На таких пересечениях и примыканиях полностью или почти полностью устраняются недостатки, присущие пересечению в одном уровне. При устройстве транспортных развязок:

- значительно повышается безопасность движения, особенно при осуществлении левых поворотов;
- обеспечивается более четкая организация движения пересекающихся транспортных потоков;
- резко увеличивается пропускная способность пересечения;
- повышается скорость движения.

Однако транспортные развязки имеют ряд недостатков:

- съезды развязок имеют обычно значительную протяженность и требуют устройства дорогостоящего дорожного покрытия на больших площадях, поэтому сооружение на дороге транспортных развязок влечет за собой резкое увеличение стоимости строительства;
- стоимость возрастает также за счет строительства на развязках путепроводов;
- некоторые типы пересечений автомобильных дорог в разных уровнях имеют весьма сложную схему движения, трудную для ориентировки водителей, что создает определенные затруднения в процессе их эксплуатации, а иногда приводит даже к дорожно-транспортным происшествиям;
- устройство транспортных развязок часто связано с ухудшением продольного профиля одной из дорог, которая на сравнительно коротком участке поднимается к путепроводу.

Наибольшее распространение пересечения и примыкания автомобильных дорог в разных уровнях получили в США, Канаде, Германии, Японии.

Самое первое пересечение автомобильных дорог в разных уровнях было построено в 1928 г. в США в штате Нью-Джерси. Оно было выполнено по типу клеверного листа. Через транспортную развязку в среднем проходило 62 500 автомобилей в сутки, в наиболее на-

пряженные периоды дня – свыше 100 автомобилей в минуту. Уже в 1936 г. в США насчитывалось свыше 125 транспортных развязок. Наиболее распространенным типом пересечения продолжал оставаться «клеверный лист». Широкое применение получил «неполный клеверный лист», имеющий сокращенное число съездов (рис. 31.2), и распределительное кольцо с двумя и пятью путепроводами (рис. 31.3 и 31.4). Особенно широкое распространение получило примыкание по типу трубы, которое впервые было применено в 30-х годах в Германии, и значительно меньшее распространение – грушевидный тип примыкания.

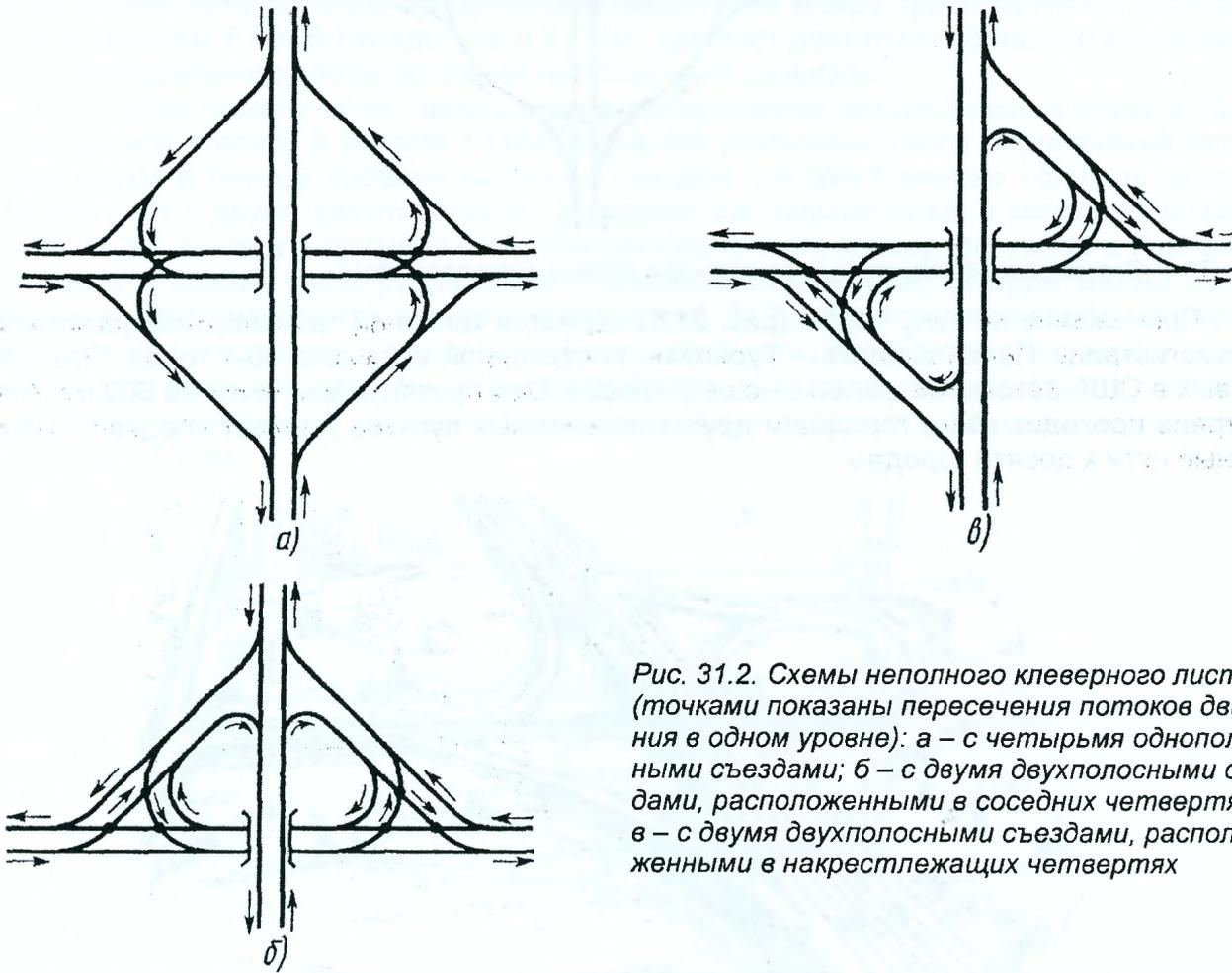


Рис. 31.2. Схемы неполного клеверного листа (точками показаны пересечения потоков движения в одном уровне): а – с четырьмя однополосными съездами; б – с двумя двухполосными съездами, расположенными в соседних четвертях; в – с двумя двухполосными съездами, расположенными в накрестлежащих четвертях

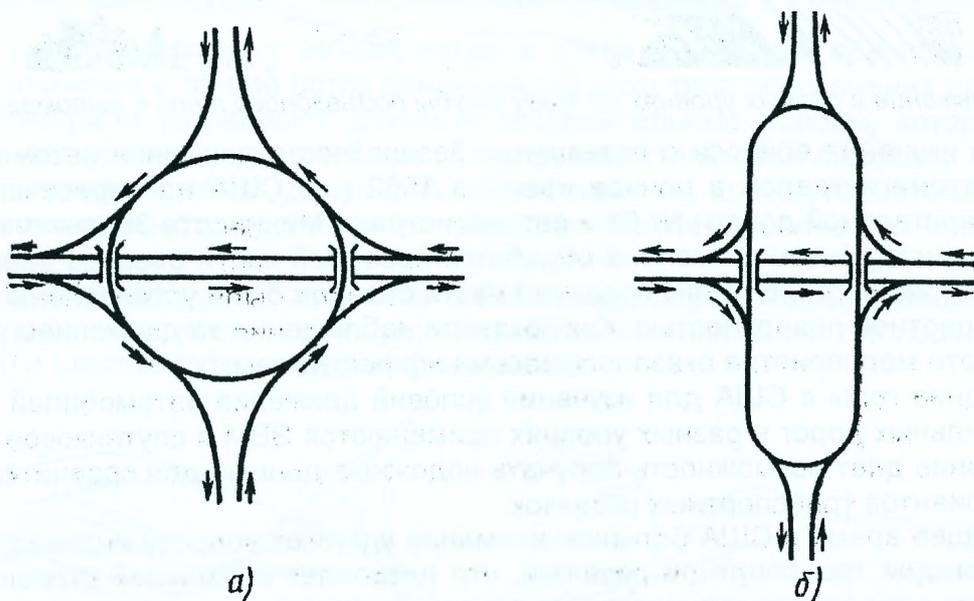


Рис. 31.3. Схемы распределительного кольца с двумя путепроводами: а – обычное кольцо; б – вытянутое кольцо

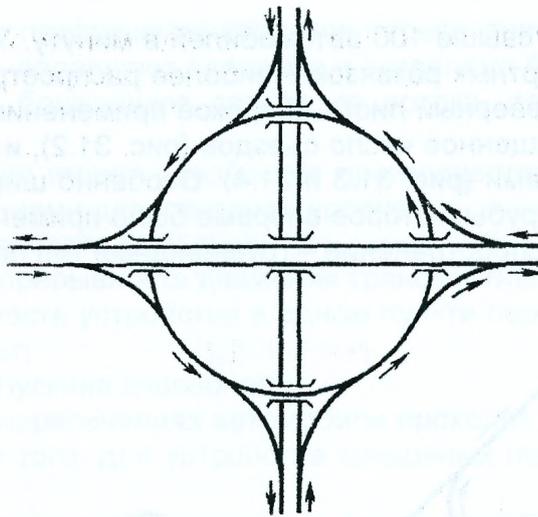


Рис. 31.4. Схема распределительного кольца с пятью путепроводами

Примыкание по типу трубы (рис. 31.5) является типичной транспортной развязкой для автомагистрали Пенсильвания – Турнпайк, построенной в начале 40-х годов. Это одна из первых в США автомагистралей высшего класса. Она протянулась почти на 600 км. Автомагистраль проходит мимо городов и других населенных пунктов и имеет специальные подъездные пути к десяти городам.

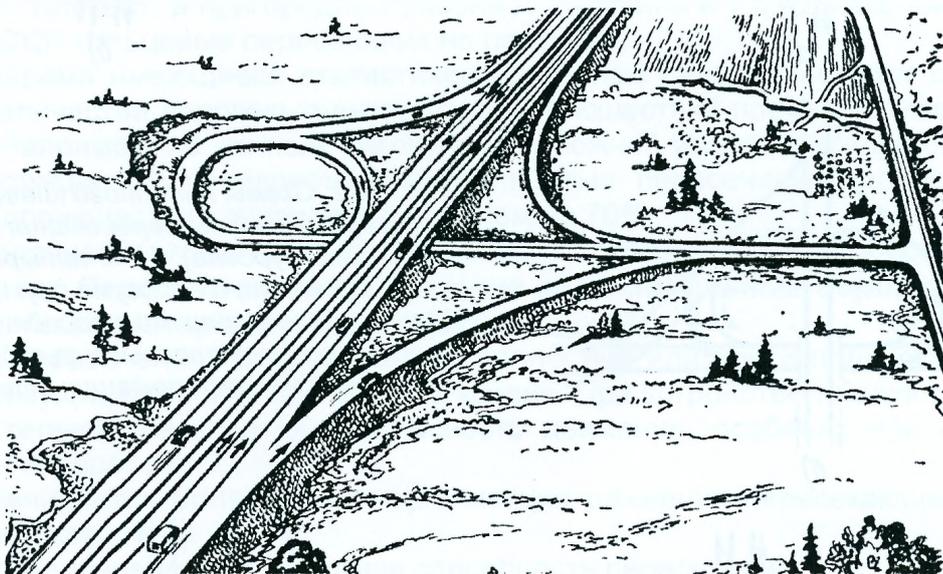


Рис. 31.5. Примыкание в разных уровнях по типу трубы подъездного пути к автомагистрали

С целью изучения вопроса о повышении безопасности движения автомобилей на пересечениях автомагистралей в ночное время в 1962 г. в США на пересечении в разных уровнях государственной дороги № 61 и автомагистрали Миннесота-36, выполненном по типу клеверного листа, была применена обработка проезжей части съездов рефлектирующими красками. Кроме того, по краям проезжей части съездов были установлены щитки с рефлектирующей цветной поверхностью. Как показали наблюдения за движением по транспортной развязке, это мероприятие оказалось весьма эффективным.

В последние годы в США для изучения условий движения автомобилей на пересечениях автомобильных дорог в разных уровнях применяются ЭВМ и спутниковое наблюдение. Их использование дает возможность получать надежные данные для сравнительной оценки различных вариантов транспортных развязок.

В настоящее время в США большое внимание уделяют вопросу индивидуального проектирования каждой транспортной развязки, что позволяет в большей степени удовлетворять требования каждого поворачивающего потока движения.

В Канаде первой транспортной развязкой, построенной в 1936 г., было примыкание по типу трубы (см. рис.31.5). Первое пересечение по типу клеверного листа в Канаде было построено в 1937 г. Площадь территории, занятая транспортной развязкой, составляет около

3,2 га. Покрытие на дорогах и на съездах цементобетонное. Площадь покрытия составляет 18400 м².

Наиболее распространенным типом примыкания автомобильных дорог в разных уровнях в Канаде продолжает оставаться примыкание по типу трубы, а наиболее распространенным типом пересечения – клеверный лист. Однако наряду с клеверным листом довольно широкое распространение получило также пересечение по типу распределительного кольца.

Технические условия, действующие в настоящее время в Канаде, рекомендуют при проектировании автомагистралей принимать расстояние между транспортными развязками равным в среднем 8 км. В Канаде, как и в США, уделяют достаточно большое внимание вопросу индивидуального проектирования транспортных развязок.

В Германии пересечения, примыкания и разветвления автомобильных дорог в разных уровнях начали строить в начале 1930-х годов. Из различных типов пересечений автомобильных дорог в разных уровнях особенно широкое распространение получил неполный клеверный лист с двумя двухполосными съездами, расположенными в соседних четвертях (см. рис. 31.26). Наряду с применением обычного неполного клеверного листа в Германии в 1935 г. на его основе была разработана транспортная развязка, которую можно назвать улучшенным типом неполного клеверного листа (рис. 31.6). Она получила особенно широкое применение при устройстве пересечений Берлинской кольцевой автомагистрали с автомобильными дорогами, отходящими от Берлина. Длина кольцевой автомагистрали составляет 185 км. Число пересечений автомагистрали с местными дорогами – 24, среднее расстояние между ними – 7,7 км.

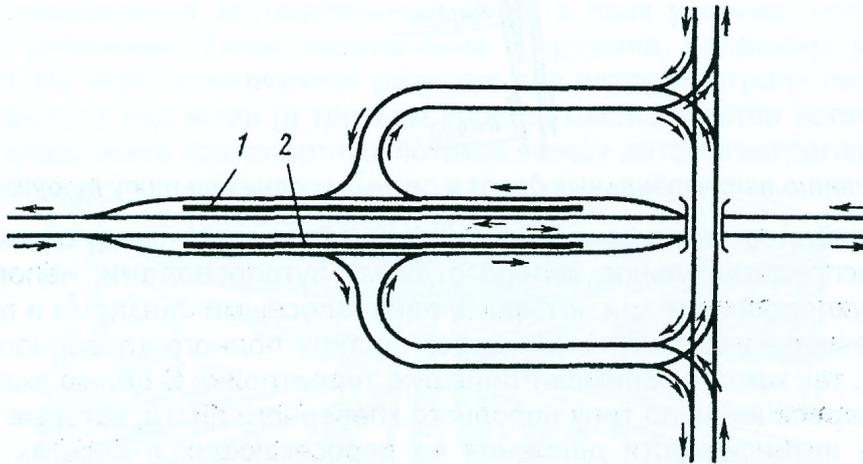


Рис. 31.6. Схема улучшенного типа неполного клеверного листа: 1 и 2 – разделительные полосы

Для того чтобы съезды с автомагистрали и везезды на нее обеспечивали легкое и безопасное включение в общий поток движения, на этом типе пересечения вдоль проезжей части автомагистрали устраивают длинные разделительные полосы, которые несколько возвышаются над уровнем проезжей части. За разделительными полосами находятся дополнительные проезжие части, допускающие или сквозной проезд по автомагистрали, или съезд на пересекаемую дорогу. Расчетная скорость на этих пересечениях принималась, как правило, 40 км/ч.

Довольно широкое распространение в Германии получил также клеверный лист. При пересечении дорог под очень острым углом применялись линейный тип пересечения с двумя (рис. 31.7а) и шестью путепроводами (рис. 31.7б).

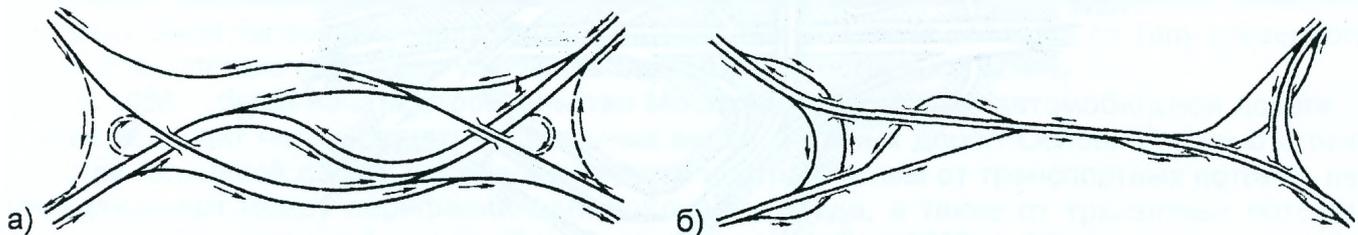


Рис. 31.7. Схема линейного типа пересечений: а – с двумя путепроводами; б – с шестью путепроводами

Первое разветвление автомобильных дорог в разных уровнях по типу треугольника было построено в Германия в 1935 г. на автомагистрали, ведущей из Франкфурта-на-Майне, в месте ее разветвления (недалеко от г. Маннгейма) в направлении на Гейдельберг и Маингейм (рис. 31.8). Поэтому данная транспортная развязка известна также под названием «треугольника Маннгейма». Расстояние между транспортными развязками на автомобильных дорогах Германии составляет 7-10 км.

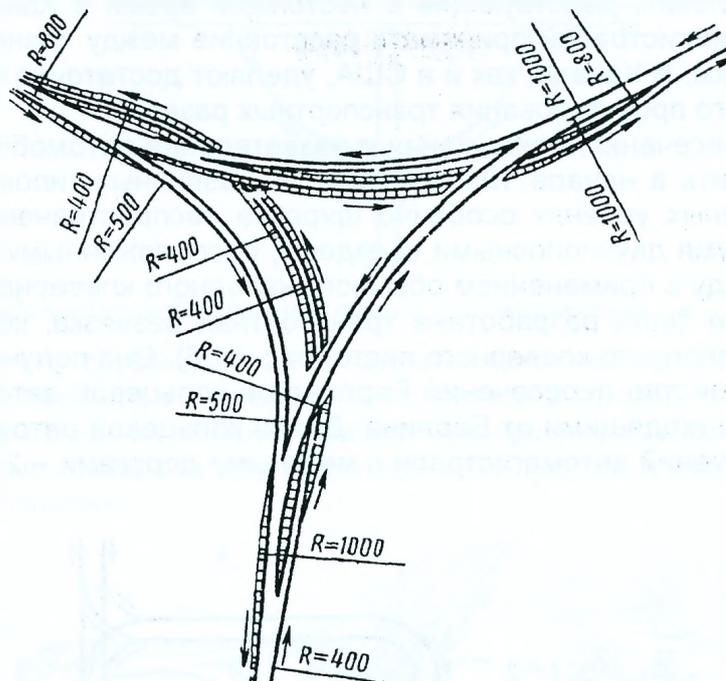


Рис. 31.8. Разветвление автомобильных дорог в разных уровнях по типу треугольника

В Англии наиболее широкое распространение получили следующие типы транспортных развязок: распределительное кольцо с двумя путепроводами, неполный «клеверный лист» с двумя двухполосными или четырьмя однополосными съездами и примыкание по типу трубы. Пересечения автомобильных дорог по типу полного клеверного листа в Англии применяют редко, так как они занимают большую территорию. С целью экономии земельных участков строят пересечения по типу неполного клеверного листа, которые в дальнейшем по мере увеличения интенсивности движения на пересекающихся дорогах перестраивают в полные клеверные листья.

В Англии при Дорожной исследовательской лаборатории создан испытательный полигон для моделирования транспортных развязок различных типов. Расстояние между транспортными развязками на автомобильных дорогах Англии колеблется от 5 до 16 км.

Во Франции пересечения автомагистралей с другими дорогами проектируют в разных уровнях. Например, на автомагистрали Эстерель – Лазурный Берег протяженностью 50,5 км построено шесть транспортных развязок. Одна из них изображена на рис. 31.9.

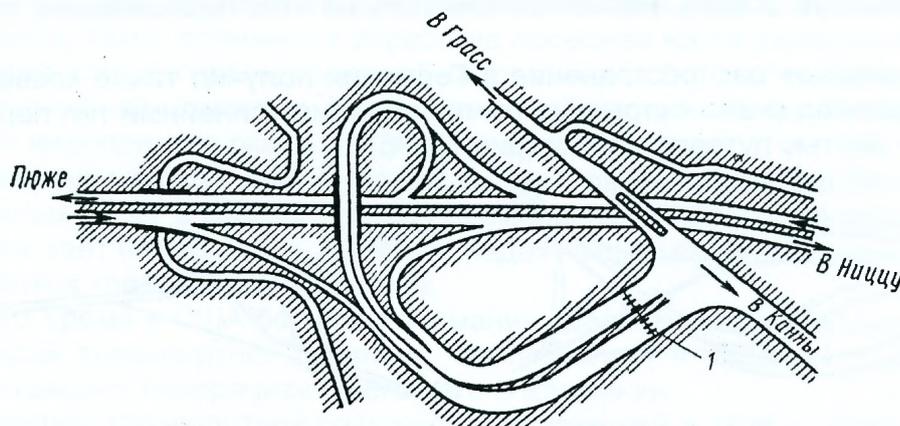


Рис. 31.9. Пересечение в разных уровнях на автомагистрали Эстерель – Лазурный Берег (Франция): 1 – контрольный пункт

Транспортная развязка имеет довольно сложную конфигурацию, которая объясняется необходимостью пропуска автомобилей через контрольный пункт, где берется плата за проезд по автомагистрали. Радиусы кривых очень небольшие, однако это не влияет на условия движения автомобилей, так как они должны останавливаться на контрольном пункте.

Во Франции часто применяют пересечение автомобильных дорог в разных уровнях по типу неполного клеверного листа. Широкое распространение получили транспортные развязки, выполненные по типу трубы. Расстояние между транспортными развязками на автомобильных дорогах Франции колеблется от 8 до 25 км.

В Италии пересечения автомагистралей с другими дорогами проектируют в разных уровнях. На автомагистрали Милан – Неаполь среднее расстояние между транспортными развязками составляет 12,5 км. В процессе реконструкции автомагистрали Турин – Милан было построено 17 сложных транспортных развязок. Большое количество транспортных развязок имеется на автомагистрали Милан – Рим.

При проектировании автомагистралей в Бельгии пересечения их с другими дорогами устраивают в разных уровнях. Наибольшее распространение получили пересечения по типу полного и неполного клеверного листа. На автомагистрали Брюссель – Остенде имеется 13 транспортных развязок. Среднее расстояние между ними составляет 10 км.

В последние годы транспортные развязки получили широкое распространение также в Швейцарии, Югославии, Чехии, Голландии, Австрии и других странах Европы.

В Японии пересечения автомобильных дорог в разных уровнях сооружают главным образом по типу клеверного листа, а примыкания – по типу трубы.

Некоторые пересечения автомобильных дорог в трех уровнях, построенные в США, являются весьма сложными. Такое пересечение сооружено, например, у Чикагского аэропорта (рис. 31.10). На этой транспортной развязке две автомагистрали пересекаются между собой в двух уровнях, а над ними (в третьем уровне) располагается эстакада, которая служит для перераспределения транспортных потоков между автомагистралями.

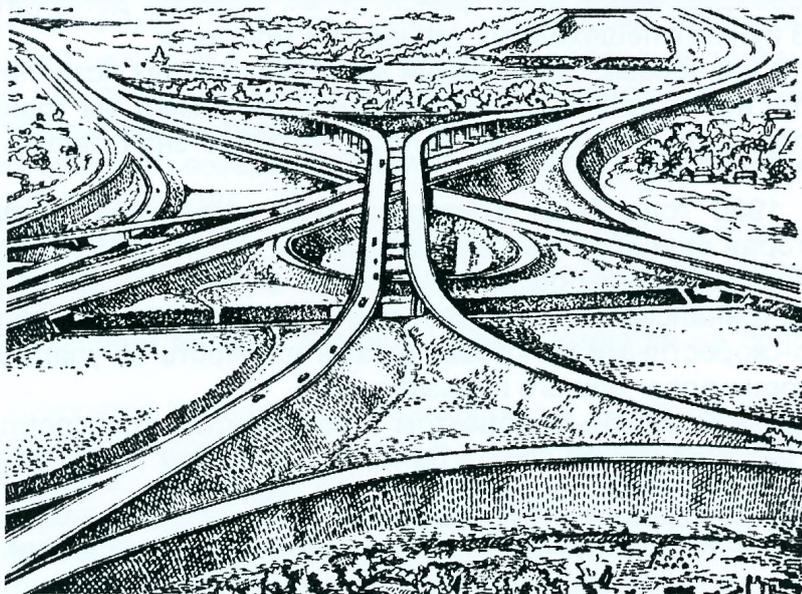


Рис. 31.10. Пересечение автомобильных дорог в трех уровнях у Чикагского аэропорта

В бывшем СССР весной 1936 г. началось строительство первой автомагистрали Москва – Минск протяженностью 706,5 км. На пересечении автомагистрали с дорогой Витебск – Смоленск была запроектирована первая в СССР транспортная развязка по типу клеверного листа. Эта развязка построена уже после Великой Отечественной войны.

В 1956 г. было начато строительство Московской кольцевой автомобильной дороги. К Москве подходит четырнадцать радиальных автомобильных дорог. Основной целью строительства кольцевой дороги являлась разгрузка центра Москвы от транспортных потоков, перемещающихся между периферийными районами города, а также от транзитных потоков. Строительство кольцевой дороги было закончено в ноябре 1962 г. Общая длина ее равна 108,7 км. Среднее удаление дороги от центра города составляет 17,3 км.

На Московской кольцевой дороге было сооружено сорок два пересечения в разных уровнях, выполненных по типу полного и неполного клеверного листа, а в некоторых случа-

ях – в виде простого пересечения без соединительных съездов. На всех транспортных пересечениях была предусмотрена возможность устройства в дальнейшем полной развязки движения. Среднее расстояние между пересечениями равно 2,5 км.

Всего на Московской кольцевой автомобильной дороге было построено восемь пересечений по типу полного клеверного листа (рис. 31.11).

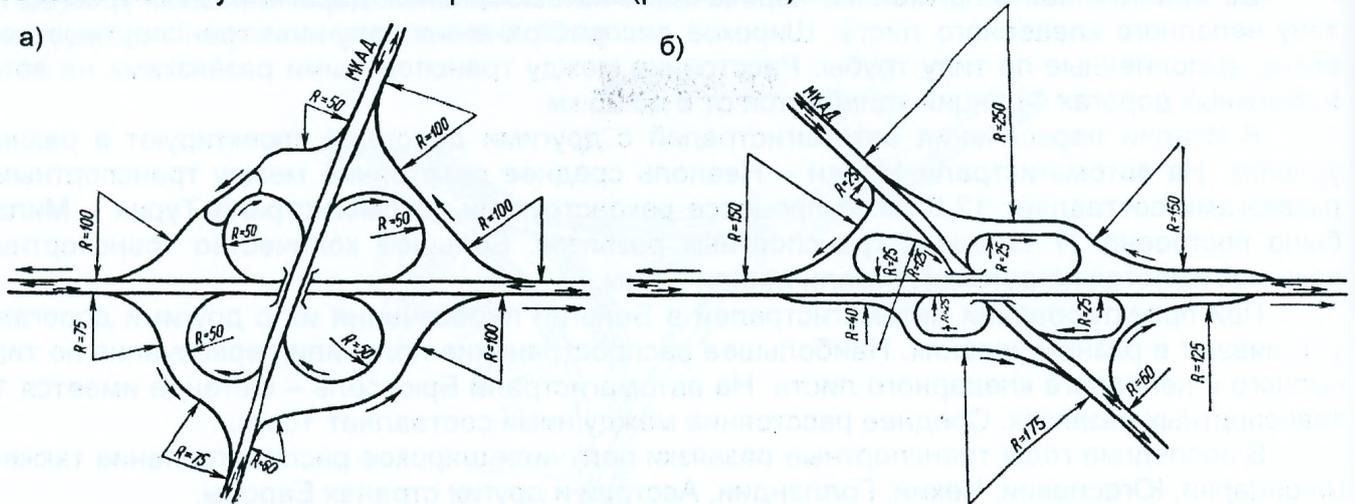


Рис. 31.11. Схемы пересечения по типу клеверного листа: а – обычного типа; б – вытянутого типа

На пересечениях в разных уровнях, построенных на Московской кольцевой автомобильной дороге, съезды, как правило, однополосные. Все путепроводы выполнены из сборного железобетона с предварительно напряженными пролетными строениями.

В результате эксплуатации Московской кольцевой автомобильной дороги выявилась необходимость в дооборудовании ряда транспортных развязок дополнительными съездами и в сооружении в 53 пунктах пешеходных тоннелей и мостиков.

Опыт эксплуатации первых пересечений в разных уровнях позволил внести некоторые улучшения в проекты новых транспортных развязок. Например, на транспортных развязках стали устраивать переходно-скоростные полосы, которые значительно улучшили условия движения.

К олимпиаде 1980 года была построена, так называемая «олимпийская дорога» Брест – Москва, которая вначале проектировалась как дорога I-а категории, и соответственно все пересечения с ней должны были выполняться в разных уровнях. Но в дальнейшем в связи с отсутствием финансирования некоторые примыкания к ней устраивались в одном уровне с переходно-скоростными полосами, и категоричность ее упала до II, а в некоторых местах и до III категории дорог общего пользования.

В настоящее время основным объектом строительства транспортных развязок стала Минская кольцевая автомобильная дорога (МнКАД), основным типом транспортных развязок является «клеверный лист» и «неполный клеверный лист».

31.2. Классификация узлов автомобильных дорог

Автомобильные дороги, образующие дорожную сеть страны, могут пересекаться между собой, примыкать друг к другу или разветвляться на два или несколько направлений (рис. 31.12). Проектирование пересечений, примыканий и разветвлений автомобильных дорог заключается в обеспечении возможности перехода автомобилей с одной дороги на другую.

Участии дорог, на которых возможен переход автомобилей с одного направления на другое, называют **узлами автомобильных дорог**. Их не следует путать с транспортными узлами, которые представляют собой системы различных видов путей сообщения в городах.

К **пересечению** подходят четыре основные направления движения (см. рис. 31.12а): АО, СО, ВО и ДО. На городских площадях к пересечению могут подходить более четырех основных направлений движения (см. рис. 31.12б): АО, ВО, СО, ДО, ЕО и т. д. Пересечения, к которым подходят пять и более направлений движения, могут быть названы **звздообразными**.

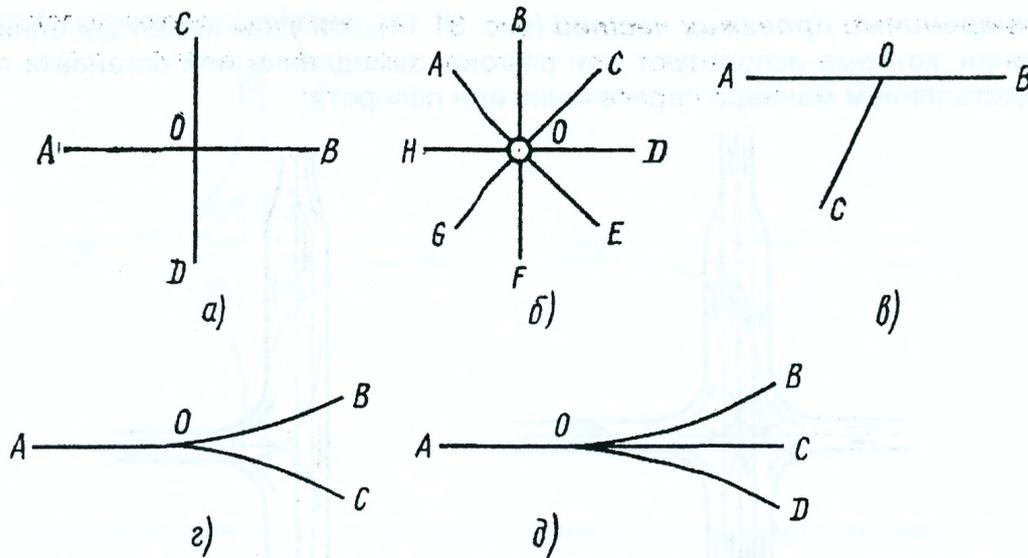


Рис. 31.12. Схемы узлов автомобильных дорог: а – пересечение двух дорог; б – звездообразное пересечение; в – примыкание одной дороги к другой; г – разветвление дороги на два направления; д – разветвление дороги на три направления

К **примыканию** (см. рис. 31.12в) подходят три основных направления движения: АО, ВО и СО. При этом дороги АВ и СО могут быть одинаковой или разной категории.

К **разветвлению** также может подходить три основных направления движения (см. рис. 31.12г): АО, ВО и СО, но в отличие от примыкания таких направлений может быть и больше (см. рис. 31.12д): АО, ВО, СО и ДО.

Другим отличием разветвления от примыкания является то, что дорога АО имеет большее значение (большой грузооборот), чем остальные дороги (ВО, СО, ДО и т. д.). Для разветвления характерны небольшие углы между отдельными дорогами.

По числу уровней различают узлы автомобильных дорог в одном и в разных уровнях (двух, трех, четырех или пяти). **Узлы автомобильных дорог в разных уровнях принято называть транспортными развязками.**

По степени технического совершенства и безопасности движения узлы автомобильных дорог делятся на **три категории**:

I – точки пересечения потоков движения в одном уровне отсутствуют;

II – точки пересечения потоков движения в одном уровне имеются на второстепенных направлениях движения;

III – точки пересечения потоков в одном уровне имеются на основных направлениях движения.

К I категории относится большинство транспортных развязок, ко II категории – некоторые типы транспортных развязок и часть узлов в одном уровне, к III категории – простейшие типы узлов в одном уровне.

Узлы автомобильных дорог в одном уровне по своей конструкции подразделяются на следующие группы:

1) простые (рис. 31.13), не имеющие отдельных съездов для право- и левоповоротных потоков движения; они образуются путем криволинейного сопряжения кромок проезжих частей, подходящих к узлу дорог;

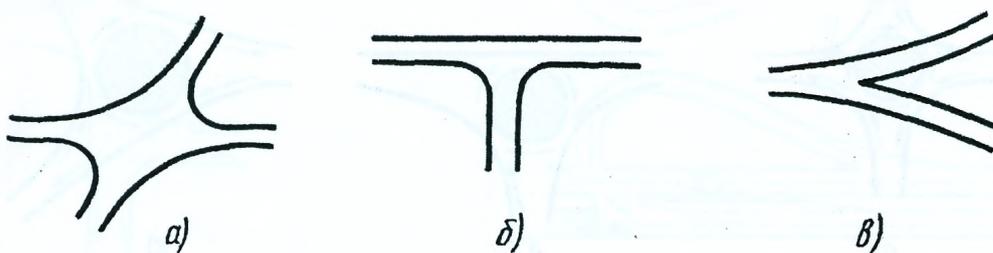


Рис. 31.13. Простые узлы автомобильных дорог в одном уровне: а – пересечение; б – примыкание; в – разветвление

2) с **уширениями проезжих частей** (рис. 31.14); эти узлы имеют дополнительные полосы движения, которые используют для разгона, замедления или остановки автомобилей перед осуществлением маневра пересечения или поворота;

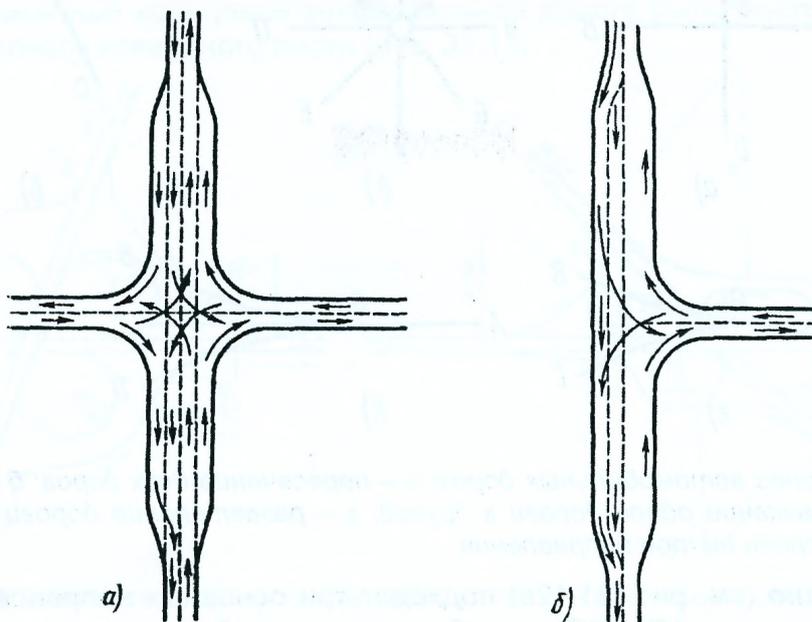


Рис. 31.14. Узлы автомобильных дорог в одном уровне с **уширениями проезжих частей**: а – пересечение с **уширениями на основной дороге**; б – примыкание с **уширениями на основной дороге**

3) с **направляющими островками** (рис. 31.15), предназначенными для регулирования потоков движения;

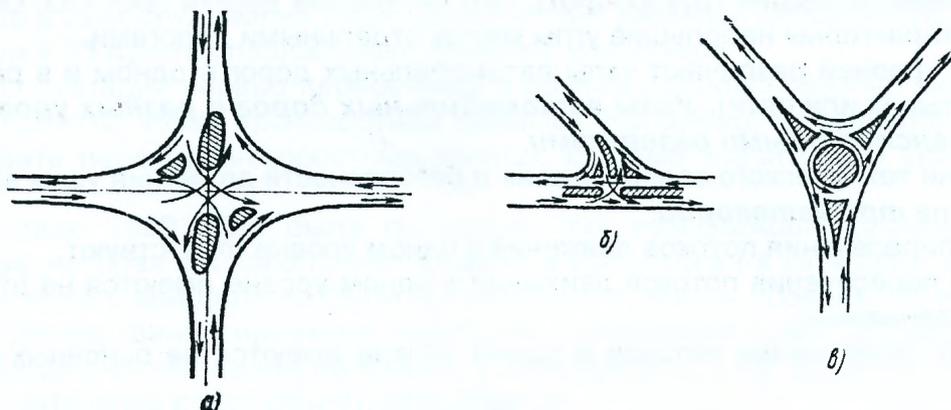


Рис. 31.15. Узлы автомобильных дорог в одном уровне с **направляющими островками**: а – пересечение; б – примыкание; в – разветвление

4) **кольцевого типа** (рис. 31.16); эти узлы имеют в своей основе распределительное кольцо, которое направляет движение подходящих к нему автомобилей против часовой стрелки;

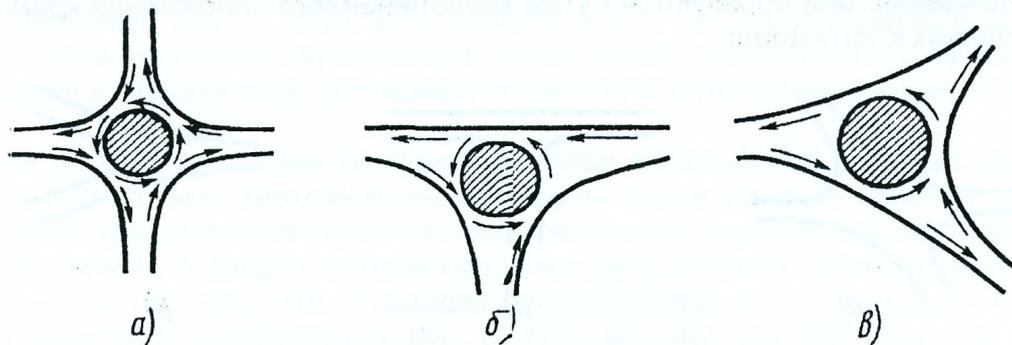


Рис. 31.16. Узлы автомобильных дорог в одном уровне **кольцевого типа**: а – пересечение; б – примыкание; в – разветвление

5) с отдельными съездами (рис. 31.17);

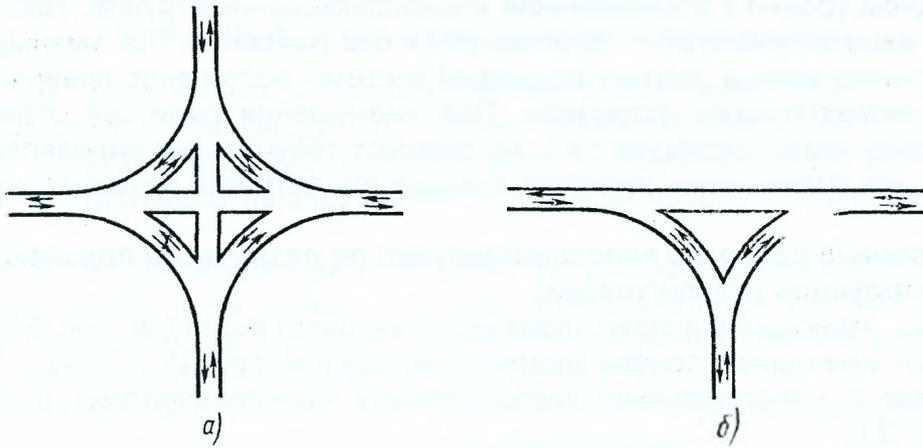


Рис. 31.17. Узлы автомобильных дорог в одном уровне с отдельными съездами: а – пересечение; б – примыкание

б) **комбинированные** (рис. 31.18), которые образуются путем сочетания двух или нескольких перечисленных выше типов узлов;

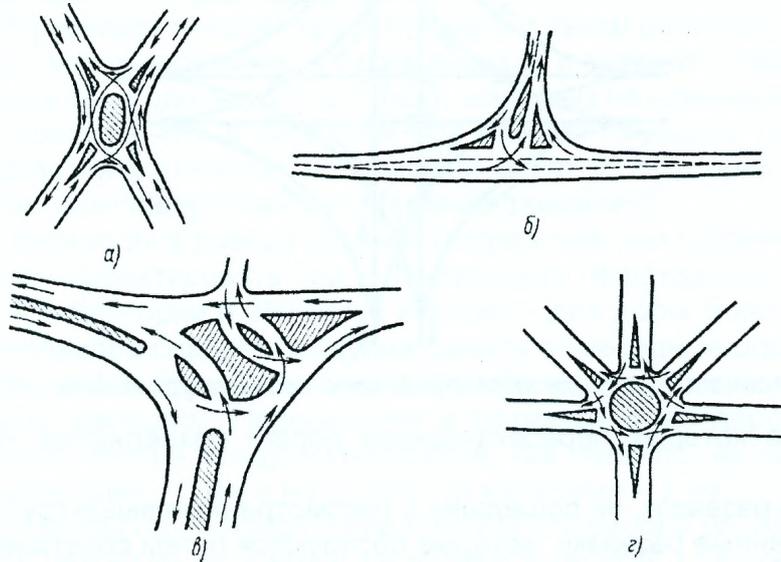


Рис. 31.18. Комбинированные узлы автомобильных дорог в одном уровне: а – кольцевое пересечение с вытянутым кольцом и треугольными направляющими островками; б – примыкание с уширением на основной дороге и с направляющими островками; в – сложное разветвление, в котором кольцевая система сочетается с направляющими островками; г – звездообразное пересечение кольцевого типа с остроугольными направляющими островками

7) **прочие**, не вошедшие в рассмотренные выше группы (рис. 31.19, 31.20).

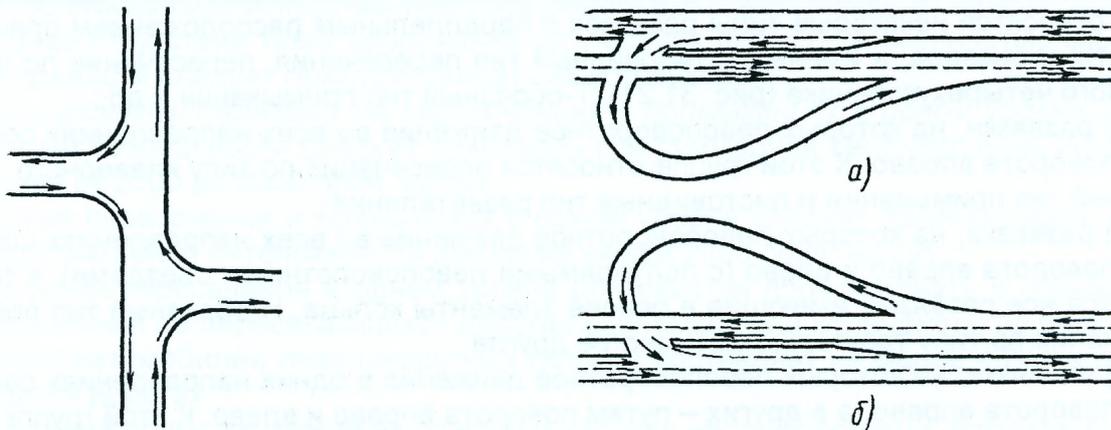


Рис. 31.19. Ступенчатый тип пересечения дорог в одном уровне

Рис. 31.20. Возвратный пункт в одном уровне: а – с разворотом влево; б – с разворотом вправо

Следует отметить, что не всегда можно четко отнести тот или иной узел автомобильных дорог в одном уровне к определенной классификационной группе. Так, например, узлы с уширениями мало отличаются от простых узлов без уширения. При уменьшении диаметра распределительного кольца узел из кольцевой системы постепенно превращается в узел с центральным направляющим островком. При уменьшении радиусов отдельных съездов промежутки между ними сокращаются и напоминают треугольные направляющие островки, а при дальнейшем уменьшении радиусов съездов эти островки исчезают и узел превращается в простой.

Транспортные развязки классифицируют по различным признакам.

I. По конструкции (конфигурации):

- 1) развязки, имеющие в основе элементы клеверного листа (см. рис. 31.2, 31.5);
- 2) развязки, имеющие в основе элементы кольца (см. рис. 31.3, 31.4);
- 3) развязки с параллельным расположением правоповоротных и левоповоротных съездов (рис. 31.21);

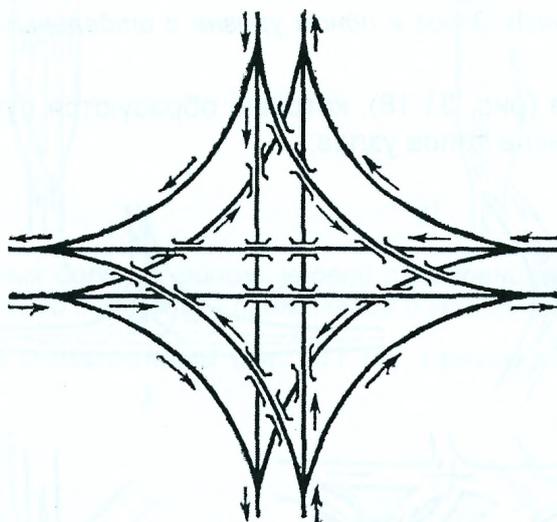


Рис. 31.21. Схема пересечения по типу криволинейного четырехугольника

4) развязки, на которых пересекающиеся дороги разделяются на отдельные ветви (см. рис. 31.7а);

5) прочие типы развязок, не вошедшие в рассмотренные выше группы;

6) комбинированные развязки, которые образуются путем сочетания отдельных типовых схем или их элементов (см. рис. 31.7б).

II. По способу осуществления левоповоротного движения. Так как в нашей стране принято правостороннее движение, то при проектировании транспортных развязок наибольшую сложность представляет вопрос организации левоповоротного движения. По способу осуществления левоповоротного движения различают:

1) развязки, на которых левоповоротное движение во всех направлениях совершается путем непосредственного поворота влево (с прямыми левоповоротными съездами). К этой группе относятся некоторые типы развязок с параллельным расположением право- и левоповоротных съездов, а именно: ромбовидный тип пересечения, пересечение по типу криволинейного четырехугольника (рис. 31.21), Т-образный тип примыкания и др.;

2) развязки, на которых левоповоротное движение во всех направлениях совершается путем поворота вправо. К этой группе относятся пересечение по типу клеверного листа, листовидный тип примыкания и листовидный тип разветвления;

3) развязки, на которых левоповоротное движение во всех направлениях совершается путем поворота вправо и влево (с полупрямыми левоповоротными съездами). К этой группе относятся все развязки, имеющие в основе элементы кольца, Н-образный тип пересечения, примыкание по типу треугольника и многие другие;

4) развязки, на которых левоповоротное движение в одних направлениях совершается путем поворота вправо, а в других — путем поворота вправо и влево. К этой группе относятся некоторые типы комбинированных развязок, примыкание по типу трубы (см. рис. 31.5) и разветвление по типу трубы.

31.3. Назначение норм на проектирование пересечений и примыканий

31.3.1. Выбор типа пересечения и примыкания

Выбор типа пересечения и примыкания автомобильных дорог в соответствии со СНиП 2.05.02-85 следует производить на основе технико-экономического сравнения различных вариантов с учетом значения и категорий дорог, а также величины и соотношения потоков движения по отдельным направлениям дорог, подходящих к пересечению и примыканию.

Пересечения и примыкания автомобильных дорог, как правило, следует располагать на свободах площадках и на прямых участках пересекающихся или примыкающих дорог. Продольные уклоны дорог на подходах к пересечениям на протяжении расстояний видимости для остановки автомобиля не должны превышать 40‰.

Пересечения автомобильных дорог и примыкания в разных уровнях (транспортные развязки) проектируются, как правило, в следующих случаях:

– на дорогах I-а категории с автомобильными дорогами всех категорий и на дорогах I-б и II категорий с дорогами II и III категорий;

– при пересечениях дорог III категории между собой и их примыканиях при перспективной интенсивности движения на пересечении (в сумме для обеих пересекающихся или примыкающих дорог) более 8000 прив. ед/сут.

Транспортные развязки следует проектировать с таким расчетом, чтобы на дорогах I и II категорий не было левых поворотов, а также въездов и съездов с левыми поворотами, при которых пересекались бы в одном уровне потоки основных направлений движения.

При этом на дорогах I-б и II категорий при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается устройство примыканий дорог III категории в одном уровне (при обязательном отгоне левоповоротных направлений движения).

Пешеходные переходы в разных уровнях (подземные или надземные) через дороги I-б и II категорий следует проектировать при интенсивности пешеходного движения 100 чел/ч и более – для дорог I-б категории и 250 чел/ч и более – для дорог II категории. В местах расположения таких переходов следует предусматривать пешеходные ограждения.

Число пересечений и примыканий на автомобильных дорогах I-III категорий должно быть по возможности меньшим. Пересечения и примыкания на дорогах I-а категории вне пределов населенных пунктов предусматриваются, как правило, не чаще чем через 10 км, на дорогах I-б и II категории – 5 км, а на дорогах III категории – 2 км.

Все съезды и въезды на подходах к дорогам I-III категорий должны иметь покрытия:

– при песчаных, супесчаных и легких суглинистых грунтах – на протяжении 100 м;

– при черноземах, глинистых, тяжелых и пылеватых суглинистых грунтах – 200 м.

Протяженность покрытий въездов на дороги IV категории следует предусматривать в 2 раза меньшей, чем въездов на дороги I-III категорий.

Обочины на съездах и въездах на длине дорог, приведенной выше, следует укреплять на ширину не менее 0,50-0,75 м.

Полевые дороги и скотопрогоны при пересечении с дорогами I-III категорий следует отводить под ближайшие искусственные сооружения с соответствующим их обустройством.

В случае отсутствия таких сооружений на участках дорог протяженностью свыше 2 км при необходимости следует предусматривать их устройство.

Схемы развязки движения на пересечениях и примыканиях в одном уровне с островками и зонами безопасности следует принимать при суммарной перспективной интенсивности движения от 2000 до 8000 прив. ед/сут.

Простые пересечения и примыкания в одном уровне следует проектировать при суммарной перспективной интенсивности движения менее 2000 прив. ед/сут.

Кольцевые пересечения в одном уровне допускается проектировать в случаях, когда размеры движения на пересекающихся дорогах одинаковы или отличаются не более чем на 20%, а число автомобилей левоповоротных потоков составляет не менее 40% на обеих пересекающихся дорогах.

Выделение полос движения на основных дорогах направляющими островками без возвышения над проезжей частью следует предусматривать в виде разметки соответствующих зон.

Пересечения и примыкания дорог в одном уровне независимо от схемы пересечений рекомендуется выполнять под прямым или близким к нему углом. В случаях, когда транспортные потоки не пересекаются, а разветвляются или сливаются, допускается устраивать пересечения дорог под любым углом с учетом обеспечения видимости.

Наименьший радиус кривых при сопряжениях дорог в местах пересечений или примыканий в одном уровне следует принимать по категории дороги, с которой происходит съезд, независимо от угла пересечения и примыкания:

- при съездах с дорог I, II категорий – не менее 25 м;
- при съездах с дорог III категории – 20 м;
- при съездах с дорог IV, V категорий – 15 м.

При расчете на регулярное движение автопоездов (более 25% в составе потока) радиусы кривых на съездах следует увеличивать до 30 м.

Сопряжение дорог в одном уровне следует выполнять с применением переходных кривых.

На пересечениях и примыканиях автомобильных дорог в одном уровне должна быть обеспечена видимость пересекающего или примыкающего направления на расстояние, определенное категорией дороги.

Расположение примыканий на участках выпуклых кривых в продольном профиле и с внутренней стороны закруглений в плане допускается только в исключительных случаях.

Элементы соединительных ответвлений транспортных развязок в целях уменьшения общей площади их размещения следует проектировать исходя из переменной скорости движения.

Правоповоротные съезды на пересечениях в разных уровнях следует проектировать из условия обеспечения расчетных скоростей на них не менее 60 км/ч для съездов с дорог I и II категорий и не менее 50 км/ч – с дорог III категории, причем при острых углах примыкания дорог их следует выполнять единой кривой без прямых вставок. Сопряжения с применением обратных кривых допускаются только в исключительных случаях.

Радиусы кривых левоповоротных съездов пересечений и примыканий с элементами транспортных развязок типа «клеверный лист» следует принимать равными не менее 60 м для дорог I и II категорий и не менее 50 м для дорог III категории. Левоповоротные съезды должны сопрягаться с участками прямых направлений через переходные кривые.

В особо стесненных условиях при пересечении или примыкании автомобильных дорог IV и V категорий допускается устройство «обжатых» транспортных развязок (типа «клеверный лист») с уменьшением радиусов левоповоротных съездов до 30 м.

Съезды с дорог I-III категорий и въезды на них следует осуществлять с устройством переходно-скоростных полос.

Ширину проезжей части на всем протяжении левоповоротных съездов пересечений и примыканий в разных уровнях следует принимать 5,5 м, а правоповоротных съездов – 5,0 м без дополнительного уширения на кривых.

Ширина обочин с внутренней стороны закруглений должна быть не менее 1,5 м, с внешней – 3,0 м.

Продольные уклоны на съездах следует принимать не более 40‰. На однополосных съездах следует предусматривать устройство виражей с поперечным уклоном 20-60‰ с учетом общих указаний по их проектированию.

Минимальные радиусы выпуклых кривых в продольном профиле на съездах следует принимать в соответствии с расчетными скоростями. Двухполосные съезды следует проектировать для дорог I категории из условия, что каждая полоса движения имеет ширину 3,75 м, и предусматривать уширение на кривых.

Путепроводы транспортных развязок через дороги всех категорий следует проектировать по СНиП 2.05.03-84.

При назначении приближения сооружений следует учитывать возможность перспективного развития дороги.

К геометрическим элементам пересечений и примыканий автомобильных дорог относятся:

- ширина проезжей части и земляного полотна съездов;
- радиусы закруглений съездов;
- длина путей разгона и замедления;

- размеры переходно-скоростных полос;
- длина накопительных полос для стоянки левоповоротных автомобилей, ожидающих безопасного момента для осуществления левых поворотов;
- длина переходных кривых и отгонов виражей;
- наибольшие продольные уклоны съездов транспортных развязок;
- наименьшие радиусы вертикальных кривых;
- размеры распределительного кольца и направляющих островков.

Для определения размеров указанных геометрических элементов необходимо знать следующие параметры:

- значения расчетных скоростей на основных и поворотных направлениях движения;
- эксплуатационные качества автомобилей;
- коэффициенты сцепления шин с поверхностью дороги;
- степень нарастания центробежного ускорения автомобиля;
- расчетные интенсивности движения на основных направлениях и на поворотах.

31.3.2. Выбор коэффициентов сцепления

Для установления различных геометрических элементов пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном и разных уровнях необходимо знать значение коэффициента сцепления шин с покрытием φ .

На значение коэффициента сцепления оказывают влияние следующие факторы:

- тип покрытия;
- ровность;
- шероховатость;
- состояние поверхности покрытия (сухое, мокрое, чистое, грязное и т. д.);
- степень износа покрытия;
- материал шины;
- рисунок протектора;
- внутреннее давление в шине
- степень износа шин;
- скорость движения.

При сухом и чистом состоянии поверхности покрытия коэффициент φ почти не зависит от скорости движения, очень мало зависит от типа покрытия и шероховатости его поверхности и колеблется в пределах 0,6-0,8. На сухом покрытии даже при гладких шинах коэффициент φ не бывает меньше 0,5. При влажном состоянии поверхности покрытия φ зависит от скорости движения, типа покрытия и характера его поверхности (ровности и шероховатости) и типа шин. На влажной дороге значение φ меньше, чем на сухой, и, как правило, снижается с увеличением скорости движения, причем при очень гладкой поверхности снижение происходит быстро, а с увеличением шероховатости снижение значительно уменьшается.

На цементно-бетонных покрытиях коэффициент φ при влажном состоянии поверхности покрытия снижается незначительно и составляет 0,6-0,7. На влажных покрытиях из горячего и холодного асфальтобетона, а также из щебеночных и гравийных материалов, обработанных органическими вяжущими, коэффициент снижается до 0,3-0,5. На мокрой и загрязненной поверхности покрытий переходного и низшего типов φ составляет 0,2-0,3.

Если автомобиль движется по кривой, то полную силу сцепления $Q\varphi$ шин с покрытием можно разложить на две составляющие: продольную $Q\varphi_1$ и поперечную $Q\varphi_2$, поскольку в этом случае на колесо автомобиля действует поперечная сила Z и продольная сила F (тяговое или тормозное усилие) (рис. 31.22).

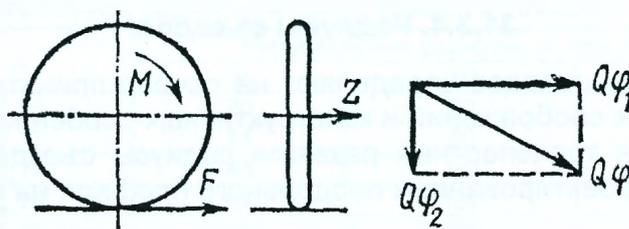


Рис. 31.22. Разложение полной величины силы сцепления на продольную и поперечную составляющие

Расчетные значения коэффициентов φ_1 и φ_2 , которые рекомендуется принимать при проектировании пересечений и примыканий автомобильных дорог приведены в табл. 31.1.

Таблица 31.1. Значения коэффициентов сцепления

Типы покрытия	Коэффициент полного сцепления φ	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Коэффициент поперечного сцепления φ_2
Цементно-бетонные	0,60	0,48	0,36
Асфальтобетонные и обработанные органическими вяжущими материалами	0,40	0,32	0,24
Переходного и низшего типов	0,30	0,24	0,18

31.3.3. Выбор коэффициента поперечной силы

Для обеспечения устойчивости автомобиля на кривой необходимо, чтобы коэффициент поперечной силы μ , представляющий собой отношение поперечной силы Z к массе автомобиля Q , не превышал значения коэффициента поперечного сцепления φ_2 , т.е. $\mu \leq \varphi_2$. При несоблюдении этого условия автомобиль сместится с полосы движения.

Кроме того, при большом значении коэффициента μ резко снижаются удобства движения, так как пассажир испытывает сильное воздействие центробежной силы.

Максимально допустимое значение коэффициента μ , с точки зрения удобства пассажиров, равно 0,30, но при этом поворот кажется опасным, угрожающим опрокидыванием. При значении коэффициента $\mu=0,15$ кривая пассажирами ощущается слабо, а при $\mu=0,10$ — не ощущается.

Практические исследования показали, что уже при коэффициенте $\mu=0,20$ пассажир, ясно ощущая движение по кривой, испытывает некоторое неудобство, а при $\mu>0,25$ проезд по кривой становится очень неудобным.

Следовательно, для обеспечения удобства движения пассажира по кривой величину коэффициента μ нужно принимать не более 0,20.

В результате изучения режимов движения транспортных потоков на кривых малых радиусов установлено, что наибольшие значения коэффициента поперечной силы μ , характерные для наблюдаемых средних скоростей движения автомобилей, равны 0,25-0,28. При этом коэффициент поперечной силы зависит от скорости движения автомобиля, уменьшаясь с увеличением скорости.

При проектировании съездов на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог в одном и разных уровнях можно рекомендовать определение коэффициента поперечной силы по графику, представленному на рис. 31.23.

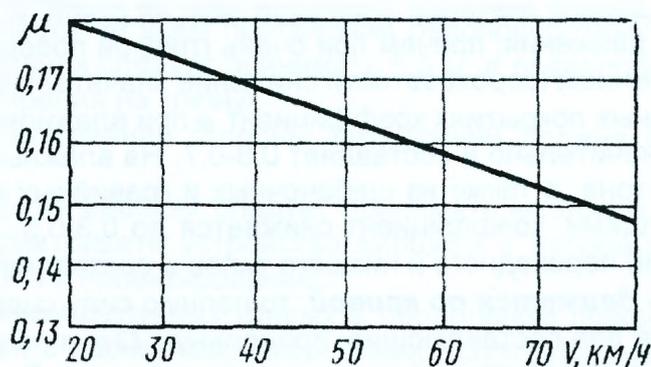


Рис. 31.23. График зависимости коэффициента поперечной силы от скорости

31.3.4. Радиусы съездов

Наименьшие радиусы съездов определяют на основе принятых расчетных скоростей на съездах, экономических соображений и конструктивных особенностей отдельных пересечений и примыканий. Для транспортных развязок радиусы съездов в некоторых случаях приходится увязывать с проектированием продольного профиля на съездах и примыкающих к ним дорогах.

Минимальный радиус съездов из условия удобства и безопасности движения определяют по формуле

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \cdot (\mu \pm i)}, \quad (31.1)$$

где V – расчетная скорость движения, км/ч; μ – коэффициент поперечной силы; i – поперечный уклон проезжей части на съезде.

При наличии виража минимальный радиус определяют по формуле

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \cdot (\mu + i_v)}, \quad (31.2)$$

где i_v – поперечный уклон виража.

При двускатном поперечном уклоне на двухполосном съезде или при односкатном уклоне, направленном в противоположную сторону по отношению к уклону виража (так называемый обратный вираж), минимальный радиус определяют по формуле

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \cdot (\mu - i_n)}, \quad (31.3)$$

где i_n – поперечный уклон проезжей части.

Значения расчетных скоростей на правоповоротных съездах установлены СНиП 2.05.02-85 для полных транспортных развязок: не менее 60 км/ч с дорог I и II категорий и не менее 50 км/ч с дорог III категории. Для левоповоротных съездов минимальные расчетные скорости не устанавливаются, но нормируются минимальные радиусы кривых левоповоротных съездов транспортных развязок типа «клеверный лист»: не менее 60 м для дорог I и II категорий и не менее 50 м для дорог III категории. В особо стесненных условиях при пересечении или примыкании автомобильных дорог IV и V категорий допускается устройство «обжатых» транспортных развязок (типа «клеверный лист») с уменьшением радиусов левоповоротных съездов до 30 м. При обратном пересчете по формулам 31.1-31.2 минимальные расчетные скорости находятся в пределах: для съездов с дорог I и II категорий – 40 км/ч и для съездов с дорог III категории – 35 км/ч.

Расчетные скорости для пересечений и примыканий дорог в одном уровне СНиП 2.05.02-85 не установлены. Имеются лишь рекомендации в отношении наименьших радиусов съездов с дорог. При съезде с дорог I и II категорий радиус съезда должен быть не менее 25 м, при съезде с дорог III категории – не менее 20 м и при съезде с дорог IV и V категорий – не менее 15 м. При расчете на регулярное движение автопоездов радиусы кривых на съездах должны быть не менее 30 м.

Значения наименьших радиусов горизонтальных кривых на съездах приведены в табл. 31.2 и 31.3. Здесь радиусы даны для скоростей от 20 до 80 км/ч, так как расчетные скорости на съездах, транспортных развязок могут достигать 80 км/ч. В табл. 31.2 приведены минимальные радиусы при наличии виража, а в табл. 31.3 – при его отсутствии.

Таблица 31.2. Наименьшие радиусы горизонтальных кривых на съездах при наличии виража

V, км/ч	μ	Минимальные радиусы, м, при уклоне виража i_v , ‰				
		20	30	40	50	60
20	0,18	15	15	15	15	15
30	0,17	35	35	35	35	30
40	0,17	65	65	60	55	55
50	0,16	110	105	100	95	90
60	0,16	160	150	140	135	130
70	0,15	225	215	200	195	190
80	0,15	295	280	270	250	240

Таблица 31.3. Наименьшие радиусы горизонтальных кривых на съездах при отсутствии виража

V, км/ч	μ	Минимальные радиусы, м, при поперечном уклоне i_n , ‰			
		35	30	25	20
20	0,18	20	20	20	20
30	0,17	55	50	50	45
40	0,17	95	90	90	85
50	0,16	160	150	145	140
60	0,16	230	220	210	200
70	0,15	330	320	310	300
80	0,15	440	420	400	390

31.3.5. Установление ширины проезжей части и земляного полотна на съездах

На пересечениях и примыканиях автомобильных дорог съезды могут быть однополосными и двухполосными и иметь прямолинейные и криволинейные участки.

Установление ширины проезжей части и земляного полотна на прямолинейных участках. Ширину одной полосы движения определяют по формулам:

– для однополосной дороги (м)

$$П_1 = c + 1,0 + 0,01 \cdot V; \quad (31.4)$$

– для двухполосной дороги с двусторонним движением (м)

$$П_2 = \frac{a+c}{2} + 1,0 + 0,01 \cdot V, \quad (31.5)$$

где a – ширина кузова, м; c – ширина колеи, м; V – скорость движения автомобиля, км/ч.

В табл. 31.4 и 31.5 приведены значения $П_1$ и $П_2$, подсчитанные по формулам (31.4) и (31.5) для различных марок наиболее распространенных на дорогах Беларуси грузовых автомобилей. Для легковых автомобилей расчет не производится, так как при принятых на транспортных развязках скоростях до 80 км/ч грузовые автомобили дают большие значения $П_1$ и $П_2$, чем легковые, вследствие больших значений a и c .

Таблица 31.4. Значения ширины проезжей части $П_1$

Марки грузовых автомобилей	Максимальная скорость движения, км/ч	Ширина колеи c , м	Ширина полосы движения $П_1$, м, при скорости движения, км/ч							
			20	30	40	50	60	70	80	
ГАЗ-51А	70	1,65	2,85	2,95	3,05	3,15	3,25	3,35	–	
ГАЗ-53А	80-85	1,69	2,89	2,99	3,09	3,19	3,29	3,39	3,49	
ЗИЛ-130	90	1,79	2,99	3,09	3,19	3,29	3,39	3,49	3,59	
ЗИЛ-157К	65	1,75	2,95	3,05	3,15	3,25	3,35	–	–	
КрАЗ-257	70	1,92	3,12	3,22	3,32	3,42	3,52	3,62	–	
МАЗ-500	75	1,90	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	–	
Урал-377	75	2,00	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70	–	

Таблица 31.5. Значения ширины проезжей части $П_2$

Марки грузовых автомобилей	Максимальная скорость движения, км/ч	Ширина колеи c , м	Ширина кузова a , м	Ширина полосы движения $П_2$, м, при скорости движения, км/ч							
				20	30	40	50	60	70	80	
ГАЗ-51А	70	1,65	2,28	3,16	3,26	3,36	3,46	3,56	3,66	–	
ГАЗ-53А	80-85	1,69	2,38	3,24	3,34	3,44	3,54	3,64	3,74	3,84	
ЗИЛ-130	90	1,79	2,50	3,34	3,44	3,54	3,64	3,74	3,84	3,94	
ЗИЛ-157К	65	1,75	2,32	3,24	3,34	3,44	3,54	3,64	–	–	
КрАЗ-257	70	1,92	2,65	3,48	3,58	3,68	3,78	3,88	3,98	–	
МАЗ-500	75	1,90	2,65	3,48	2,58	3,68	3,78	3,88	3,98	–	
Урал-377	75	2,00	2,50	3,45	3,55	3,65	3,75	3,85	3,95	–	

На основании данных, приведенных в табл. 31.4 и 31.5, можно рекомендовать следующие значения ширины полосы движения $П$ и проезжей части b на прямолинейных участках съездов:

- однополосных: при $V < 40$ км/ч – $П_1 = 3,25$ м, $b_1 = П_1 = 3,25$ м;
при $V \geq 40$ км/ч – $П_1 = 3,50$ м, $b_1 = П_1 = 3,50$ м;
- двухполосных: при $V < 40$ км/ч – $П_2 = 3,50$ м, $b_2 = 2П_2 = 7,00$ м;
при $V \geq 40$ км/ч – $П_2 = 3,75$ м, $b_2 = 2П_2 = 7,50$ м;

Ширину земляного полотна однополосных съездов следует принимать таких размеров, чтобы на одной из обочин мог поместиться автомобиль в случае вынужденной остановки, для чего эта обочина должна иметь ширину не менее 3,0 м; ширина другой обочины должна быть не менее 1,5 м (СНиП 2.05.02-85). Это относится как к транспортным развязкам, так и к узлам автомобильных дорог в одном уровне.

Ширину обочин на двухполосных съездах СНиП 2.05.02-85 не регламентируют. При $V < 40$ км/ч эту ширину можно принимать равной 2,0 м, а при $V \geq 40$ км/ч – 2,5 м.

В табл. 31.6 приведены рекомендуемые минимальные расчетные значения ширины проезжей части и земляного полотна на прямолинейных участках одно- и двухполосных съездов.

Таблица 31.6. Рекомендуемые минимальные расчетные значения ширины проезжей части и земляного полотна на прямолинейных участках

Показатели	Однополосные съезды при V, км/ч		Двухполосные съезды при V, км/ч	
	<40	≥40	<40	≥40
Ширина полосы движения, м	3,25	3,50	3,50	3,75
Ширина проезжей части, м	3,25	3,50	7,00	7,50
Ширина земляного полотна, м	7,75	8,00	11,00	12,50

Установление ширины проезжей части и земляного полотна на криволинейных участках съездов. На криволинейных участках съездов необходимо производить уширение проезжей части, так как при движении автомобиля по кривой требуется полоса движения большей ширины, чем при движении по прямой, вследствие того, что колеса автомобиля перемещаются по траекториям разного радиуса: заднее внутреннее колесо описывает дугу окружности минимального радиуса, а переднее наружное – максимального радиуса.

Значение уширения проезжей части на криволинейных участках однополосных съездов e_1 (в м) приближенно можно определить по схеме, приведенной на рис. 31.24, рассматривая базу автомобиля L как перпендикуляр к диаметру $2(R+b_1/2)$

$$e_1 = \frac{L^2}{2R + b_1}, \quad (31.6)$$

где b_1 – ширина проезжей части одной полосы движения, м.

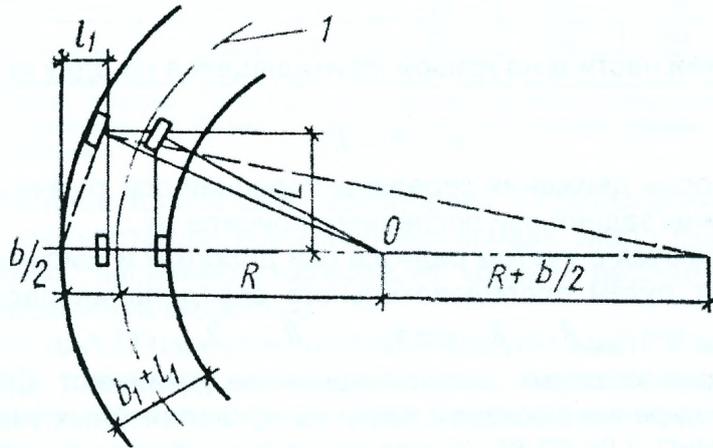


Рис. 31.24. Схема для определения уширения проезжей части на однополосном съезде: 1 – ось проезжей части

Формула (31.6) не учитывает влияния скорости движения автомобиля на величину необходимой ширины проезжей части на кривой. Для учета влияния скорости в полученную формулу вводится установленная эмпирическим путем поправка, равная $0,05 \cdot V / \sqrt{R}$, где V – расчетная скорость движения автомобиля на съезде, км/ч.

При этом формула (31.6) принимает следующий вид

$$e_1 = \frac{L^2}{2R + b_1} + \frac{0,05 \cdot V}{\sqrt{R}}. \quad (31.7)$$

Уширение проезжей части (в м) на двухполосных съездах следует определять по формуле

$$e_2 = \frac{L^2}{R} + \frac{0,1 \cdot V}{\sqrt{R}}. \quad (31.8)$$

При этом рекомендованное значение $L=6$ м.

При установлении ширины проезжей части на съездах необходимо предусмотреть возможность движения автопоездов. Автопоезда на ширину проезжей части прямолинейных участков съездов существенного влияния не оказывают, и она остается такой же, как и для одиночных автомобилей. Но зато автопоезда оказывают очень сильное влияние на ширину проезжей части криволинейных участков съездов.

На рис. 31.25 показано положение тягача с прицепом на кривой. Вследствие того что колеса тягача и прицепа движутся по кривым разного радиуса, автопоезд занимает полосу движения шириной $b_{ан} = b + e$, где $b_{ан}$ – ширина полосы проезжей части на кривой при движении автопоезда, м; b – ширина полосы проезжей части на прямом участке дороги, м.

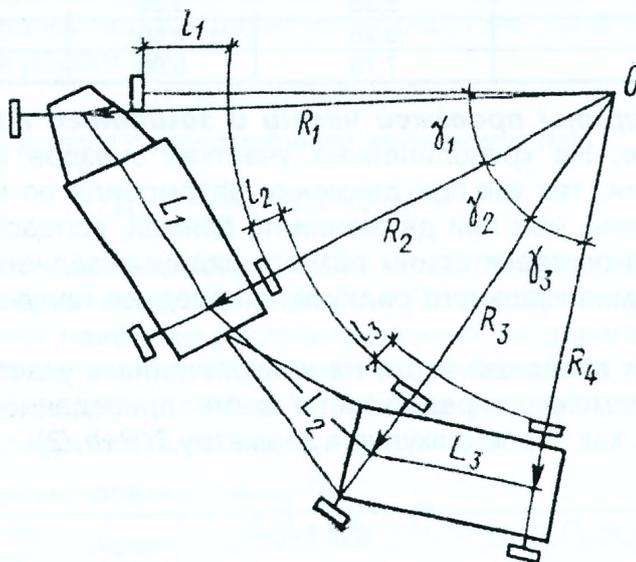


Рис. 31.25. Схема для определения уширения проезжей части на съездах при движении автопоездов

Уширение проезжей части e на кривой, приходящееся на одну полосу движения, будет равно

$$e \approx R_1 - R_n, \quad (31.9)$$

где R_1 – радиус траектории движения середины передней оси тягача, м; R_n – радиус траектории движения середины задней оси последнего прицепа, м.

Значением R_1 задаются с учетом радиуса оси дороги R и ширины проезжей части. Радиус R_n устанавливают путем последовательного определения радиусов R_2, R_3, \dots, R_{n-1} (см. рис. 31.25): $R_2 = R_1 \cdot \cos \gamma_1, R_3 = R_2 \cdot \cos \gamma_2, \dots, R_n = R_{n-1} \cdot \cos \gamma_{n-1}$.

При устройстве двухполосных съездов уширение удваивают. Для одиночных автомобилей и автопоездов уширение проезжей части на криволинейных участках съездов можно принимать также по СНиП 2.05.02-85. Уширение проезжей части съездов на кривых производят за счет внутренней обочины, но при условии, чтобы оставшаяся часть обочины имела ширину не менее 1,5 м. В противном случае земляное полотно съезда соответственно уширяют. Если съезды проходят в высоких насыпях, то производят дополнительное уширение земляного полотна на 0,5 м с каждой стороны для установки оградительных тумб.

Для обеспечения безопасного и удобного движения автопоездов и крупногабаритных автомобилей может потребоваться весьма значительное уширение проезжей части на криволинейных участках съездов, вследствие чего общая ширина проезжей части будет намного больше, чем на прямолинейных.

СНиП 2.05.02-85 рекомендует принимать ширину проезжей части на однополосных левоповоротных съездах транспортных развязок равной 5,5 м, а на правоповоротных – 5,0 м без дополнительного уширения на кривых. Указанные значения ширины проезжей части предлагается принимать на всем протяжении съездов, т. е. не только на криволинейных участках, но и на прямолинейных.

31.3.6. Определение длины переходных кривых

Наименьшая длина переходной кривой, рассчитанная на постоянную скорость движения по ней, определяется по формуле

$$L = \frac{V^3}{47 \cdot R \cdot J}, \quad (31.10)$$

где V – расчетная скорость движения по кривой, км/ч; R – радиус круговой (основной) кривой, м; J – степень нарастания центробежного ускорения, м/с^3 .

Чем больше значение J , тем меньше удобство движения для водителя и пассажиров. Максимально допустимое значение принимается равным $0,6 \text{ м/с}^3$. В исключительных случаях (в стесненных условиях) значение J можно увеличить до $1,0 \text{ м/с}^3$. При $J > 1,0 \text{ м/с}^3$, кроме ухудшения удобства движения, возможно значительное смещение автомобиля с траектории переходной кривой. Наименьшие длины переходных кривых, соответствующие $J = 0,6 \text{ м/с}^3$, приведены в табл. 31.7.

Таблица 31.7. Наименьшие длины переходных кривых

Радиусы основной кривой, м	Длина переходных кривых, м, при скорости движения, км/ч									
	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
15	20									
20	—	25								
30	—	20	30							
40	—	—	25							
50	—	—	20							
60	—	—	20	40						
70	—	—	—	30						
80	—	—	—	30						
90	—	—	—	30	50					
100	—	—	—	25	50					
125	—	—	—	20	40					
150	—	—	—	—	30	50				
175	—	—	—	—	25	40				
200	—	—	—	—	25	40	60			
250	—	—	—	—	20	30	50	70		
300	—	—	—	—	20	30	40	60		
400	—	—	—	—	—	20	30	50	70	90

Примечания. 1. Для пустых ячеек таблицы длины переходных кривых не подсчитываются ввиду того, что соответствующие им радиусы меньше минимальных. 2. Прочерки в таблице соответствуют длинам переходных кривых менее 20 м, которые применять нецелесообразно.

В качестве переходной кривой для пересечений и примыканий автомобильных дорог рекомендуется радиоида (клотоида) или коробовая кривая. Могут быть применены и другие виды переходных кривых, например «тормозные» кривые, рассчитанные на движение по ним автомобилей с переменной скоростью.

При установлении длины переходной кривой следует иметь в виду, что она не должна быть меньше расчетной длины отгона виража, так как переходная кривая и отгон виража должны быть совмещены. Во всех случаях длина переходной кривой должна быть достаточной для размещения на ней отгона виража.

31.3.7. Определение длины отгона виража

Наименьшую или расчетную длину отгона виража для двускатного поперечного профиля съезда (рис. 31.26а) определяют по формуле

$$L = \frac{b \cdot i_a}{i_2}, \quad (31.11)$$

где b – ширина проезжей части съезда, м; i_a – поперечный уклон виража, ‰; i_2 – наибольший продольный уклон отгона виража, ‰.

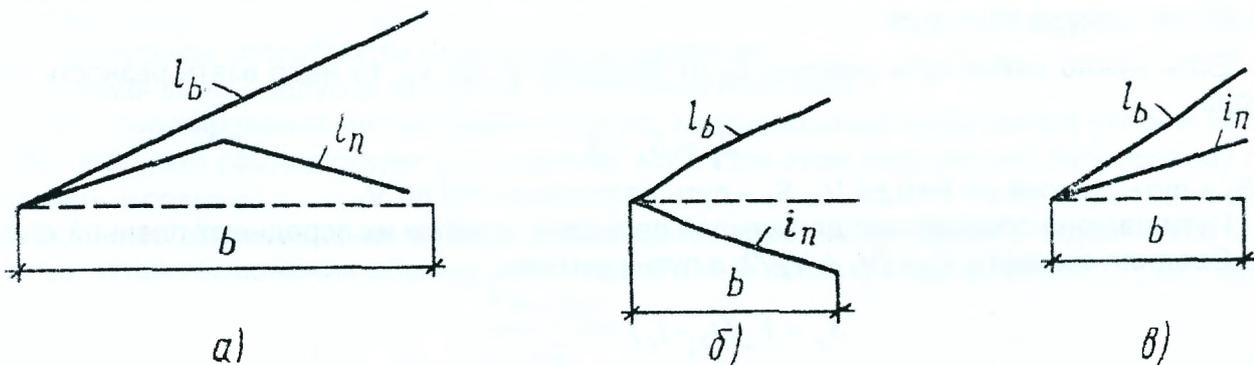


Рис. 31.26. Схемы отгона виража: а – двускатный съезд; б – односкатный съезд; в – односкатный съезд с возрастающим односторонним уклоном

Поперечный уклон виража принимают в зависимости от радиуса основной кривой, климатических условий и типа дорожного покрытия в соответствии со СНиП 2.05.02-85. Учитывая, что радиусы съездов на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог обычно не превосходят 500 м, уклон виража на них следует назначать не более 40‰ в районах с длительными периодами гололедицы и 60‰ в остальных районах. Уклоны виража более 60‰ применять не следует, так как при пониженных скоростях движения создается опасность скольжения автомобиля во внутреннюю сторону кривой.

Продольный уклон отгона виража представляет собой превышение продольного уклона наружной кромки съезда над уклоном внутренней кромки. Максимально допустимый уклон отгона виража для съездов следует принимать равным 10‰ и лишь в исключительных случаях можно увеличить его, но не более чем до 20‰. Фактический уклон отгона виража обычно отличается от максимально допустимого вследствие того, что отгон виража приравнивается к длине переходной кривой, кратной 5 или 10 м. После изменения длины отгона виража необходимо соответственно пересчитать уклон отгона виража и установить его фактическое значение. Фактический уклон отгона виража определяют по формуле

$$i_2' = \frac{i_2 \cdot \ell}{L}, \quad (31.12)$$

где i_2 – наибольший допустимый уклон отгона виража, ‰; ℓ – наименьшая длина отгона виража, м; L – принятая длина отгона виража, равная длине переходной кривой, м.

Если проектировать переходную кривую нет необходимости, то длина отгона виража может быть принята равной его расчетной длине или округлена незначительно (до целого числа метров).

Для пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном и в разных уровнях более характерным является односкатный поперечный профиль съездов. При этом на съездах с обратными кривыми поперечный уклон может менять свое направление (см. рис. 31.26б). В этом случае расчетную длину отгона виража определяют по формуле

$$\ell = \frac{b \cdot (i_n + i_g)}{i_2}, \quad (31.13)$$

где i_n – поперечный уклон проезжей части на прямом участке дороги или на прямой вставке между обратными кривыми. Остальные обозначения те же, что и в формуле (31.10).

На правоповоротных съездах с основной дороги часто приходится увеличивать поперечный уклон проезжей части при переходе с прямого участка на кривую (см. рис. 31.26в). В этом случае расчетную длину отгона виража определяют по формуле

$$\ell = \frac{b \cdot (i_g - i_n)}{i_2}. \quad (31.14)$$

31.3.8. Определение длины путей разгона и замедления

Путь разгона определяют по формуле

$$S_p = \int_{V_1}^{V_2} V_a dt, \quad (31.15)$$

где V_1 – начальная скорость; V_2 – конечная скорость; V_a – переменная скорость, равная $V_a = dS/dt$, откуда $dS = V_a dt$.

Если нужно найти путь разгона S_p от скорости V_1 до V_2 , то надо взять разность путей разгона

$$S_p = S_2 - S_1, \quad (31.16)$$

где S_2 – путь разгона от $V=0$ до V_2 ; S_1 – путь разгона от $V=0$ до V_1 .

Пути разгона определяют для каждой передачи, а затем их осредняют плавной кривой.

Средняя скорость $V_{cp} = (V_1 + V_2)/2$, а путь разгона

$$S_p = V_{cp}(t_2 - t_1) = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2a_{cp}}, \quad (31.17)$$

где a_{cp} – среднее ускорение разгона на участке от V_1 до V_2 .

Для каждой передачи

$$a_{cp} = \frac{P_{cp} \cdot g}{Q \cdot \delta}, \quad (31.18)$$

где P_{cp} – среднее тяговое усилие, кН; Q – масса автомобиля, кН; g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$); δ – коэффициент, учитывающий влияние вращающихся масс автомобиля ($\delta > 1$).

С учетом того, что динамический фактор определяется по формуле $D = (P - W_0)/Q$, среднее ускорение $a_{cp} = (D - \psi)g/\delta$, где ψ – сумма дорожных сопротивлений, равная $\psi = f \pm i$, где f – коэффициент сопротивления качению; i – продольный уклон дороги.

Коэффициент $\delta = 1,03 + 0,05 \cdot i_k^2$, где i_k – передаточное отношение в коробке передач.

Для определения длины пути разгона на прямой передаче можно воспользоваться формулой

$$S_p = S_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2a_{cp}}, \quad (31.19)$$

где S_1 – длина пути разгона от $V=0$ до V_1 , м; V_1 – скорость, с которой производится переключение на прямую передачу, км/ч; V_2 – конечная скорость, км/ч; a_{cp} – среднее ускорение автомобиля на прямой передаче, м/с^2 .

Длину пути замедления от скорости V_2 до V_1 определяют по формуле

$$S_{зам} = S_{T_2} - S_{T_1}, \quad (31.20)$$

где S_{T_2} – длина пути торможения от V_2 до $V=0$, м; S_{T_1} – длина пути торможения от V_1 до $V=0$.

Таким образом, путь замедления может быть найден как разность путей торможения.

Путь торможения определяют по формуле

$$S_T = t \cdot V + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi \cdot \cos \alpha + f \pm i + f_a)}, \quad (31.21)$$

где t – время срабатывания тормозного привода и нарастания тормозного усилия на колесах автомобиля, с; V – начальная скорость движения автомобиля, м/с; K_3 – коэффициент эффективности торможения; φ – коэффициент сцепления шин с дорогой; α – угол продольного уклона дороги, град; f – коэффициент сопротивления качению ($0,02-0,03$); i – продольный уклон дороги, равный $\tan \alpha$ (знак плюс соответствует подъему, а знак минус – спуску); f_a – среднее удельное сопротивление воздуха за время торможения.

Время срабатывания тормозного привода t принимают равным $0,2$ с для гидравлического привода и $0,6$ с для пневматического. Коэффициент K_3 учитывает несоответствие тормозных усилий на колесах приходящейся на них сцепной массе. Он зависит от конструктивных параметров тормозов, полезной нагрузки и технического состояния тормозных механизмов и изменяется в диапазоне от $1,1$ до $2,0$.

Длину пути торможения при проектировании пересечений и примыканий автомобильных дорог используют при определении:

- длины переходно-скоростных полос на участках снижения скорости движения автомобилей;
- расчетного расстояния видимости в плане и в продольном профиле;
- времени хода на участках замедления и торможения (при исчислении транспортных расходов);
- пропускной способности одной полосы движения;
- наименьших радиусов выпуклых вертикальных кривых.

При проектировании автомобильных дорог максимальные продольные уклоны не превышают 9% , что соответствует углу наклона $\alpha \approx 5^\circ$. При этом угле $\cos \alpha = 0,996$, поэтому можно принять $\varphi \cdot \cos \alpha = \varphi$.

Удельное сопротивление воздуха f_a в процессе торможения быстро падает и поэтому в расчетах путей торможения обычно не учитывается. В связи с этим формула (31.21) примет вид

$$S_T = t \cdot V + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi + f \pm i)}. \quad (31.22)$$

Полученная по этой формуле графическая зависимость пути торможения от $V_1=0$ до $V_2>0$ для различных коэффициентов сцепления φ показана на рис. 31.27.

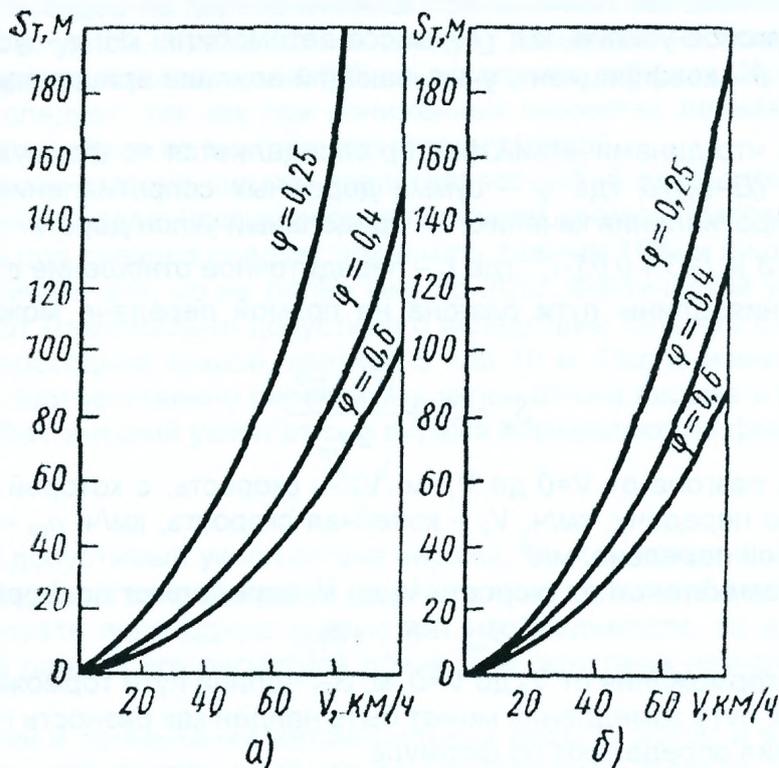


Рис. 31.27. Графики путей торможения легковых (а) и грузовых (б) автомобилей при различных коэффициентах сцепления

Для построения графиков на рис. 31.27 были приняты следующие численные значения входящих в формулу (31.22) величин: $t=0,2c$; $f=0,02$; $i=0$; $K_3=1,5$ для легковых автомобилей и $K_3=2,0$ для грузовых. Коэффициенты сцепления приняты в соответствии с данными табл. 31.1.

31.3.9. Размеры переходно-скоростных полос

Переходно-скоростные полосы (ПСП) представляют собой дополнительные полосы проезжей части, на которых происходит снижение скорости движения автомобилей перед съездом на право- или левоповоротные съезды, рассчитанные на скорость, меньшую скорости на основных полосах движения; увеличение скорости перед въездом автомобилей на основные полосы движения, рассчитанные на большую скорость, чем скорость на съездах;

ПСП улучшают режим движения на основных полосах, на которых в этом случае все автомобили могут двигаться с постоянной скоростью. При отсутствии таких полос сворачивающие или въезжающие автомобили снижают скорость на основных полосах движения и тем самым нарушают нормальный режим движения основных транспортных потоков. Если расчетная скорость на съездах и основных полосах одинакова, необходимость в устройстве ПСП отпадает.

Длина ПСП (без отгонов) может быть ориентировочно определена по формуле

$$L = \frac{V_1^2 - V_2^2}{26 \cdot a_{cp}}, \quad (31.23)$$

где V_1 – скорость в конце разгона или в начале замедления, км/ч; V_2 – скорость в начале разгона или в конце замедления, км/ч; a_{cp} – среднее ускорение автомобиля, м/с².

На основании результатов наблюдений значение a_{cp} принимают равным 0,8-1,2 м/с² для разгона и 1,75-2,50 м/с² для замедления.

В соответствии со СНиП 2.05.02-85 ПСП предусматривают на пересечениях и примыканиях дорог I-III категорий.

Длину ПСП устанавливают в зависимости от категорий дорог и продольных уклонов, которые влияют на длину путей разгона и торможения (табл. 31.8).

Таблица 31.8. Длина переходно-скоростных полос

Категории дорог	Продольный уклон, ‰, на		Длина полос полной ширины, м, для		Длина отгона полос разгона и торможения, м
	спуске	подъеме	разгона	торможения	
I-Б и II	40	–	140	110	80
	20	–	160	105	
	0	0	180	100	
	–	20	200	95	
	–	40	230	90	
III	40	–	110	85	60
	20	–	120	80	
	0	0	130	75	
	–	20	150	70	
	–	40	170	65	
IV	40	–	30	50	30
	20	–	35	45	
	0	0	40	40	
	–	20	45	35	
	–	40	50	30	

Ширину ПСП принимают равной ширине основных полос проезжей части. ПСП целесообразно отделять от основных разделительными полосами.

При сопряжении ПСП со съездами, имеющими самостоятельные проезжие части, длину ПСП полной ширины, указанную в табл. 31.8, можно уменьшать по результатам расчета, но она должна быть не менее 50 м для дорог I и II категорий и не менее 30 – для дорог III категории.

Конструкции ПСП показаны на рис. 31.28.

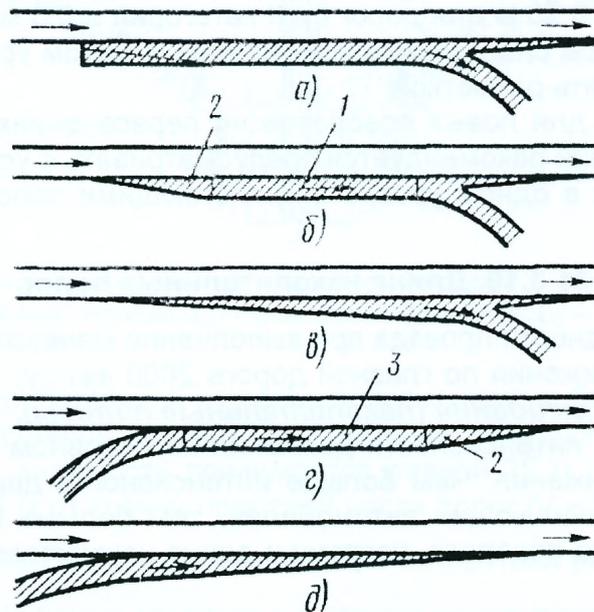


Рис. 31.28. Переходно-скоростные полосы замедления (а, б, в) и разгона (г, д): 1 – полоса замедления; 2 – отгон; 3 – полоса разгона

На рис. 31.28а изображена ПСП замедления постоянной ширины с уступом в начале полосы. Такая полоса четко фиксирует начало снижения скорости, но проезжая часть этой полосы при въезде на нее с основной полосы не полностью используется. На рис. 31.28б показана полоса замедления постоянной ширины 1 с косым отводом уширения 2. В этом случае проезжая часть ПСП используется лучше, чем на рис. 31.28а.

На рис. 31.28в показана полоса замедления клинообразной формы. Такая форма удобна для водителя, так как она не вызывает необходимости совершать движения по обратным кривым при переходе с основной полосы на переходную. Кроме того, такая форма полосы имеет меньшую площадь дорожного покрытия. Недостатком клинообразной полосы является то, что она не освобождает полностью основную полосу движения от сворачиваю-

щих автомобилей. На рис. 31.28г показана полоса разгона постоянной ширины 3 с отводом уширения 2, а на рис. 31.28д – клинообразная полоса разгона. Их преимущества и недостатки аналогичны соответствующим полосам замедления. Клинообразные ПСП целесообразно устраивать на автомобильных дорогах с расчетной интенсивностью менее 3000 авт/сут. Длина отгонов уширения принимается 80 м для дорог I и II категорий и 60 м для дорог III категории.

Детальные исследования режимов движения автомобилей на ПСП показали, что наличие ПСП более чем в два раза снижает степень влияния поворачивающих автомобилей на режим движения основного потока. При отсутствии ПСП транзитные автомобили значительно снижают скорость движения (иногда до 35-40 км/ч). Это объясняется тем, что водители автомобилей, поворачивающих на съезд и выезжающих со съезда, вынуждены изменять скорость движения на основной дороге.

Наиболее благоприятные условия создаются в тех случаях, когда ПСП отделяются от проезжих частей пересекающихся дорог разделительными полосами. Если разделительные полосы не устраивают, то, как показывают наблюдения, происходит некоторое снижение скорости транзитного движения, так как часть сворачивающих автомобилей, вследствие отсутствия четко выделенных участков входа и выхода с ПСП, начинает торможение или разгон на основных полосах пересекающихся дорог.

Установлено, что на тех транспортных развязках, которые не имеют ПСП, количество дорожно-транспортных происшествий со смертельным исходом в 1,5-2,0 раза больше, чем в среднем по дороге, а количество автомобилей, участвующих в одном происшествии, больше в 1,2-1,5 раза. На транспортных развязках, не оборудованных ПСП, степень опасности движения в 2,0-2,5 раза выше, чем на развязках, имеющих эти полосы.

Согласно СНиП 2.05.02-85 ПСП в зоне пересечений и примыканий перед сопрягающими кривыми и в местах автобусных остановок на дорогах I-III категорий за пределами остановочных площадок на длине 20 м следует отделять от основных полос движения разделительной полосой шириной 0,75 м для дорог I и II категорий и 0,5 м – для дорог III категории. Эти разделительные полосы следует предусматривать в одном уровне с прилегающими полосами движения и выделять разметкой.

Полосы торможения для левых поворотов на пересечениях и примыканиях в одном уровне дорог II и III категорий рекомендуется предусматривать с устройством направляющих островков, располагаемых в одном уровне с прилегающими полосами и выделяемых разметкой.

31.3.10. Длина накопительных полос

Для ожидания очередности проезда при выполнении маневра левоповоротного движения при интенсивности движения по главной дороге 2000 авт/сут и более на пересечениях дорог устраивают **полосы ожидания (накопительные полосы)**.

Их длина зависит от интенсивности движения на основном направлении движения и доли левоповоротного движения. Чем больше интенсивность движения по основному направлению и доля поворачивающих автомобилей, тем больше будет автомобилей, ожидающих совершения левого поворота, поэтому и длина накопительной полосы будет увеличиваться.

Длина накопительной полосы в зависимости от интенсивности движения по основной дороге и доли левоповоротного движения представлена в табл. 31.9. Ширина накопительной полосы должна быть не менее 3,0 м.

Таблица 31.9. Длина накопительных полос

Интенсивность движения на дороге, где имеется накопительная полоса	Длина накопительной полосы, м, при левоповоротном движении, % от суммарной интенсивности по главной и второстепенной дорогам			
	10	20	30	40
2000	40	40	60	90
3000	40	50	70	ПО
4000	50	70	90	130
5000	70	90	120	160
6000	100	100	160	210

В ряде случаев потоки движения на пересечениях и примыканиях дорог сливаются, а затем расходятся по разным направлениям. Такие участки называют *участками слияния* или перестроения транспортных потоков, а в зарубежной литературе – зонами переплетения. Расчетное время для смены полосы движения можно рекомендовать равным 4 с, а наименьшую длину участка слияния $l_c = 4V$.

31.3.11. Нормы видимости в плане и профиле

Нормы расчетной видимости на пересечениях и примыканиях дорог в плане и продольном профиле назначают в зависимости от принятых расчетных скоростей по СНиП 2.05.02-85.

Видимость на пересечениях и примыканиях дорог в одном уровне должна быть обеспечена в соответствии с рис. 31.29.

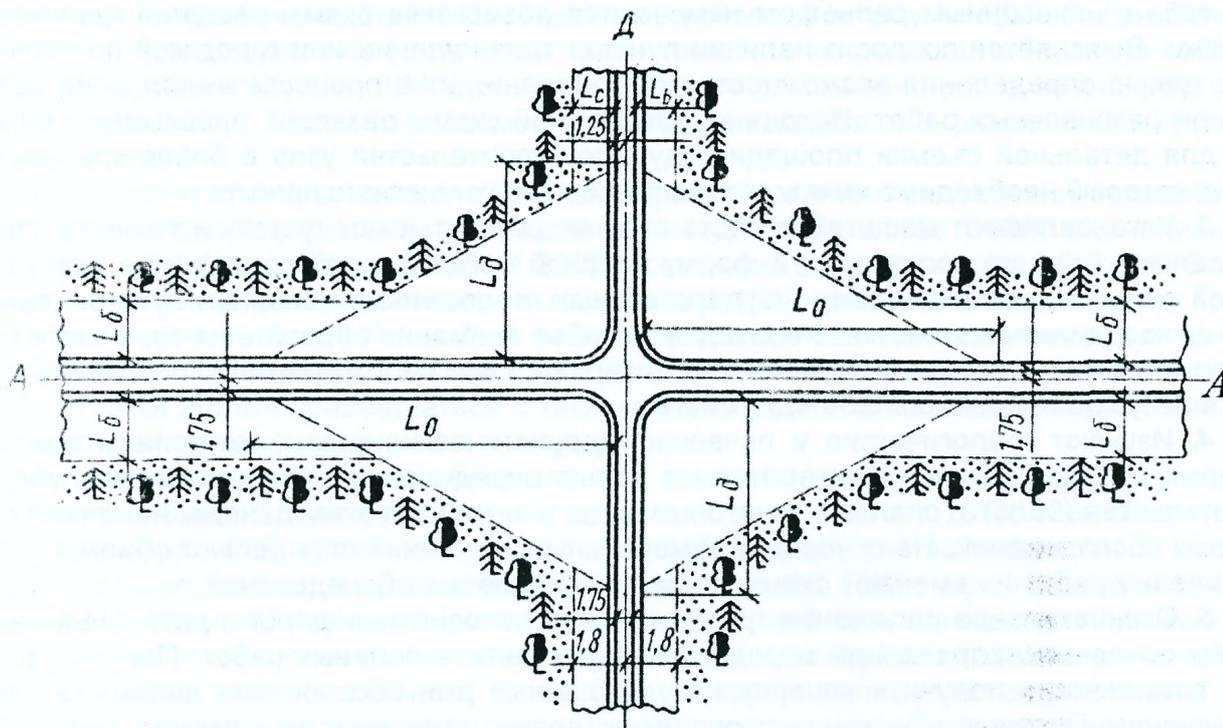


Рис. 31.29. Схема обеспечения видимости на пересечении дорог в одном уровне: L_d – видимость поверхности на второстепенной дороге; L_b – боковая видимость; L_0 – видимость поверхности на основной дороге

Боковая видимость прилегающей к дороге полосы должна быть обеспечена в тех случаях, когда по местным условиям возможно попадание на дорогу людей или животных с придорожной полосы. Эта видимость принимается равной 25 м от кромки проезжей части дорог I, II, III категорий и 15 м от кромки проезжей части дорог IV и V категорий.

31.4. Технические изыскания транспортных развязок

Строительство транспортных развязок на пересечениях автомобильных дорог является наиболее дорогой и наиболее сложной частью дорожного строительства и поэтому производится по проекту, составленному на основании тщательно проведенных экономических и технических изысканий. *Экономические изыскания* решают задачи, связанные с определением наиболее выгодного места и способа осуществления пересечения с минимальными затратами для его строительства и последующей эксплуатации.

Технические изыскания проводят для сбора материалов, необходимых для составления технического проекта транспортной развязки. Сбор необходимых данных производится как путем камерального изучения картографических материалов и литературных источников, так и производством полевых топографогеодезических, почвенно-грунтовых, гидрологических и других работ. Специальных изысканий для проектирования транспортных развязок обычно не делают, а их проводят параллельно и в тесной связи с изысканиями автомобильных дорог. Однако при строительстве транспортной развязки на пересечении существующих дорог, при реконструкции только места пересечения, может возникнуть необходимость в

проведении изысканий специально для составления технического проекта транспортной развязки.

Технические изыскания транспортных развязок выполняются в следующей последовательности.

1. В период **камерального изучения** картографических материалов и материалов экономических изысканий определяют перспективную интенсивность движения на основных дорогах и количество сворачивающих автомобилей по всем направлениям. Намечают схему транспортной развязки с учетом обеспечения безопасности движения, заданной пропускной способности и потребности в минимальной площади, при этом надо не занимать ценных сельскохозяйственных земель.

2. После изучения картографического материала и окончательного определения места строительства развязки на карте в масштабе 1:10000 или 1:5000 или по фотоплану того же масштаба с нанесенным рельефом намечаются возможные схемы решения транспортной развязки. Выясняется вопрос о наличии пунктов триангуляции или городской полигонометрии с целью определения возможности использования их в процессе выполнения съемочных или разбивочных работ. Исходя из намеченной схемы развязки, проектируют опорную сеть для детальной съемки площади будущего строительства узла в более крупном масштабе, который необходимо иметь для составления технического проекта.

3. Устанавливают масштаб и место съемки, рассчитывают густоту и точность съемки, определяют принцип построения и форму опорной сети и способ привязки ее к государственной сети. Составляют схему государственных геодезических опорных пунктов, выписывают их координаты и отметки. Необходимо особое внимание обратить на то, в какой системе или от каких начал дан геодезический материал и при необходимости координаты геодезических пунктов перечисляют в одну систему.

4. Изучают геологические и почвенно-гидрологические карты, материалы изысканий прошлых лет и справочной литературы с целью определения неблагоприятных мест для строительства (болота, оползни, грунтовые воды и т. д.) и по этим данным намечают место полевых обследований. На основании камеральных изысканий определяют объемы и характер полевых работ и намечают схему организации полевых обследований.

5. Окончательное положение точки пересечения основных дорог с детальным закреплением основных направлений определяют в результате полевых работ. Полевые работы дают возможность получить исчерпывающие данные для обоснования выбранного места пересечения. Полевые изыскания проводят по плану, намеченному в период камеральных изысканий, и включают в себя как визуальный осмотр, так и инструментальные измерения. Путем осмотра выявляют и окончательно обосновывают правильность выбранного варианта. Уточняют место пересечения основных дорог и измеряют угол, под которым они пересекаются.

6. Направления пересекающихся автомобильных дорог закрепляют на местности столбами, положение которых привязывают к местным предметам, что отмечают на карте и составляют абрис. При необходимости производят инженерно-геологические и гидрологические обследования путем закладки шурфов и скважин и составлением схемы геологических разрезов. Разыскивают и обследуют места возможного образования карьеров дорожно-строительных материалов, определяют их запас, условия разработки и доставки к месту строительства. Уточняют границы населенных пунктов, указанных на карте, с фактическими границами с учетом перспективы их роста. Определяют размеры ценных угодий, попадающих в пределы пересечения, размеры расширения площади за счет рубки леса, сноса строений, переноса линий связи, электропередач и т. д. Выясняют наличие подземного хозяйства. Разыскивают в натуре и осматривают государственную геодезическую опорную сеть. Уточняют схему опорной сети для детальной съемки местности, возможность ее привязки к государственной сети и намечают метод съемки. При наличии не отмеченных на карте оврагов, болот и других объектов производят их съемку и наносят на карту.

7. Принятые проектные решения, связанные с отводом земель, сносом строений, переносом линий связи, с перекладкой подземных коммуникаций и т. д., согласовываются с соответствующими министерствами, советами и организациями. В период полевых работ разбивают и закрепляют съемочную геодезическую опорную сеть и затем производят плановую и высотную съемки территории. **План местности в горизонталях**, полученный в результате съемки во время технических изысканий, **является главным и единственным**

ным документом, по которому производят проектирование узла, поэтому съемка территории должна быть произведена очень тщательно со всеми подробностями как рельефа, так и ситуации.

Для решения многих вопросов, связанных с проектированием транспортных развязок, обычно достаточным является наличие топографического плана района строительства в масштабе 1:5000, на котором можно производить вариантное проектирование. Но для составления технического проекта развязки необходимо иметь план местности более крупного масштаба. Величину масштаба съемки местности определяют необходимой точностью производства работ, которое в свою очередь зависит от стадии строительства, размеров отдельных элементов узла и материалов, из которых возводится тот или иной элемент развязки. Поэтому, если стадии строительства требуют увеличения точности производства разбивочных работ, топографическую съемку местности можно выполнять несколько раз в постепенно укрупняющемся масштабе. Необходимо стремиться к тому, чтобы ошибки измерений при производстве съемок не превышали графической точности масштаба, т. е. необходимо соблюдение зависимости $m=LM$, где L – наименьшее расстояние, различимое простым глазом, принимаемое 0,1 мм и называемое точностью масштаба; M – знаменатель численного масштаба плана.

8. В соответствии с наставлением для проектирования пересечений автомобильных дорог тахеометрическую съемку местности производят в масштабе 1:1000 с сечением рельефа через 0,5-1,0 м или в масштабе 1:2000 с сечением рельефа через 1,0-2,0 м. Следовательно, при съемке плана местности в масштабе 1:1000 измерение линий можно производить с точностью не более 0,1 м. При тахеометрической съемке количество реечных точек ориентировочно принимают 25-30 на 1 дм² плана, при среднем расстоянии между ними 20 м. Реечные точки должны размещаться с таким расчетом, чтобы на плане можно было отчетливо изобразить характер рельефа и ситуацию.

В процессе съемки должны быть засняты все местные предметы, границы угодий, линии связи и электропередач, реки, ручьи, подземное хозяйство и т. д. По окончании полевых работ и камеральной обработки результатов наблюдений составляют план в масштабе 1:1000. По вычисленным координатам на планшет наносят съемочную геодезическую опорную сеть. По данным полевых абрисов со сторон опорной сети наносят на план всю ситуацию, в том числе и положение основных дорог. По данным журнала тахеометрической съемки на план наносятся все реечные точки, около которых выписываются их отметки. Затем приступают к нанесению рельефа горизонталями, при этом особое внимание должно быть обращено на то, чтобы проведенные горизонталы соответствовали подписанным отметкам. Окончательное оформление плана в туши производят после корректировки рельефа в поле.

9. Одновременно с топографо-геодезическими работами на территории строительства транспортной развязки производят инженерно-геологические изыскания, в состав которых входят буровые работы с целью изучения грунтов как основания для земляного полотна и под опоры путепроводов; поиски месторождений строительных материалов; изучение степени пригодности грунтов для возведения земляного полотна.

В результате проведения технических изысканий представляют следующие материалы:

- топографический план местности с опорной геодезической сетью;
- схемы транспортных развязок;
- продольные профили основных дорог;
- поперечные профили существующих дорог;
- поперечные и продольные профили оврагов и других сложных мест;
- ведомости занимаемых земель, строений, подлежащих сносу, пересекаемых воздушных и подземных коммуникаций;
- документы согласований.

Уже в период проведения изысканий инженер должен думать о том, чтобы транспортная развязка была компактна, хорошо гармонировала с окружающим ландшафтом, была проста и понятна для водителей и обеспечивала безопасность движения по ней.

31.5. Анализ типичных пересечений в разных уровнях

31.5.1. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы клеверного листа

Клеверный лист (рис. 31.30) является в настоящее время наиболее распространенным типом пересечения автомобильных дорог в разных уровнях. Его применяют при пересечении двух автомагистралей между собой, а также при пересечении автомагистралей с дорогами более низких категорий.

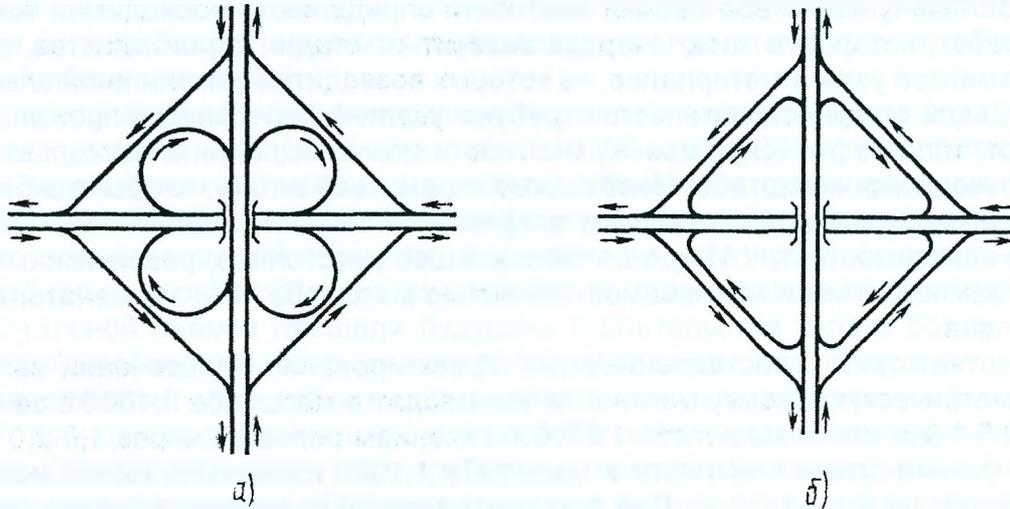


Рис. 31.30. Схемы клеверного листа: а – с восемью однополосными съездами; б – с четырьмя двухполосными съездами

При пересечении по типу клеверного листа в центре устраивают путепровод, а пересекающиеся дороги соединяют между собой съездами – одно- или двухполосными.

В первом случае число съездов равно восьми (см. рис. 31.30а). При этом четыре съезда служат для поворотов вправо и четыре – для поворотов влево. Съезды, служащие для поворотов влево, в совокупности напоминают листья клевера. Во втором случае число съездов равно четырем (см. рис. 31.30б), при этом каждый съезд служит для поворота как вправо, так и влево.

На пересечении по типу клеверного листа с четырьмя и восемью съездами любой поток движения без риска столкновений с другими транспортными потоками может направляться с одной дороги на другую. Следует все же отдавать предпочтение клеверному листу с восемью однополосными съездами, а не с четырьмя двухполосными, так как на каждом двухполосном съезде имеется встречное движение, что до некоторой степени снижает безопасность движения по транспортной развязке.

Существенным недостатком клеверного листа с четырьмя съездами является также то обстоятельство, что автомобили, сворачивающие влево, как видно на рис. 31.30б, должны обогнуть два острых угла, перемещаясь при этом по кривым малого радиуса, что заставляет сильно снижать скорость движения. У клеверного листа с восемью однополосными съездами такой недостаток отсутствует.

Так как клеверный лист имеет специальные съезды для лево- и правоповоротных потоков движения, то на этом пересечении левоповоротное движение не смешивается с правоповоротным.

Все съезды клеверного листа вливаются в проезжие части пересекающихся дорог с правой стороны, что находится в полном соответствии с основным принципом проектирования автомагистралей, согласно которому все ответвления и присоединения дорог на автомагистралях должны устраиваться с правой стороны (по ходу движения).

Левоповоротные автомобили совершают на транспортной развязке значительный перепробег, что является *существенным недостатком клеверного листа*.

Другим серьезным недостатком клеверного листа является то, что он занимает *большую площадь земли*, причем эта площадь очень быстро возрастает по мере увеличения расчетной скорости на транспортной развязке. Например, при изменении расчетной скорости от 40 до 60 км/ч, т. е. при увеличении ее в 1,5 раза, площадь, занимаемая клеверным листом, возрастает в 5-6 раз. Автомобили, съезжающие с одной из пересекающихся дорог

по левоповоротному съезду, не могут свободно и беспрепятственно включаться в поток движения на другой дороге, так как они встречаются с автомобилями, направляющимися на соседний левоповоротный съезд. На клеверном листе имеется четыре таких «узких» места, называемых **горловинами**, которые приводят к снижению пропускной способности левоповоротных съездов и увеличению дорожно-транспортных происшествий.

Преимущество клеверного листа по сравнению с некоторыми другими типами транспортных развязок заключается в возможности проектирования правоповоротных съездов с использованием кривых большого радиуса при небольших продольных уклонах, что позволяет допускать на этих съездах высокие скорости движения. Достоинством клеверного листа является также наличие только *одного путепровода*, тогда как на многих типах пересечений автомобильных дорог в разных уровнях количество путепроводов изменяется от двух до шестнадцати.

Неполный клеверный лист. При пересечении автомагистрали с второстепенной дорогой иногда применяют схему неполного клеверного листа. Имеются следующие три разновидности неполного клеверного листа:

- с четырьмя однополосными съездами (у полного клеверного листа с четырьмя съездами последние являются двухполосными) (рис. 31.31а);
- с двумя двухполосными съездами, расположенными в соседних четвертях (вместо двух двухполосных съездов может быть четыре однополосных съезда) (рис. 31.31б);
- с двумя двухполосными съездами, расположенными в накрестлежащих четвертях (вместо двух двухполосных съездов может быть четыре однополосных съезда) (рис. 31.31в).

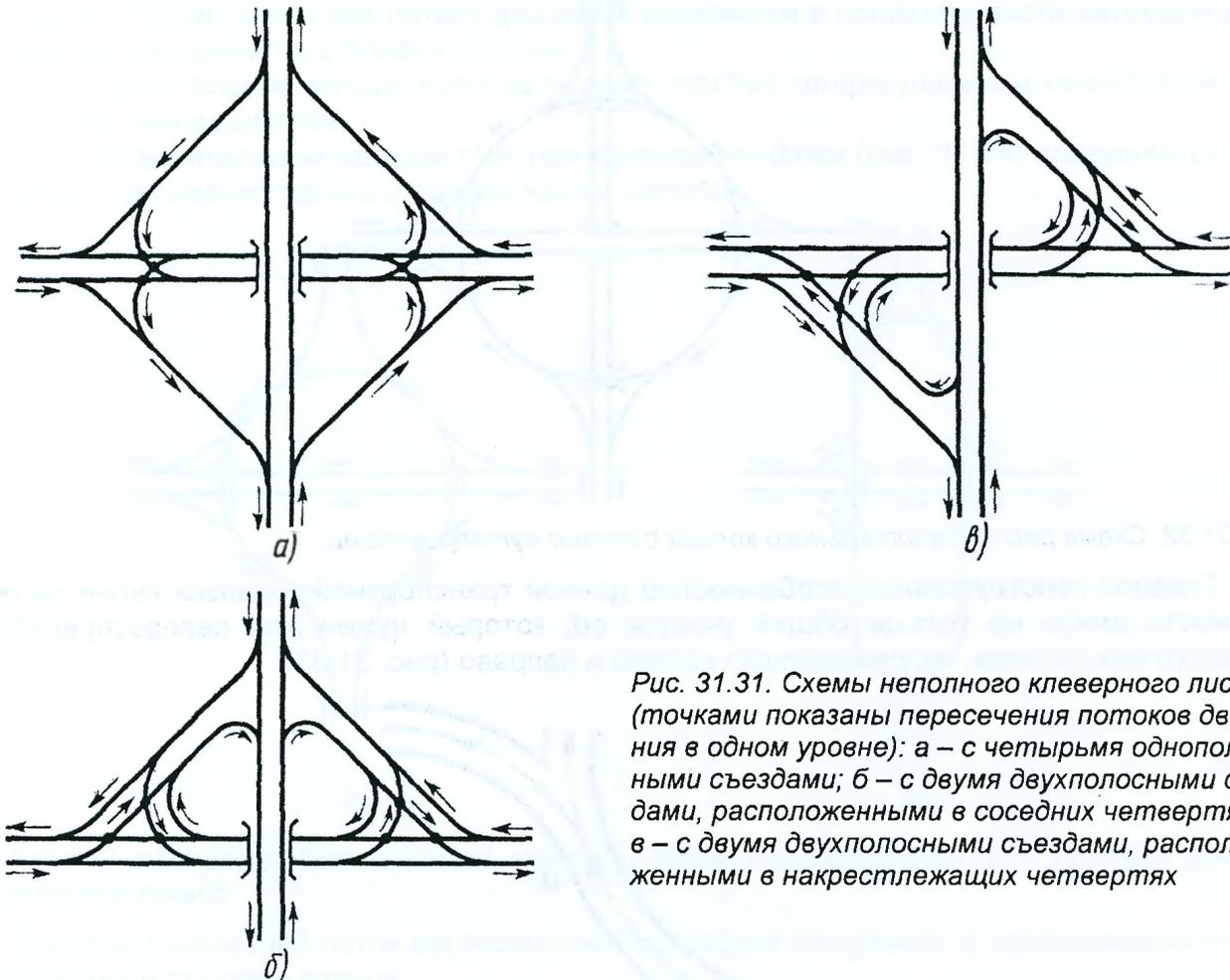


Рис. 31.31. Схемы неполного клеверного листа (точками показаны пересечения потоков движения в одном уровне): а – с четырьмя однополосными съездами; б – с двумя двухполосными съездами, расположенными в соседних четвертях; в – с двумя двухполосными съездами, расположенными в накрестлежащих четвертях

Та или иная разновидность неполного клеверного листа применяется в зависимости от условий рельефа и ситуации. Неполный клеверный лист применяют обычно в том случае, когда отдельные сворачивающие потоки имеют небольшую интенсивность движения и поэтому устройство самостоятельных съездов является экономически нецелесообразным.

При пересечении автомобильных дорог по типу неполного клеверного листа на двухполосных съездах происходит встречное движение (см. рис. 31.31б, в). Кроме того, эта схема допускает левые повороты на проезжей части второстепенной дороги, вследствие чего

получается шесть точек пересечения потоков движения в одном уровне. На съездах левоповоротные потоки смешиваются с правоповоротными. Основные потоки смешиваются с поворачивающими потоками. Кроме того, в отличие от полного клеверного листа на рассматриваемой транспортной развязке имеются такие потоки движения, которые вливаются в основные не с правой, а с левой стороны, что также является недостатком этого типа пересечения.

Наличие точек пересечения потоков движения в одном уровне, а также закруглений малых радиусов требует значительного снижения скорости движения автомобилей на транспортной развязке.

Неполный клеверный лист может быть рекомендован только при небольшой интенсивности движения с последующим стадийным переустройством его в полный клеверный лист.

31.5.2. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы кольца

К этим транспортным развязкам относятся:

- распределительное кольцо с пятью, а также двумя путепроводами;
- улучшенный тип распределительного кольца;
- турбинный тип пересечения;
- пересечение по типу двойной петли.

Распределительное кольцо с пятью путепроводами (рис. 31.32) применяют при пересечении двух автомагистралей между собой.

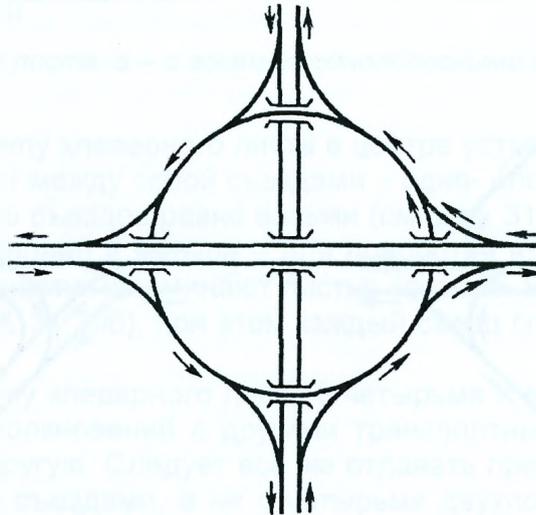


Рис. 31.32. Схема распределительного кольца с пятью путепроводами

Главной конструктивной особенностью данной транспортной развязки является необходимость иметь на кольце общий участок *cd*, который нужен для перераспределения транспортных потоков, сворачивающих налево и направо (рис. 31.33).

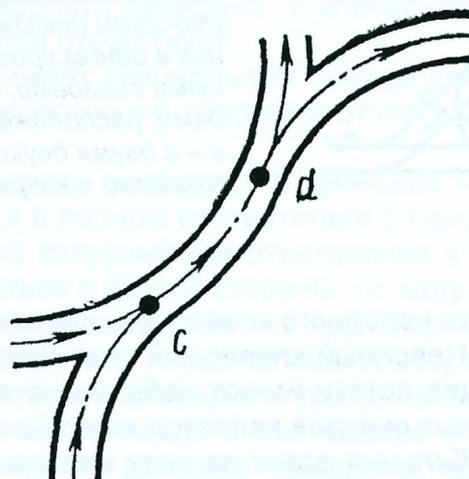


Рис. 31.33. Возможный способ сопряжения правоповоротных съездов с кольцом: *с* — точка слияния; *d* — точка разветвления

Исходя из этого условия, длина участка *cd* должна быть достаточной для перераспределения потоков автомобилей, движущихся с расчетной скоростью. Совмещенный участок *cd* необходимо предусматривать с двухполосной проезжей частью.

На данной транспортной развязке правоповоротное движение находится в неблагоприятных условиях. Во-первых, на кольце оно смешивается с левоповоротным движением. Во-вторых, осуществляется путем поворота не только вправо, но и влево, и вследствие наличия общего участка *cd* правоповоротный съезд разбивается на два съезда, примыкающих к кольцу, поэтому проектирование их большими радиусами становится невозможным.

Пересечения распределительного кольца с автомагистралями осуществляются таким образом, что кольцо поочередно проходит то над одной автомагистралью, то под другой. В результате этого *продольный профиль распределительного кольца получается очень сложным*. Обе ветви, из которых состоит дуга каждого квадранта пересечения, имеют противоположные уклоны. Продольные уклоны указанных ветвей и правоповоротных съездов также различны. По всей длине распределительного кольца происходит непрерывное чередование подъемов и спусков.

Для размещения подъемов и спусков и расположения вертикальных кривых необходимо иметь *кольцо очень большого радиуса*, что является существенным недостатком этой транспортной развязки.

Другим недостатком распределительного кольца является то, что левоповоротные автомобили совершают на нем значительный перепробег. Кроме того, в отличие от клеверного листа данная транспортная развязка вместо одного имеет *пять путепроводов*. Так же как и на клеверном листе, здесь все потоки движения вливаются в проезжие части автомагистралей и кольца, как правило, с правой стороны.

Распределительное кольцо имеет довольно простую конфигурацию и является легким для ориентировки водителей.

Распределительное кольцо с двумя путепроводами (рис. 31.34) применяется при пересечении автомагистрали с второстепенной дорогой.

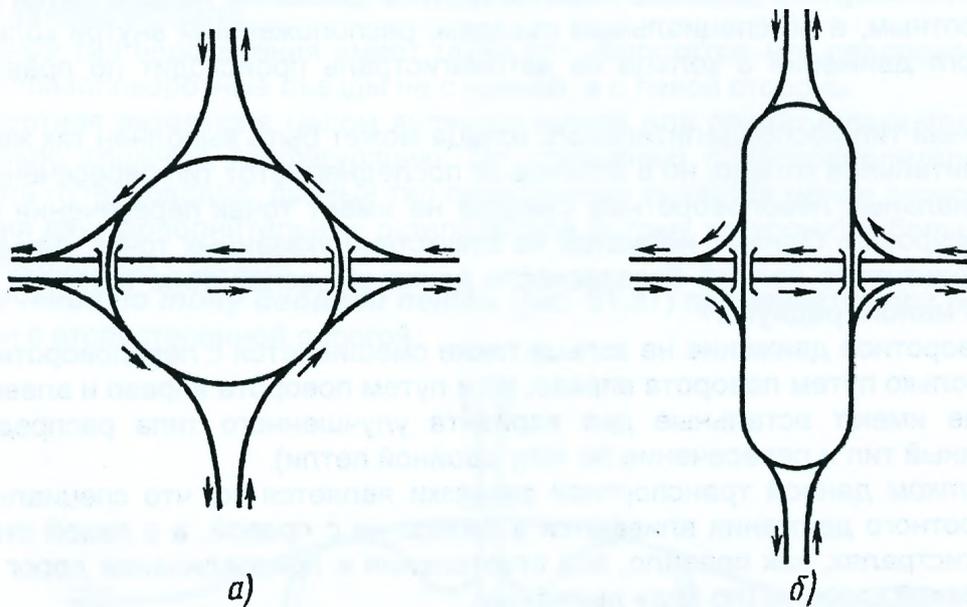


Рис. 31.34. Схемы распределительного кольца с двумя путепроводами: а – обычное кольцо; б – вытянутое кольцо

При этом скоростной поток автомагистрали проходит по прямой, а пересекаемый поток второстепенной дороги – кольцу.

Недостатком этого типа пересечения является то, что на кольце происходит смешение не только поворачивающих потоков между собой, но и поворачивающих потоков с основным потоком второстепенной дороги. Основной поток второстепенной дороги вынужден проходить по кольцу, что приводит к неудобству движения и большому перепробегу. С целью некоторого уменьшения указанного перепробега кольцо иногда вытягивают в направлении второстепенной дороги и выполняют в виде эллипса или в виде двух полуокружностей, соединенных прямыми вставками (см. рис. 31.34б).

Преимуществами данной транспортной развязки по сравнению с распределительным кольцом, имеющим пять путепроводов, являются меньшее количество путепроводов и более низкая строительная стоимость.

Улучшенный тип распределительного кольца (рис. 31.35) обеспечивает лучшие условия движения, чем обычное распределительное кольцо.

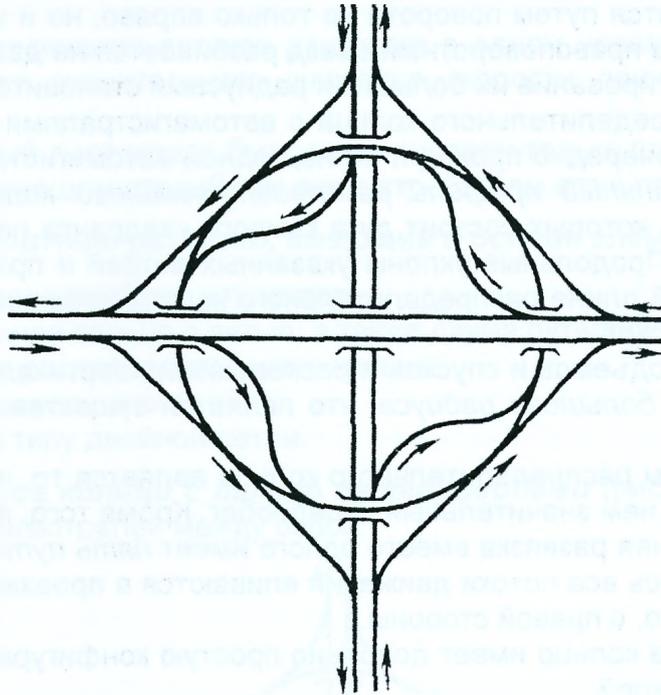


Рис. 31.35. Схема улучшенного типа распределительного кольца

На этой транспортной развязке левоповоротное движение направляется на кольцо не по правоповоротным, а по специальным съездам, расположенным внутри кольца. Переход левоповоротного движения с кольца на автомагистраль происходит по правоповоротным съездам.

Улучшенный тип распределительного кольца может быть выполнен так же, как и обычное распределительное кольцо, но в отличие от последнего этот тип пересечения благодаря наличию специальных левоповоротных съездов не имеет точек пересечения потоков движения в одном уровне. Однако, несмотря на отсутствие указанных точек, данный тип пересечения не гарантирует полной безопасности движения вследствие наличия коротких обратных кривых малого радиуса.

Правоповоротное движение на кольце также смешивается с левоповоротным и осуществляется не только путем поворота вправо, но и путем поворота вправо и влево. Указанных недостатков не имеют остальные два варианта улучшенного типа распределительного кольца (турбинный тип и пересечение по типу двойной петли).

Недостатком данной транспортной развязки является то, что специальные съезды для левоповоротного движения вливаются в кольцо не с правой, а с левой стороны, тогда как на автомагистралях, как правило, все ответвления и присоединения дорог должны устраиваться с правой стороны (по ходу движения).

Этот тип пересечения имеет сложную конфигурацию и, следовательно, создает ряд неудобств в эксплуатации. Отрицательное влияние на удобство движения оказывают короткие обратные кривые малого радиуса. Несмотря на наличие специальных съездов для левоповоротного движения, на этом типе пересечения происходит смешение левоповоротных потоков между собой (на кольце), а также лево- и правоповоротных потоков (на правоповоротных съездах).

Турбинный тип пересечения (рис. 31.36) является усовершенствованным типом распределительного кольца, в котором кольцо вместо одной имеет три отдельные проезжие части. Левоповоротные потоки направляются здесь по спиральным съездам, подобно тому, как происходит протекание воды через турбину. Отсюда произошло и название транспортной развязки. Турбинный тип пересечения имеет семь путепроводов.

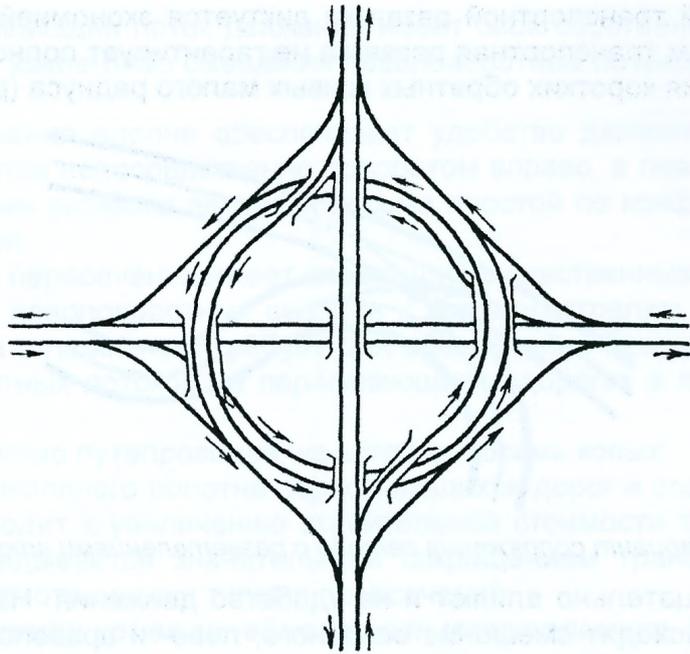


Рис. 31.36. Схема турбинного типа пересечения

На этой развязке каждый из четырех левоповоротных потоков имеет собственный съезд, который, однако, присоединяется не к автомагистрали, а вливается в соответствующий правоповоротный съезд. В этом типе пересечения на самом кольце левоповоротные потоки движения не смешиваются с другими лево- и правоповоротными потоками, как в случае распределительного кольца. Однако здесь смешиваются право- и левоповоротные потоки на участках правоповоротных съездов, находящихся между пунктом впадения левоповоротного съезда в правоповоротный и пунктом впадения правоповоротного съезда в проезжую часть автомагистрали.

Турбинный тип пересечения имеет также тот недостаток, что левоповоротные съезды вливаются в правоповоротные съезды не с правой, а с левой стороны.

Транспортная развязка в целом является легкой для ориентировки водителей, хотя и имеет довольно сложную конфигурацию. По сравнению с распределительным кольцом, имеющим пять путепроводов, данный тип пересечения является менее экономичным вследствие наличия двух дополнительных путепроводов (к тому же косых) и большей суммарной длине левоповоротных съездов.

Пересечение по типу двойной петли (рис. 31.37) применяется при пересечении автомагистрали с второстепенной дорогой.

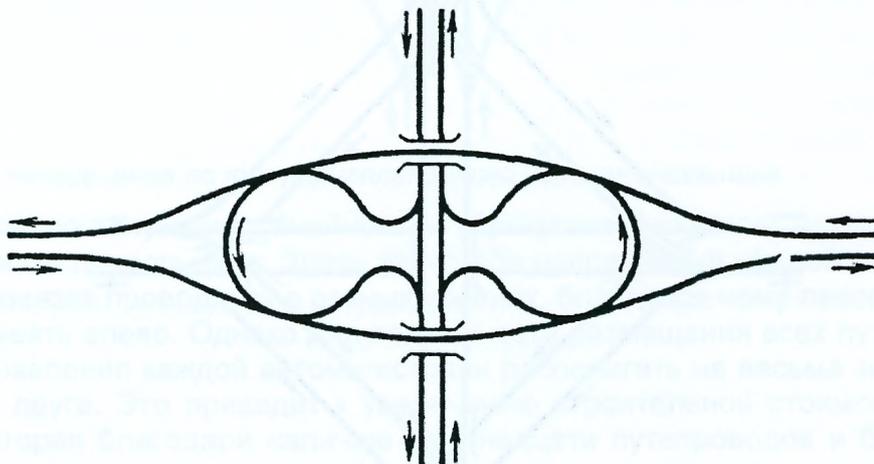


Рис. 31.37. Схема пересечения по типу двойной петли

Такой тип пересечения был применен при строительстве обьездной дороги у Буэнос-Айреса (Аргентина). Применение его было вызвано необходимостью расположить съезды в пределах узкой полосы отвода (70 м), расширить которую в условиях пригородной местности было трудно.

Применение этой транспортной развязки диктуется экономией строительных работ и отвода земли. При этом транспортная развязка не гарантирует полной безопасности движения вследствие наличия коротких обратных кривых малого радиуса (рис. 31.38).

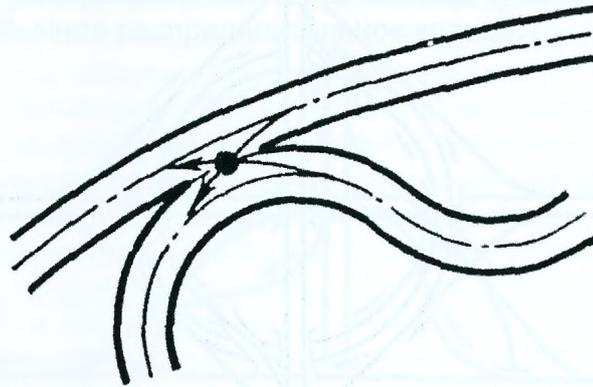


Рис. 31.38. Возможный вариант сопряжения петель с разветвлениями второстепенной дороги

Эти кривые отрицательно влияют и на удобство движения. На разветвлениях транспортной развязки происходит смешение основного, лево- и правоповоротных потоков движения, а на петлях – смешение лево- и правоповоротных потоков.

Право- и левоповоротные потоки, перемещающиеся с автомагистрали на второстепенную дорогу, вливаются в разветвления второстепенной дороги не с правой, а с левой стороны, что также является существенным *недостатком* данной транспортной развязки.

31.5.3. Транспортные развязки с параллельным расположением право- и левоповоротных съездов

К этим транспортным развязкам относятся:

- ромбовидный тип пересечения;
- пересечение по типу криволинейного четырехугольника;
- Н-образный тип пересечения.

Ромбовидный тип пересечения (рис. 31.39) оба направления каждой автомагистрали проводятся параллельно в разных уровнях, в результате чего левоповоротные потоки получают возможность сворачивать непосредственно влево. Транспортная развязка имеет девять путепроводов.

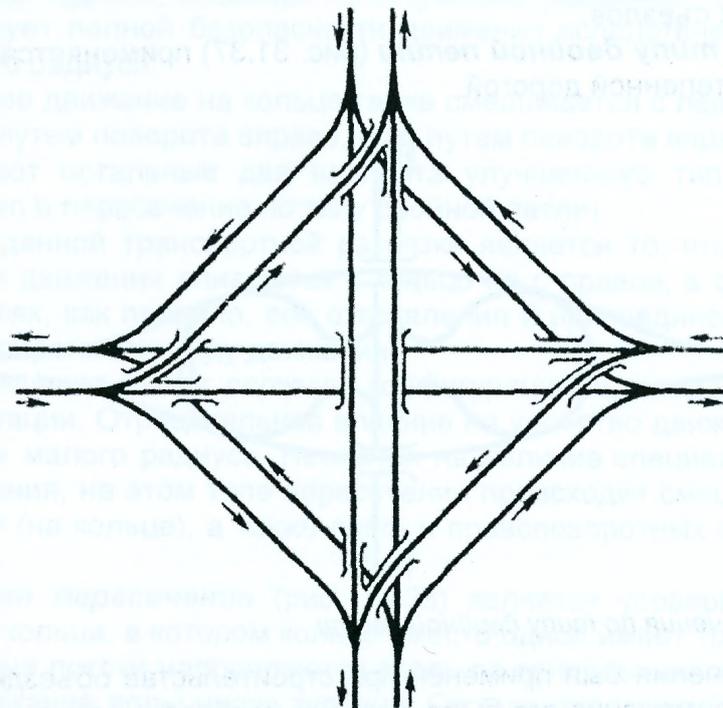


Рис. 31.39. Схема ромбовидного типа пересечения

Каждый поворачивающий поток движения имеет свой собственный съезд, вследствие чего здесь отсутствуют какие-либо смешения левоповоротных потоков с лево- или правоповоротными потоками.

Этот тип пересечения вполне обеспечивает удобство движения – правоповоротное движение осуществляется непосредственно поворотом вправо, а левоповоротное – поворотом влево. Транспортная развязка является весьма простой по конфигурации и легкой для ориентировки водителей.

Ромбовидный тип пересечения имеет следующие существенные *недостатки*:

– присоединение левоповоротных съездов к автомагистралям здесь осуществляется не с правой стороны, а с левой, что требует для обеспечения безопасности движения снижения скорости транзитных потоков на пересекающихся дорогах в пределах транспортной развязки;

– большое количество путепроводов, из которых восемь косых;

– расположение земляного полотна пересекающихся дорог и соседних съездов на разных уровнях. Это приводит к увеличению строительной стоимости транспортной развязки, которое, однако, оправдывается значительным сокращением транспортных расходов по сравнению с ранее рассмотренными типами пересечений.

Пересечение по типу криволинейного четырехугольника. Сущность пересечения по типу криволинейного четырехугольника состоит в том, что во всех указанных пунктах пересечения потоков движения устраивают путепроводы (рис. 31.40). Общее количество путепроводов на данной транспортной развязке равно шестнадцати, из которых двенадцать являются косыми.

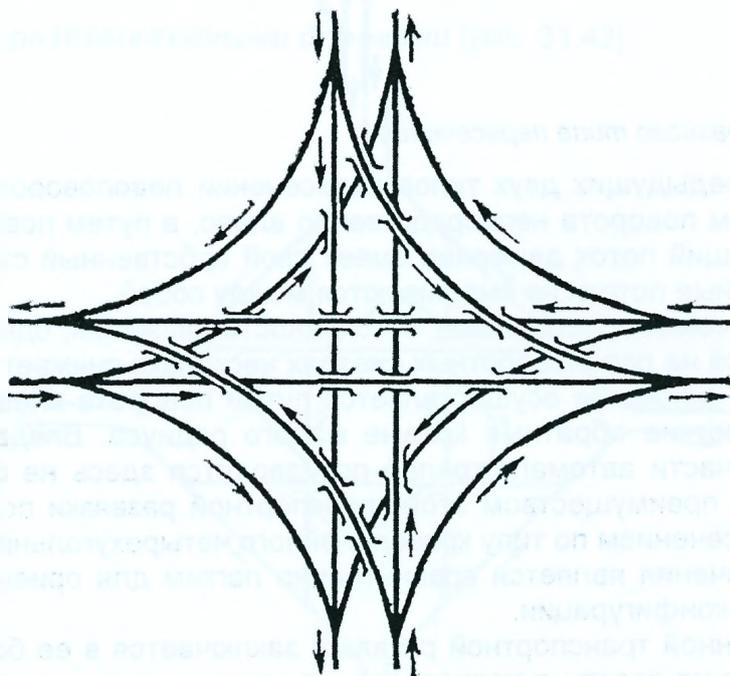


Рис. 31.40. Схема пересечения по типу криволинейного четырехугольника

Пересечение по типу криволинейного четырехугольника имеет очень много общего с ромбовидным типом пересечения. Здесь также оба направления каждой автомагистрали на транспортной развязке проводятся в разных уровнях, благодаря чему левоповоротные потоки могут сворачивать влево. Однако для возможности размещения всех путепроводов необходимо оба направления каждой автомагистрали располагать на весьма значительном расстоянии друг от друга. Это приводит к увеличению строительной стоимости данного типа пересечения, которая благодаря наличию шестнадцати путепроводов и без того является очень высокой.

Все поворачивающие потоки движения имеют специальные съезды, в результате чего лево- и правоповоротные потоки не смешиваются между собой.

Все указанные выше преимущества и недостатки ромбовидного типа пересечения присущи и данной транспортной развязке с той лишь разницей, что строительная стоимость ее значительно больше ромбовидного типа пересечения.

Н-образный тип пересечения. Сущность этого типа пересечения (рис. 31.41) состоит в том, что каждый левоповоротный съезд пересекает обе автомагистрали и располагается параллельно соответствующему правоповоротному съезду. В результате транспортная развязка имеет девять путепроводов.

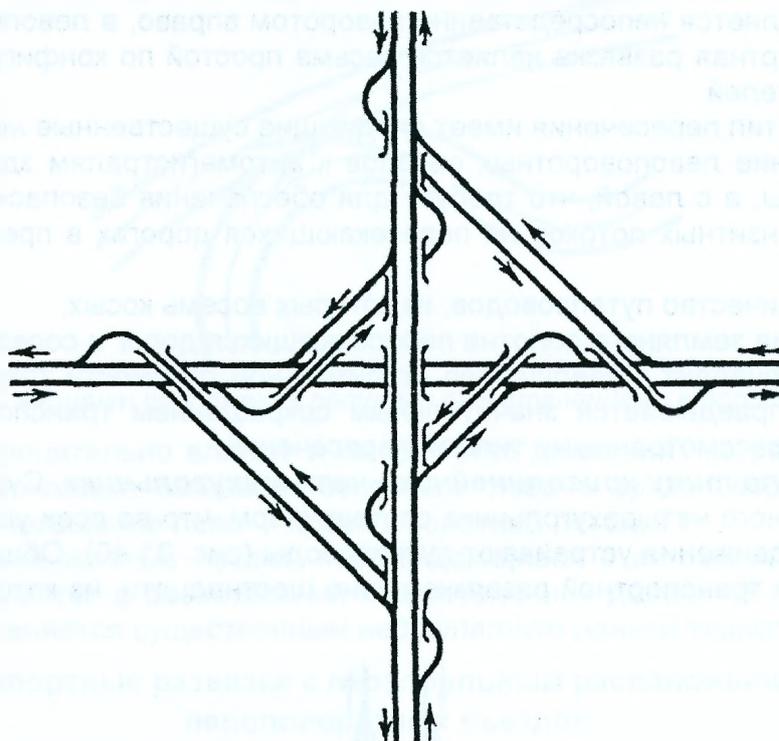


Рис. 31.41. Схема Н-образного типа пересечения

В отличие от предыдущих двух типов пересечений левоповоротное движение совершается здесь не путем поворота непосредственно влево, а путем поворота влево и вправо. Каждый поворачивающий поток движения имеет свой собственный съезд, вследствие чего лево- и правоповоротные потоки не смешиваются между собой.

Этот тип пересечения обеспечивает безопасность движения, однако наличие коротких кривых малого радиуса на левоповоротных съездах несколько снижает ее.

Левоповоротное движение осуществляется путем поворота влево и вправо. На пересечении имеются короткие обратные кривые малого радиуса. Впадение левоповоротных съездов в проезжие части автомагистралей производится здесь не с левой стороны, а с правой, что является преимуществом этой транспортной развязки по сравнению с ромбовидным типом и пересечением по типу криволинейного четырехугольника.

Этот тип пересечения является сравнительно легким для ориентировки водителей и довольно простым по конфигурации.

Недостаток данной транспортной развязки заключается в ее большой строительной стоимости ввиду наличия девяти путепроводов, из которых восемь косых, и большой протяженности съездов. Однако, как и в предыдущих двух типах пересечения, увеличение строительной стоимости оправдывается снижением транспортных расходов по сравнению с многими рассмотренными выше транспортными развязками.

31.5.4. Транспортные развязки, на которых пересекающиеся дороги разделяются на отдельные ветви

К этим транспортным развязкам относятся:

- линейный тип пересечения с двумя путепроводами;
- пересечение с разветвленными дорогами;
- крестообразный тип пересечения.

Линейный тип пересечения с двумя путепроводами (рис. 31.42).

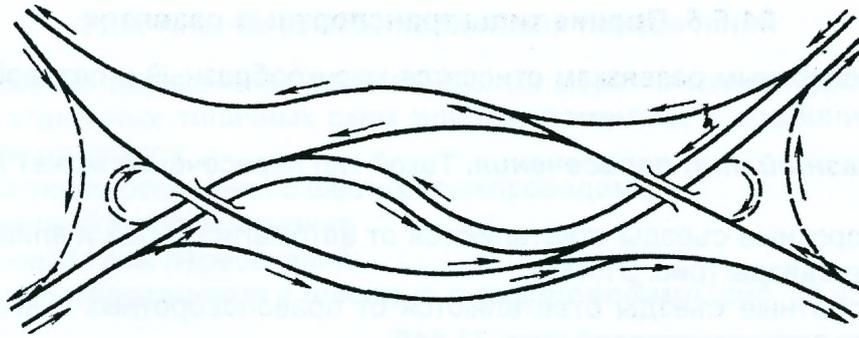


Рис. 31.42. Схема линейного типа пересечения с двумя путепроводами

Эта транспортная развязка применяется при пересечении автомобильных дорог под очень острым углом по типу железнодорожных пересечений. Она имеет два косых путепровода. Лево- и правоповоротное движение на ней обычно осуществляется только в двух направлениях. В других двух направлениях поворачивающие потоки, как правило, отсутствуют, так как при пересечении дорог под очень острым углом (30° и меньше) автомобили, движущиеся в этих направлениях, будут совершать значительный перепробег. При необходимости данный тип пересечения может быть приспособлен и для пропуска лево- и правоповоротных потоков в указанных двух направлениях. Для этого должны быть построены дополнительные съезды, которые на рис. 31.42 показаны пунктирными линиями.

Все съезды на транспортной развязке вливаются в проезжие части основных дорог с правой стороны. Эта транспортная развязка не является легкой для ориентировки водителей.

Пересечение с разветвленными дорогами (рис. 31.43).

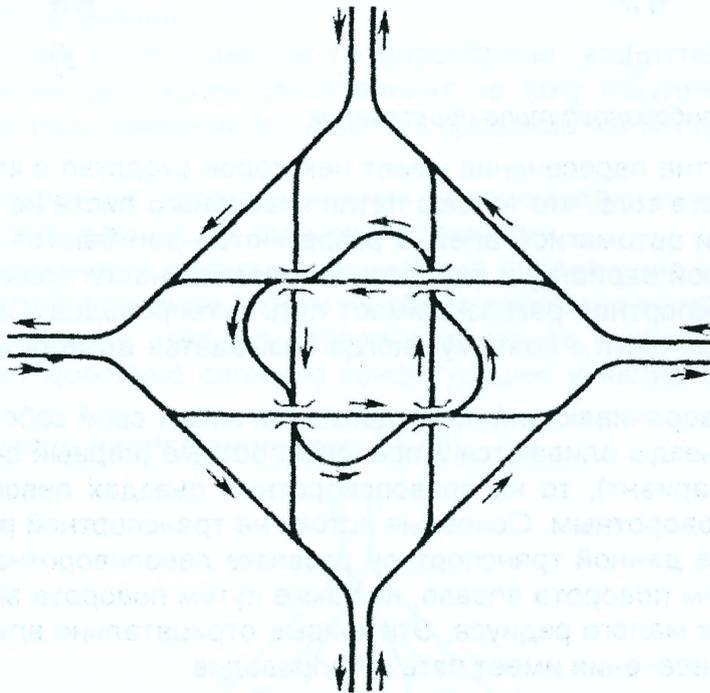


Рис. 31.43. Схема пересечения разветвленными дорогами

Данный тип пересечения образован четырьмя полупрямыми левоповоротными съездами, так что левоповоротное движение осуществляется путем поворота влево и вправо. Это достигается тем, что обе пересекающиеся дороги разветвляются на составные части и левоповоротные съезды располагаются между разветвлениями дорог. В результате транспортная развязка имеет четыре путепровода.

Каждый поворачивающий поток движения имеет здесь свой собственный съезд. Ни на одном съезде не происходит смешения поворачивающих потоков различного направления. Зато на разветвлениях дорог основное движение смешивается с лево- и правоповоротными потоками. Все съезды вливаются в разветвления дорог с правой стороны. Этот тип пересечения имеет очень сложную конфигурацию и создает ряд неудобств в эксплуатации.

31.5.5. Прочие типы транспортных развязок

К этим транспортным развязкам относятся крючкообразный и петлеобразный типы пересечений.

Крючкообразный тип пересечения. Такой тип пересечения может осуществляться в двух вариантах:

- левоповоротные съезды ответвляются от автомагистралей и вливаются в правоповоротные съезды (рис. 31.44а);
- левоповоротные съезды ответвляются от правоповоротных и вливаются в проезжие части автомагистралей (рис. 31.44б).

Как видно на рис. 31.44, второй вариант является зеркальным отражением первого.

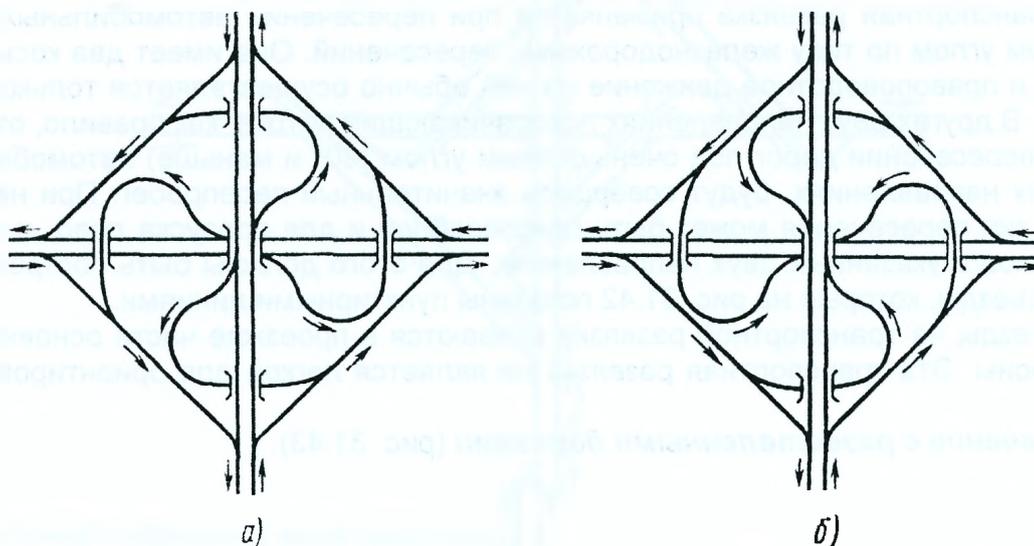


Рис. 31.44. Схемы крючкообразного типа пересечения

Крючкообразный тип пересечения имеет некоторое сходство с клеверным листом. Получается он в результате того, что четыре петли клеверного листа не замыкаются и не вводятся в проезжие части автомагистралей, а разрезаются, загибаются налево (первый вариант) или направо (второй вариант) и вводятся в проезжие части правоповоротных съездов. Вследствие этого транспортная развязка имеет пять путепроводов. По своей конфигурации она напоминает гребной винт и поэтому иногда называется **винтовым типом пересечения**.

Здесь каждый поворачивающий поток движения имеет свой собственный съезд, но так как левоповоротные съезды вливаются в правоповоротные (первый вариант) или ответвляются от них (второй вариант), то на правоповоротных съездах левоповоротное движение смешивается с правоповоротным. Основные потоки на транспортной развязке смешиваются с левоповоротными. На данной транспортной развязке левоповоротное движение осуществляется не только путем поворота вправо, но также путем поворота вправо и влево при наличии обратных кривых малого радиуса. Эти кривые отрицательно влияют на удобство движения. Данный тип пересечения имеет пять путепроводов.

Недостаток первого варианта транспортной развязки состоит в том, что левоповоротные съезды вливаются в правоповоротные не с правой, а с левой стороны. Во втором варианте транспортной развязки впадение всех съездов в проезжие части автомагистралей осуществляется с правой стороны.

Крючкообразный тип пересечения сравнительно прост по конфигурации и как транспортное сооружение является легким для ориентировки водителей.

Выбор того или иного типа пересечения автомобильных дорог в разных уровнях в каждом конкретном случае производится на основании технико-экономического сравнения возможных вариантов. При вариантном проектировании транспортных развязок для сравнительной оценки различных вариантов с точки зрения безопасности движения следует определять суммарный показатель безопасности на основании установленного количества опасных точек и их вида, а также заданной интенсивности движения по различным направлениям.

31.6. Анализ комбинированных пересечений

Комбинированные пересечения автомобильных дорог в разных уровнях получаются путем сочетания отдельных типичных схем или их элементов. К комбинированным транспортным развязкам относятся:

- линейный тип пересечения с шестью путепроводами;
- криволинейный тип пересечения
- расширенные типы пересечений,

Линейный тип пересечения с шестью путепроводами (рис. 31.45).

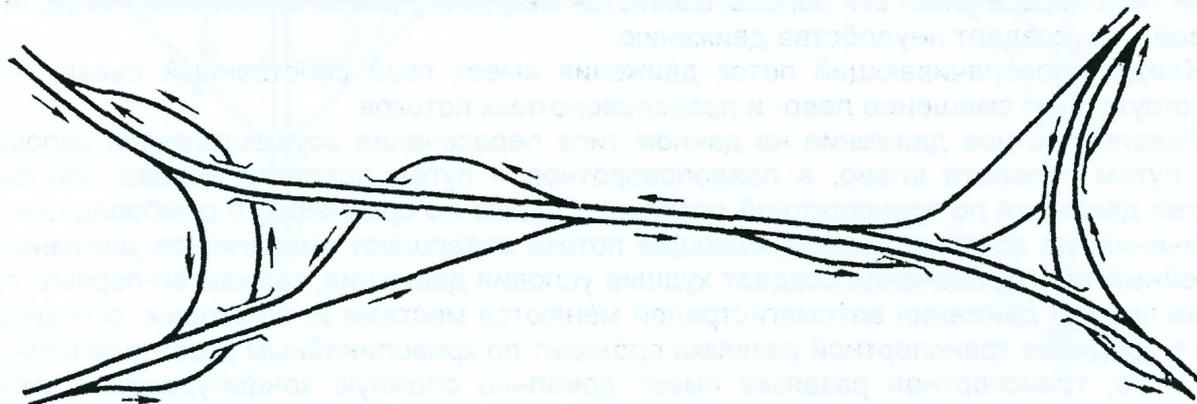


Рис. 31.45. Схема линейного типа пересечения с шестью путепроводами

Эта транспортная развязка, так же как и линейный тип пересечения с двумя путепроводами, применяется при пересечении автомобильных дорог под очень острым углом по типу железнодорожных пересечений.

Линейный тип пересечения с шестью путепроводами (все путепроводы косые) представляет собой сочетание двух узлов разветвления по типу треугольника. На этой транспортной развязке все потоки движения вступают на проезжие части пересекающихся дорог с правой стороны.

Лево- и правоповоротные потоки движения не смешиваются между собой, но зато, происходит смешение сворачивающих потоков с основными.

В отношении безопасности движения данный тип пересечения вполне удовлетворителен. В результате того, что основные потоки на обеих дорогах вынуждены в пределах пересечения проходить по кривым, этот тип пересечения менее удобен для движения. Транспортная развязка имеет довольно сложную конфигурацию и является малонаглядной для водителей.

Криволинейный тип пересечения (рис. 31.46).

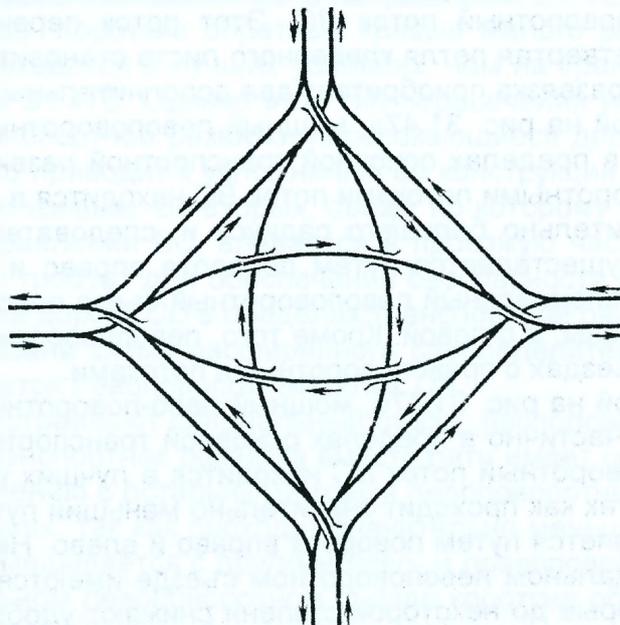


Рис. 31.46. Схема криволинейного типа пересечения

Криволинейный тип пересечения представляет собой сочетание элементов ромбовидного типа и пересечения с разветвленными дорогами. Транспортная развязка имеет восемь косых путепроводов. Здесь оба направления каждой автомагистрали на транспортной развязке проводятся в разных уровнях, благодаря чему левоповоротные потоки могут сворачивать непосредственно влево. Однако в отличие от ромбовидного типа пересечения на данной транспортной развязке обе пересекающиеся автомагистрали разветвляются на две составляющие части, что до некоторой степени приближает ее к пересечению с разветвленными дорогами (см. рис. 31.43). Но если на последней развязке правая и левая полосы движения автомагистралей сохраняют свое положение относительно друг друга, то на криволинейном типе пересечения эти полосы меняются местами (правая становится левой, а левая – правой), что создает неудобства движению.

Каждый поворачивающий поток движения имеет свой собственный съезд, поэтому здесь отсутствует смешение лево- и правоповоротных потоков.

Левоповоротное движение на данном типе пересечения осуществляется непосредственно путем поворота влево, а правоповоротное – путем поворота вправо, что создает удобство движения по транспортной развязке. Однако по сравнению с ромбовидным типом пересечения, на котором поворачивающие потоки совершают аналогичное движение, криволинейный тип пересечения создает худшие условия движения, так как, во-первых, правая и левая полосы движения автомагистралей меняются местами и, во-вторых, основное движение в пределах транспортной развязки проходит по криволинейным разветвлениям дорог. Кроме того, транспортная развязка имеет довольно сложную конфигурацию и является трудной для ориентировки водителей.

Особенность данного типа пересечения состоит в том, что пересекающиеся дороги имеют криволинейное очертание. По этой причине он и назван криволинейным.

Серьезным *недостатком* данной транспортной развязки является то, что присоединение левоповоротных съездов к разветвлениям автомагистралей осуществляется не с правой стороны, а с левой, поэтому для обеспечения безопасности движения необходимо снижение скорости транзитных потоков на пересекающихся дорогах в пределах транспортной развязки.

Расширенные типы пересечений. В том случае, когда на пересечении автомобильных дорог в разных уровнях один из левоповоротных потоков движения является особенно мощным по сравнению с другими, целесообразно для этого потока создавать лучшие условия движения путем переноса его на специальный дополнительный съезд, который может располагаться в пределах основной транспортной развязки или за ее пределами. При этом получается так называемый расширенный тип пересечения автомобильных дорог.

Расширенная транспортная развязка может быть получена почти для каждого типа пересечения автомобильных дорог в разных уровнях. В качестве примеров рассмотрим расширенный клеверный лист и расширенное распределительное кольцо.

На рис. 31.47 показаны схемы расширенного клеверного листа, на котором наиболее мощным является левоповоротный поток *BC*. Этот поток переносится на специальный съезд, вследствие чего четвертая петля клеверного листа становится ненужной и ее не устраивают, а транспортная развязка приобретает два дополнительных путепровода.

На схеме, показанной на рис. 31.47а, мощный левоповоротный поток *BC* проходит по съезду, расположенному в пределах основной транспортной развязки. По сравнению с остальными тремя левоповоротными потоками поток *BC* находится в лучших условиях, так как проходит по кривой значительно большего радиуса и, следовательно, может двигаться с большей скоростью и осуществляется путем поворота вправо и влево. Недостаток этой схемы состоит в том, что специальный левоповоротный съезд присоединяется к правоповоротному не с правой стороны, а с левой. Кроме того, левоповоротный поток *BC* смешивается на правоповоротных съездах с правоповоротными потоками.

На схеме, показанной на рис. 31.47б, мощный левоповоротный поток *BC* проходит по съезду, расположенному частично в пределах основной транспортной развязки, а частично за ее пределами. Левоповоротный поток *BC* находится в лучших условиях, чем остальные левоповоротные потоки, так как проходит значительно меньший путь в пределах транспортной развязки и осуществляется путем поворота вправо и влево. Недостаток этой схемы состоит в том, что на специальном левоповоротном съезде имеются короткие обратные кривые малого радиуса, которые до некоторой степени снижают удобство и безопасность движения по этому съезду.

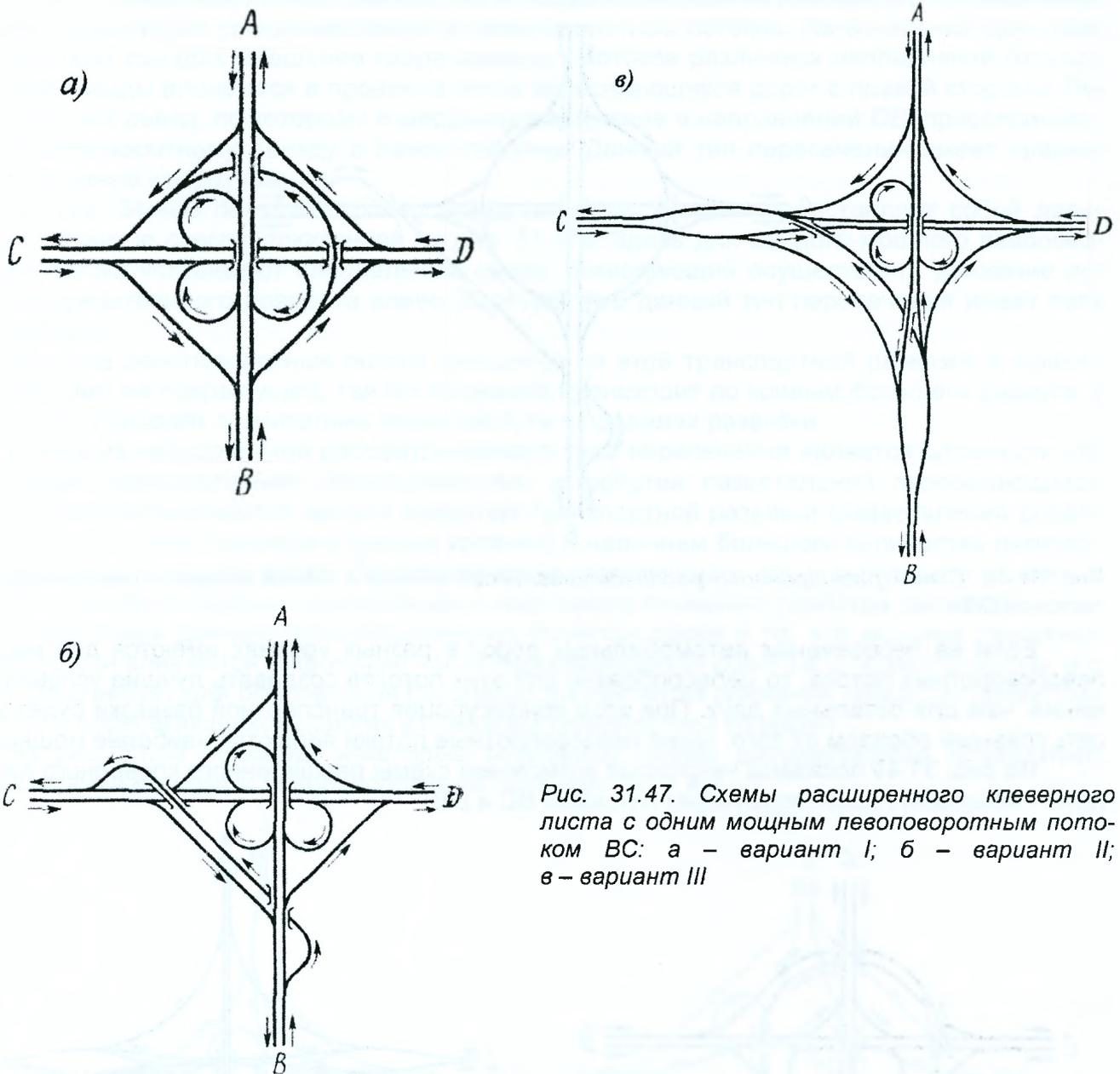


Рис. 31.47. Схемы расширенного клеверного листа с одним мощным левоповоротным потоком BC : а – вариант I; б – вариант II; в – вариант III

Схема расширенного клеверного листа, показанная на рис. 31.47в, данного недостатка не имеет. Здесь левоповоротное движение в направлении BC осуществляется непосредственным поворотом влево. Короткие обратные кривые малого радиуса отсутствуют. Левоповоротный поток BC находится в лучших условиях, чем на транспортных развязках, показанных на рис. 31.47а и 31.47б. Однако этот тип пересечения имеет свои недостатки. Во-первых, в пределах транспортной развязки пересекающиеся дороги разветвляются на две составляющие части, что приводит к усложнению ее конструкции и к необходимости движения основных потоков по кривым. Во-вторых, съезд, по которому осуществляется левоповоротное движение в направлении BC , вливается в проезжую часть дороги CD не с правой стороны, а с левой. Это требует для обеспечения безопасности движения снижения скорости транзитного потока на дороге CD в пределах транспортной развязки.

На рис. 31.48 показана схема расширенного распределительного кольца, на котором наиболее мощным является левоповоротный поток DB .

Для этого потока устраивают специальный съезд, расположенный за пределами кольца, в результате чего транспортная развязка вместо пяти имеет семь путепроводов, из которых два косых. По сравнению с остальными тремя левоповоротными потоками поток DB находится в лучших условиях, так как проходит значительно меньший путь в пределах транспортной развязки и не смешивается с другими лев- и правоповоротными потоками. Однако имеющиеся на специальном левоповоротном съезде короткие обратные кривые малого радиуса несколько снижают удобство и безопасность движения по нему.

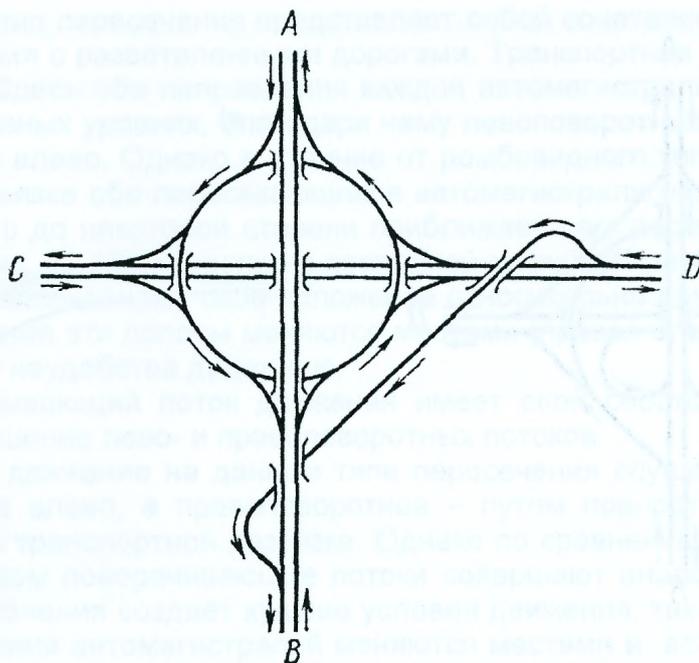


Рис. 31.48. Схема расширенного распределительного кольца с одним мощным левоповоротным потоком DB

Если на пересечении автомобильных дорог в разных уровнях имеются два мощных левоповоротных потока, то целесообразно для этих потоков создавать лучшие условия движения, чем для остальных двух. При этом конфигурация транспортной развязки будет зависеть главным образом от того, какие левоповоротные потоки являются наиболее мощными.

На рис. 31.49 показаны некоторые возможные схемы расширенного клеверного листа с двумя мощными левоповоротными потоками BC и DB .

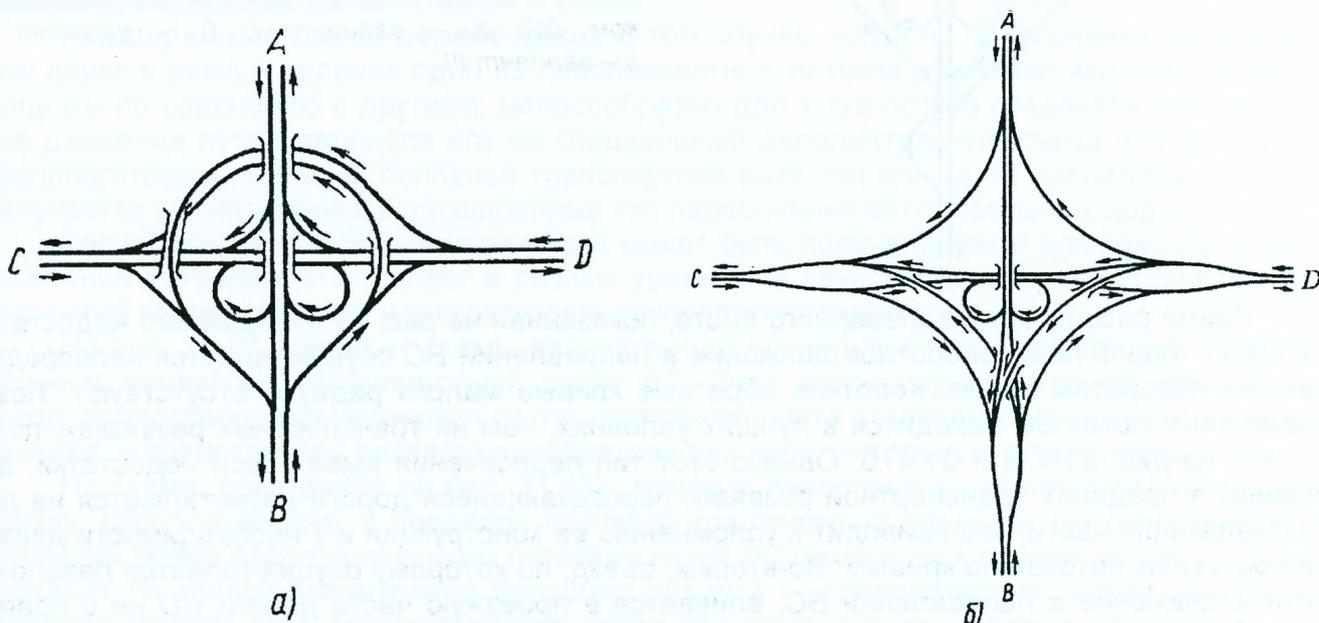


Рис. 31.49. Схемы расширенного клеверного листа с двумя мощными левоповоротными потоками BC и DB : а – вариант I; б – вариант II

На рис. 31.49а изображен так называемый **грушевидный тип пересечения**. Он получается вследствие комбинации элементов клеверного листа и турбинного типа пересечения. Транспортная развязка имеет четыре путепровода, один из которых является косым. Для мощных левоповоротных потоков устраивают специальные съезды больших радиусов. Условия движения в направлениях BC и DB значительно лучше, чем в направлениях AD и CA . При движении в направлениях AD и CA автомобили вынуждены проходить по кривым меньшего радиуса, чем при движении в направлениях BC и DB , и должны совершать штопорообразное движение.

На двух правоповоротных съездах, по которым совершается движение в направлениях CB и BD , происходит смещение право- и левоповоротных потоков. На остальных двух правоповоротных съездах смещение сворачивающих потоков различных направлений отсутствует. Все съезды вливаются в проезжие части пересекающихся дорог с правой стороны. Левоповоротный съезд, по которому совершается движение в направлении DB , присоединяется к правоповоротному съезду с левой стороны. Данный тип пересечения имеет сравнительно сложную конфигурацию.

На рис. 31.49б показана транспортная развязка, которая представляет собой дальнейшее развитие схемы, показанной на рис. 31.47в. Здесь для каждого мощного левоповоротного потока устраивают специальный съезд, позволяющий осуществлять движение путем непосредственного поворота влево. В результате данный тип пересечения имеет пять путепроводов.

Мощные левоповоротные потоки находятся на этой транспортной развязке в лучших условиях, чем на предыдущей, так как движение происходит по кривым большого радиуса и автомобили проходят значительно меньший путь в пределах развязки.

Одним из *недостатков* рассматриваемого типа пересечения является сложность его конструкции, обусловленная необходимостью устройства разветвлений пересекающихся дорог на две составляющие части в пределах транспортной развязки (разветвления дороги AB к тому же осуществляются в разных уровнях) и наличием большого количества путепроводов, из которых четыре косых. Разветвления пересекающихся дорог вынуждают основные потоки двигаться по кривым, что приводит к некоторому снижению удобства движения.

Недостатком данного типа пересечения является также и то, что мощные левоповоротные потоки вливаются в проезжие части пересекающихся дорог не с правой стороны, а с левой. Это требует для обеспечения безопасности движения снижения скорости транзитных потоков на пересекающихся дорогах в пределах транспортной развязки.

На рис. 31.50 показаны некоторые возможные схемы **расширенного клеверного листа** с двумя мощными левоповоротными потоками BC и AD .

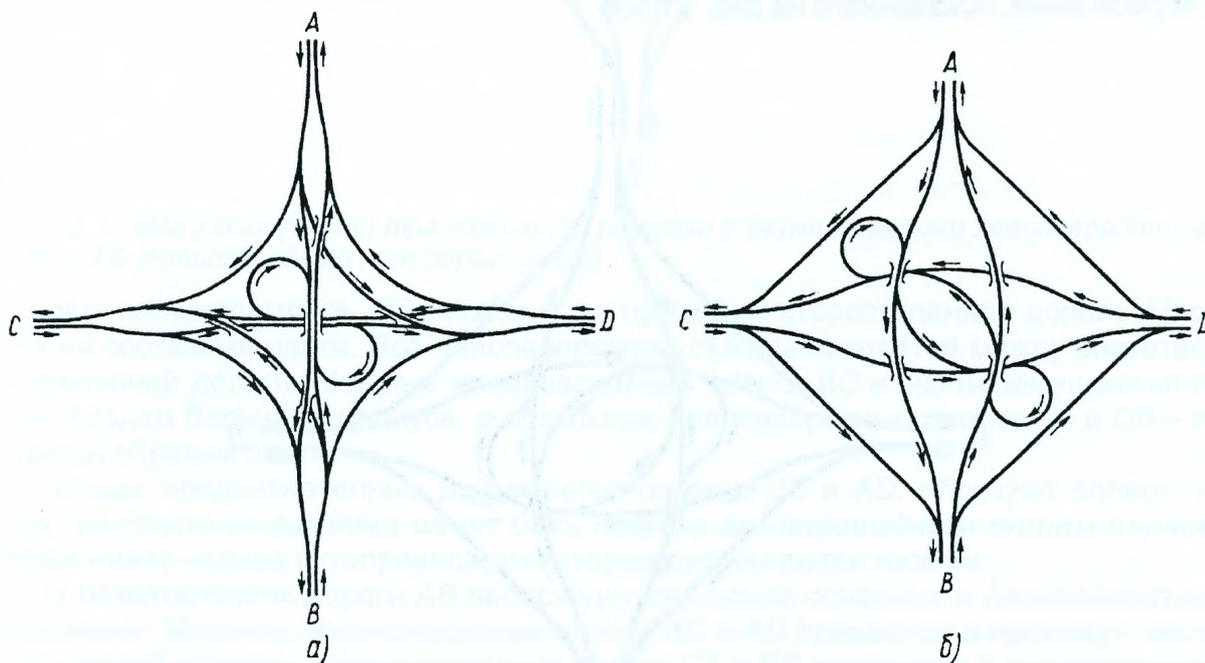


Рис. 31.50. Схемы расширенного клеверного листа с двумя мощными левоповоротными потоками BC и AD : а – вариант I; б – вариант II (пересечение по типу тройной петли)

Транспортная развязка, показанная на рис. 31.50а, как и предыдущий тип пересечения (рис. 31.49б), имеет специальные съезды для каждого мощного левоповоротного потока. Эти съезды позволяют совершать движение путем непосредственного поворота влево. Здесь съезды для мощных левоповоротных потоков находятся не в соседних четвертях, а в накрестлежащих. Этот тип пересечения имеет те же достоинства и недостатки, что и транспортная развязка, показанная на рис. 31.49б. Но в отличие от последней здесь разветвления каждой дороги осуществляются в одном уровне. Кроме того, на рассматриваемой транспортной развязке левоповоротные потоки, совершающие штопорообразное движение, нахо-

дятся в лучших условиях, чем на пересечении, представленном на рис. 31.49б, так как указанные потоки перемещаются здесь по кривым большого радиуса.

Транспортная развязка, показанная на рис. 31.50б, может быть названа **пересечением по типу тройной петли**. Она получается путем сочетания элементов клеверного листа, кольца и пересечения с разветвленными дорогами и имеет четыре косых путепровода. Пересекающиеся дороги в пределах транспортной развязки разветвляются на составные части. Мощные левоповоротные потоки BC и AD перемещаются по кольцевым съездам большого радиуса, а остальные левоповоротные потоки CA и DB – по съездам обычного клеверного листа. Все левоповоротные съезды в совокупности образуют три петли.

На этой транспортной развязке мощные левоповоротные потоки BC и AD находятся в лучших условиях, чем левоповоротные потоки CA и DB , и каждый левоповоротный поток осуществляет переход с одной пересекающейся дороги на другую путем непосредственного поворота влево, тогда как остальные левоповоротные потоки осуществляют переход с одной дороги на другую путем поворота вправо, т. е. совершают штопорообразное движение. Во-вторых, мощные левоповоротные потоки перемещаются по кривым большого радиуса.

На разветвлениях пересекающихся дорог происходит смешение основных и левоповоротных потоков движения. Мощные левоповоротные потоки вливаются в разветвления пересекающихся дорог с левой стороны, поэтому транзитные потоки, проходящие по дороге CD , вынуждены снижать скорость в пределах транспортной развязки.

Пересечение по типу тройной петли обеспечивает удобство движения правоповоротных и мощных левоповоротных потоков. Удобство движения основных потоков на этой транспортной развязке не обеспечивается, так как основные потоки проходят здесь по кривым и смешиваются с левоповоротными потоками.

Рассмотренные транспортные развязки с двумя мощными левоповоротными потоками (см. рис. 31.49 и 31.50) имеют в своей основе элементы клеверного листа.

На рис. 31.51 показана расширенная **транспортная развязка с двумя мощными левоповоротными потоками BC и AD** , которая представляет собой видоизмененный вариант пересечения, показанного на рис. 31.50б.

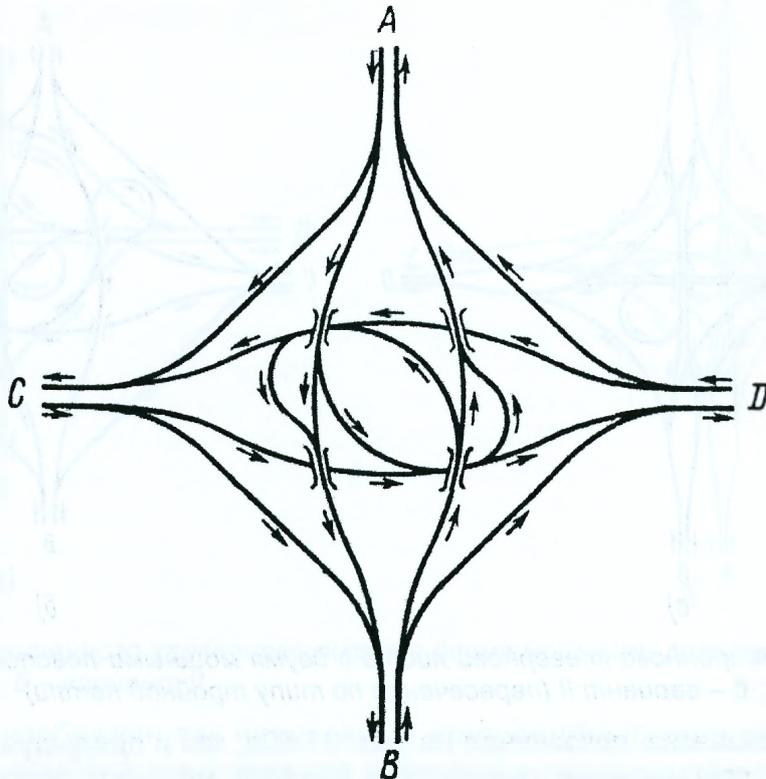


Рис. 31.51. Схема расширенной транспортной развязки с двумя мощными левоповоротными потоками BC и AD (видоизмененный вариант пересечения по типу тройной петли)

Здесь элементы клеверного листа отсутствуют. Мощные левоповоротные потоки BC и AD , так же как и на пересечении по типу тройной петли, перемещаются по кольцевым съездам большого радиуса, а остальные левоповоротные потоки CA и DB проходят по таким же

съездам, как и на пересечении с разветвленными дорогами, т. е. перемещаются путем поворота влево и вправо. Следовательно, на этой транспортной развязке левоповоротные потоки CA и DB находятся несколько в лучших условиях, чем на пересечении по типу тройной петли, где указанные потоки совершают штопорообразное движение.

На рис. 31.52 показана расширенная транспортная развязка с двумя мощными левоповоротными потоками BC и AD , которая представляет собой **комбинацию элементов кольца, пересечения с разветвленными дорогами и крючкообразного типа пересечения**.

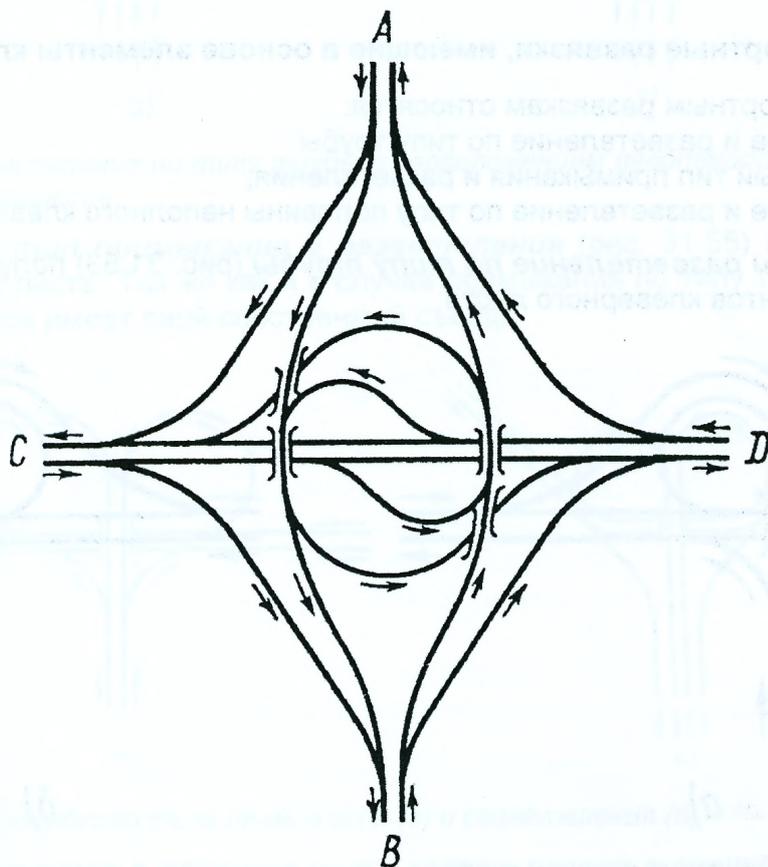


Рис. 31.52. Схема расширенной транспортной развязки с двумя мощными левоповоротными потоками BC и AD (эллипсоидный тип пересечения)

Здесь автомагистраль CD проходит по прямой, а второстепенная дорога AB разветвляется на составные части. Все левоповоротные съезды находятся между разветвлениями второстепенной дороги. Мощные левоповоротные потоки BC и AD перемещаются по кольцевым съездам большого радиуса, а остальные левоповоротные потоки CA и DB — по съездам крючкообразного типа.

Съезды, предназначенные для мощных потоков BC и AD , образуют эллипс, поэтому данная транспортная развязка может быть названа **эллипсоидным типом пересечения**. Развязка имеет четыре путепровода, из которых два являются косыми.

На разветвлениях дороги AB происходит смещение основных и левоповоротных потоков движения. Мощные левоповоротные потоки BC и AD вливаются в проезжую часть дороги CD с правой стороны. Левоповоротные потоки CA и DB вливаются в разветвления дороги AB с левой стороны, поэтому транзитные потоки, проходящие по этой дороге, вынуждены снижать скорость в пределах транспортной развязки.

Транспортная развязка имеет сравнительно простую конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей.

На расширенных типах пересечений автомобильных дорог в разных уровнях лучшие условия движения создаются в основном для мощных левоповоротных потоков. Но так как эти потоки обычно изолируются от остальных потоков, а в некоторых случаях выносятся даже за пределы основной транспортной развязки, то интенсивность движения на ней несколько уменьшается, в результате чего улучшаются условия движения на всем пересечении.

31.7. Анализ примыканий и разветвлений автомобильных дорог

Многие типы примыканий автомобильных дорог в разных уровнях могут быть выполнены и как разветвления. Последние в отношении удобства и безопасности движения не отличаются от соответствующих типов примыканий.

Однако имеются такие транспортные развязки, которые могут быть выполнены только как разветвления. К ним, в частности, относятся: лирообразный тип разветвления, V-образный тип разветвления и разветвление по типу криволинейного треугольника с одним путепроводом.

31.7.1. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы клеверного листа

К этим транспортным развязкам относятся:

- примыкание и разветвление по типу трубы;
- листовидный тип примыкания и разветвления;
- примыкание и разветвление по типу половины неполного клеверного листа.

Примыкание и разветвление по типу трубы (рис. 31.53) получается на основе использования элементов клеверного листа.

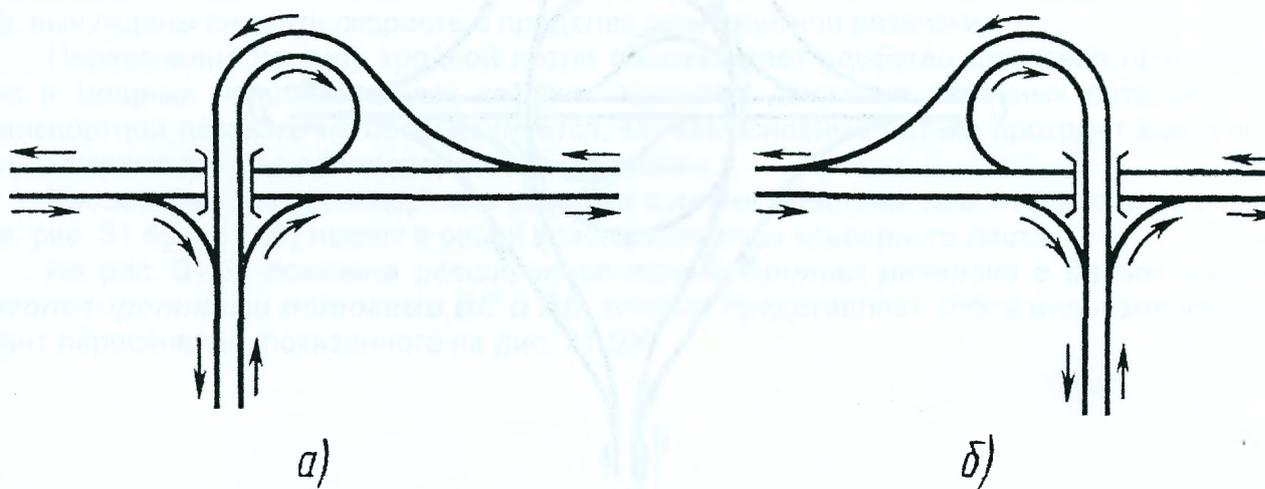


Рис. 31.53. Схемы примыкания по типу трубы

Каждый поворачивающий поток движения имеет свой собственный съезд, причем левоповоротные съезды на значительном протяжении имеют общее земляное полотно и, таким образом, представляют собой на этом участке двухполосный съезд, движение по которому происходит в противоположных направлениях.

В зависимости от конкретных местных условий левоповоротные съезды могут располагаться справа от путепровода (рис. 31.53а) или слева от него (рис. 31.53б). Одним из основных факторов, определяющих выбор той или иной схемы, является интенсивность левоповоротных потоков.

Если интенсивность левоповоротного движения, направляющегося с основной дороги на примыкающую, больше, чем левоповоротного движения, идущего на основную дорогу, то следует применять схему транспортной развязки, изображенную на рис. 31.53а. В противном случае нужно отдавать предпочтение схеме, показанной на рис. 31.53б. На выбор той или иной схемы может также оказывать влияние рельеф и ситуация местности.

В отношении безопасности движения этот тип примыкания является вполне удовлетворительным, поскольку на нем отсутствуют точки пересечения потоков движения в одном уровне. Некоторое отрицательное влияние на безопасность движения оказывает наличие встречного движения на левоповоротных съездах, имеющих общее земляное полотно. Все съезды вливаются в проезжие части автомагистралей с правой стороны.

Лево- и правоповоротные потоки не смешиваются между собой. Основной поток главной дороги смешивается с левоповоротными потоками. Транспортная развязка имеет простую конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей.

На рис. 31.54 показаны схемы разветвления по типу трубы.

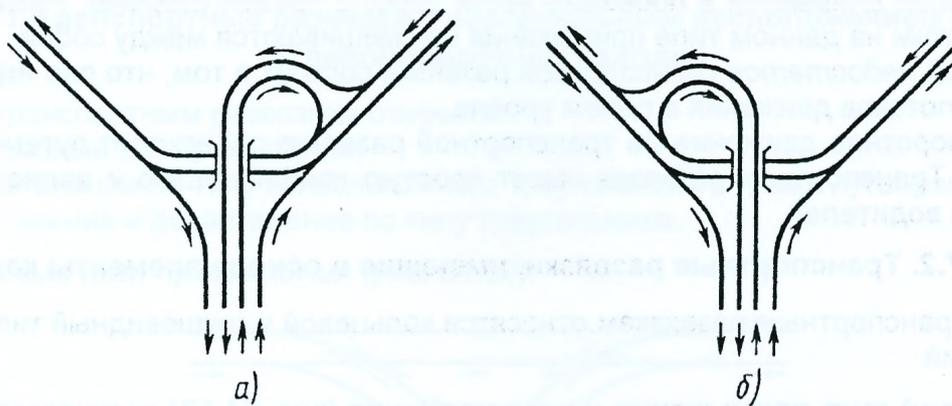


Рис. 31.54. Схемы разветвления по типу трубы с расположением левоповоротных съездов справа (а) и слева (б) от путепровода

Листовидный тип примыкания и разветвления (рис. 31.55) представляет собой половину клеверного листа. Так же как и в случае примыкания по типу трубы, здесь каждый поворачивающий поток имеет свой собственный съезд.

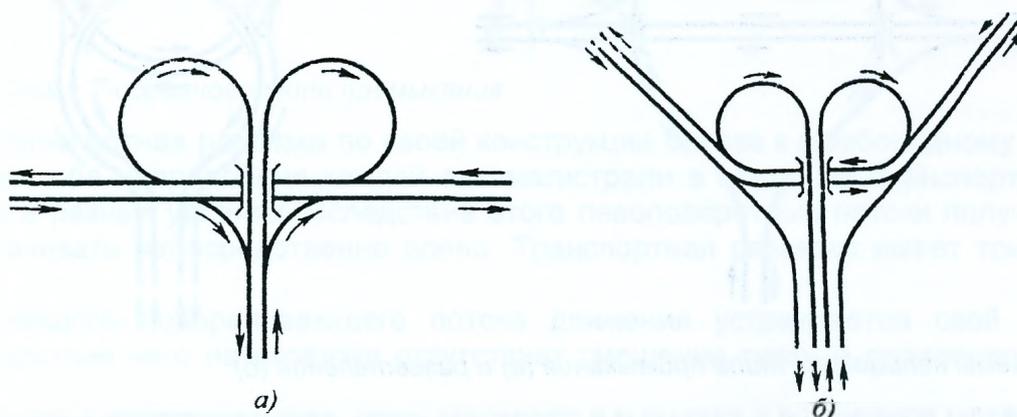


Рис. 31.55. Схемы листовидного типа примыкания (а) и разветвления (б)

Все съезды вливаются в проезжие части дорог с правой стороны. Смешение различных поворачивающих потоков на транспортной развязке отсутствует. Основной поток главной дороги смешивается с левоповоротными потоками.

Данный тип примыкания обеспечивает большую безопасность движения, чем примыкание по типу трубы, так как почти на всем протяжении левоповоротных съездов отсутствует встречное движение.

Транспортная развязка имеет простую конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей. По сравнению с примыканием по типу трубы данная развязка занимает несколько большую площадь.

Примыкание и разветвление по типу половины неполного клеверного листа. Так же как и на двух предыдущих типах примыканий, здесь каждый поворачивающий поток имеет свой собственный съезд (рис. 31.56).

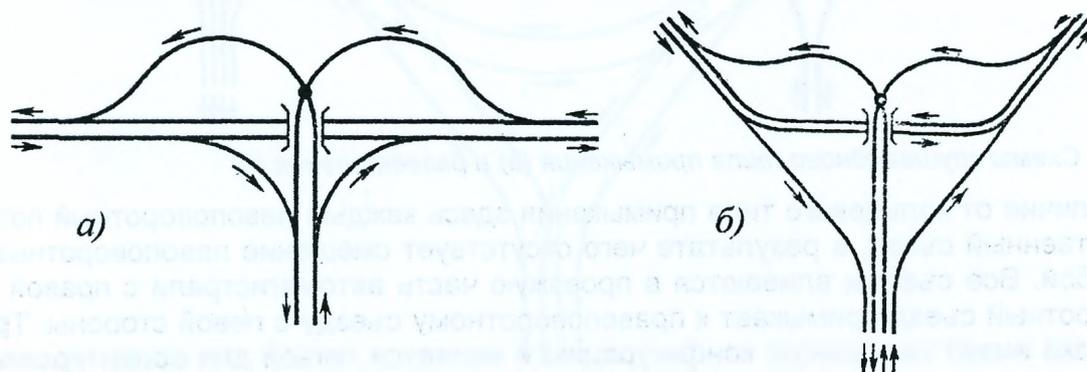


Рис. 31.56. Схемы примыкания и разветвления по типу половины неполного клеверного листа

Все съезды вливаются в проезжие части дорог с правой стороны. Различные поворачивающие потоки на данном типе примыкания не смешиваются между собой.

Основной недостаток транспортной развязки состоит в том, что она имеет одну точку пересечения потоков движения в одном уровне.

Левоповоротное движение на транспортной развязке происходит путем поворота влево и вправо. Транспортная развязка имеет простую конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей.

31.7.2. Транспортные развязки, имеющие в основе элементы кольца

К этим транспортным развязкам относятся кольцевой и грушевидный типы примыканий и разветвлений.

Кольцевой тип примыкания и разветвления (рис. 31.57) получается на основании использования элементов распределительного кольца. Он имеет два путепровода.

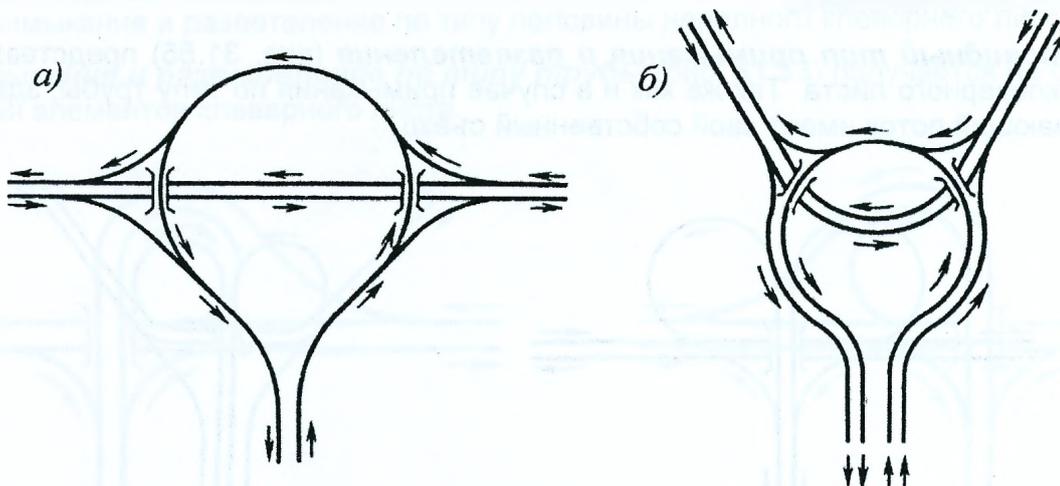


Рис. 31.57. Схемы кольцевого типа примыкания (а) и разветвления (б)

Все съезды вливаются в кольцо и в проезжую часть автомагистрали с правой стороны; кольцо примыкает к правоповоротному съезду с левой стороны. На кольце левоповоротные потоки смешиваются между собой. Транспортная развязка имеет исключительно простую форму и является очень легкой для ориентировки водителей.

Грушевидный тип примыкания и разветвления (рис. 31.58) получается путем использования элементов турбинного типа пересечения.

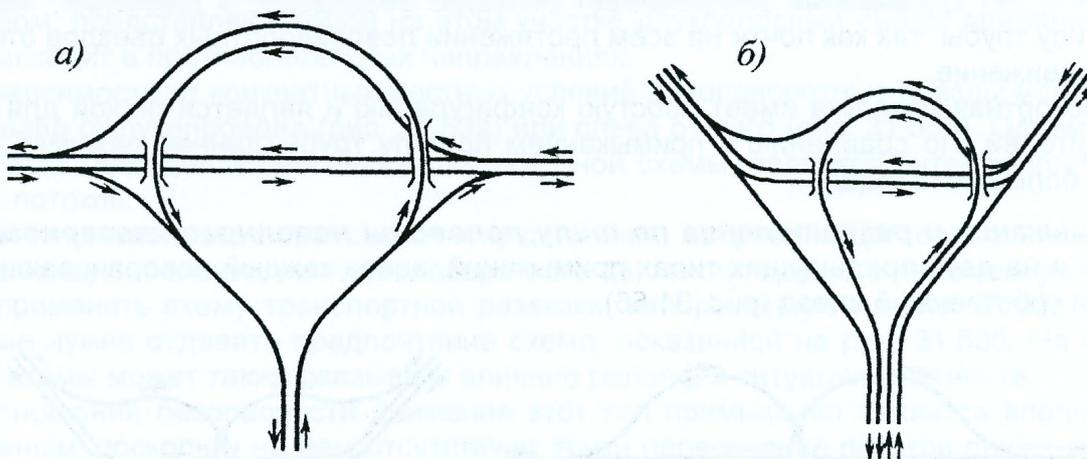


Рис. 31.58. Схемы грушевидного типа примыкания (а) и разветвления (б)

В отличие от кольцевого типа примыкания здесь каждый левоповоротный поток имеет свой собственный съезд, в результате чего отсутствует смешение левоповоротных потоков между собой. Все съезды вливаются в проезжую часть автомагистрали с правой стороны. Левоповоротный съезд примыкает к правоповоротному съезду с левой стороны. Транспортная развязка имеет несложную конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей.

31.7.3. Транспортные развязки с параллельным расположением право- и левоповоротных съездов

К этим транспортным развязкам относятся:

- Т-образный тип примыкания;
- разветвление по типу криволинейного треугольника с тремя путепроводами;
- примыкание и разветвление по типу треугольника.

Т-образный тип примыкания (рис. 31.59).

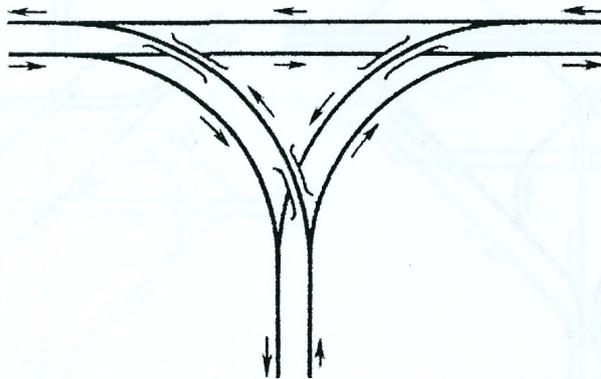


Рис. 31.59. Схема Т-образного типа примыкания

Эта транспортная развязка по своей конструкции близка к ромбовидному типу пересечения. Здесь оба направления каждой автомагистрали в пределах транспортной развязки проводятся в разных уровнях. Вследствие этого левоповоротные потоки получают возможность сворачивать непосредственно влево. Транспортная развязка имеет три косых путепровода.

Для каждого поворачивающего потока движения устраивается свой собственный съезд, вследствие чего на развязке отсутствует смешение лево- и правоповоротных потоков.

Из всех типов примыкания автомобильных дорог в разных уровнях данная транспортная развязка является наиболее простой по конфигурации и наиболее легкой для ориентировки водителей.

Таким образом, в отношении удобства и безопасности движения Т-образный тип примыкания является одной из наилучших транспортных развязок. Однако этот тип примыкания имеет тот недостаток, что впадение левоповоротных съездов в проезжие части автомагистралей осуществляется здесь не с правой, а с левой стороны. По сравнению с предыдущими типами примыкания автомобильных дорог в разных уровнях данная транспортная развязка имеет большее количество путепроводов, что приводит к увеличению ее строительной стоимости. Однако транспортные расходы на ней значительно меньше за счет сокращения пути и времени пробега сворачивающих автомобилей.

Разветвление по типу криволинейного треугольника с тремя путепроводами (рис. 31.60).

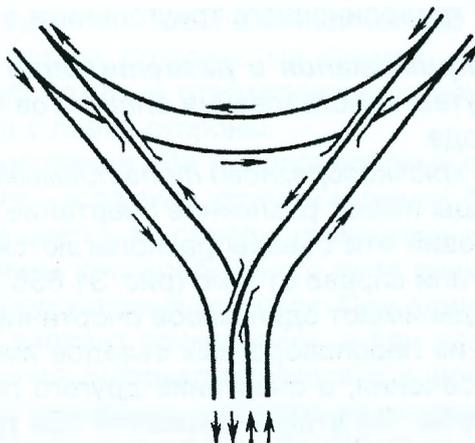


Рис. 31.61. Схема разветвления по типу криволинейного треугольника с тремя путепроводами

Эта транспортная развязка аналогична Т-образному типу примыкания. Здесь оба направления каждого разветвления основной автомагистрали в пределах развязки проводятся в разных уровнях. Благодаря этому левоповоротные потоки получают возможность сворачивать непосредственно влево.

Транспортная развязка имеет те же преимущества и недостатки, что и Т-образный тип примыкания.

Примыкание и разветвление по типу треугольника (рис. 31.62).

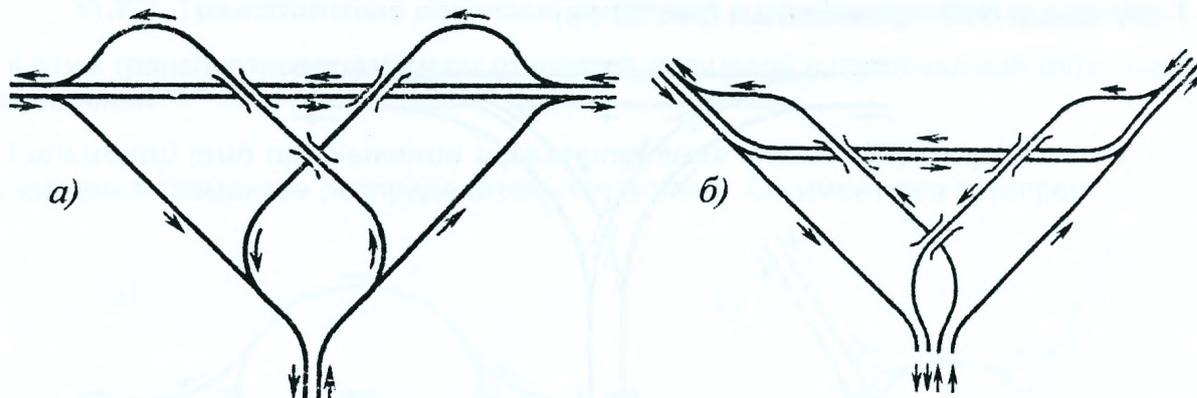


Рис. 31.62. Схемы примыкания (а) и разветвления (б) по типу треугольника

На примыкании по типу треугольника каждый левоповоротный съезд пересекает основную магистраль и располагается параллельно соответствующему правоповоротному съезду. В результате транспортная развязка имеет три путепровода, два из которых являются косыми.

В отличие от Т-образного типа примыкания левоповоротное движение здесь совершается не путем непосредственного поворота влево, а путем поворота вправо и влево. Каждый поворачивающий поток движения имеет свой собственный съезд, вследствие чего лево- и правоповоротные потоки не смешиваются между собой.

Также, в отличие от Т-образного типа примыкания, здесь впадение левоповоротного съезда, ведущего с примыкающей дороги на основную, в проезжую часть основной дороги производится не с левой стороны, а с правой. Левоповоротный съезд, ведущий с основной дороги на примыкающую, вливается в правоповоротный съезд с левой стороны. Этот тип примыкания имеет довольно простую конфигурацию и является легким для ориентировки водителей.

31.7.4. Прочие типы транспортных развязок

К этим транспортным развязкам относятся:

- крючкообразный тип примыкания и разветвления;
- грибообразный тип примыкания и разветвления;
- линейный тип примыкания;
- лирообразный тип разветвления;
- V-образный тип разветвления;
- разветвление по типу криволинейного треугольника с одним путепроводом.

Крючкообразный тип примыкания и разветвления (рис. 31.63). Крючкообразный тип примыкания получается путем использования элементов крючкообразного типа пересечения. Он имеет два путепровода.

Возможны два варианта крючкообразного типа примыкания:

- левоповоротные съезды имеют различное очертание, причем в зависимости от конкретных местных условий эти съезды располагаются слева от центрального путепровода (рис. 31.63а) или справа от него (рис. 31.63б)
- левоповоротные съезды имеют одинаковое очертание (рис. 31.63в).

В первом варианте один из левоповоротных съездов имеет такое же очертание, как и на крючкообразном типе пересечения, а очертание другого левоповоротного съезда такое, как на примыкании по типу трубы. Во втором варианте оба левоповоротных съезда имеют такое же очертание, как на крючкообразном типе пересечения.

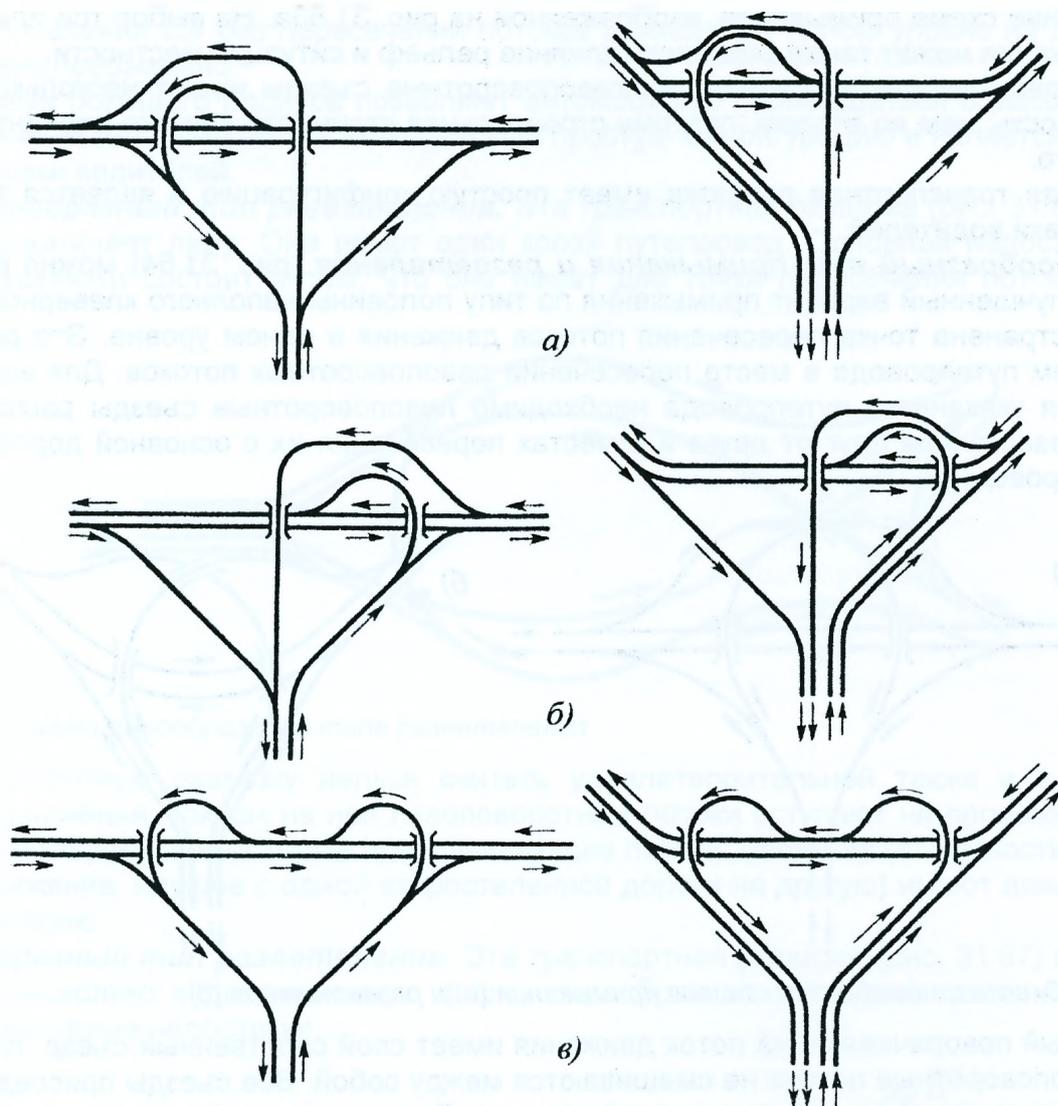


Рис. 31.63. Схемы крючкообразных типов примыканий (слева) и разветвлений (справа): а – левоповоротные съезды имеют различное очертание и располагаются слева от центрального путепровода; б – левоповоротные съезды имеют различное очертание и располагаются справа от центрального путепровода; в – левоповоротные съезды имеют одинаковое очертание

На рассматриваемой транспортной развязке каждый поворачивающий поток имеет свой собственный съезд, но так как левоповоротные съезды, имеющие крючкообразное очертание, ответвляются от правоповоротных съездов или вливаются в них, то на правоповоротных съездах получается смешение лево- и правоповоротных потоков движения. В первом варианте примыкания это смешение происходит только на одном правоповоротном съезде, а во втором варианте – на обоих. Основной поток главной дороги смешивается с левоповоротными потоками.

На схеме транспортной развязки, изображенной на рис. 31.63б, все съезды примыкают к проезжим частям дорог с правой стороны. На схемах, изображенных на рис. 31.63а и 31.63в, левоповоротный съезд, который ответвляется от основной автомагистрали, вливается в правоповоротный съезд с левой стороны.

Во втором варианте примыкания оба левоповоротных потока находятся в одинаковых условиях, а в первом варианте – в разных, причем в менее благоприятных условиях оказывается поток, который перемещается по съезду, имеющему крючкообразное очертание. Поэтому выбор той или иной схемы крючкообразного типа примыкания зависит в первую очередь от интенсивности левоповоротных потоков. При одинаковой их интенсивности целесообразно применять второй вариант примыкания, а при разной – первый. Если интенсивность левоповоротного движения, направляющегося с основной дороги на примыкающую, больше, чем левоповоротного движения, идущего на основную дорогу, то следует применять схему примыкания, изображенную на рис. 31.63б. В противном случае нужно отдавать

предпочтение схеме примыкания, изображенной на рис. 31.63а. На выбор той или иной схемы примыкания может также оказывать влияние рельеф и ситуация местности.

В первом варианте примыкания левоповоротные съезды имеют несколько большую протяженность, чем во втором, поэтому строительная стоимость первого варианта больше, чем второго.

Данная транспортная развязка имеет простую конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей.

Грибообразный тип примыкания и разветвления (рис. 31.64) можно рассматривать как улучшенный вариант примыкания по типу половины неполного клеверного листа, в котором устранена точка пересечения потоков движения в одном уровне. Это достигается устройством путепровода в месте пересечения левоповоротных потоков. Для возможности сооружения указанного путепровода необходимо левоповоротные съезды располагать на большом расстоянии друг от друга и в местах пересечения их с основной дорогой устраивать путепроводы.

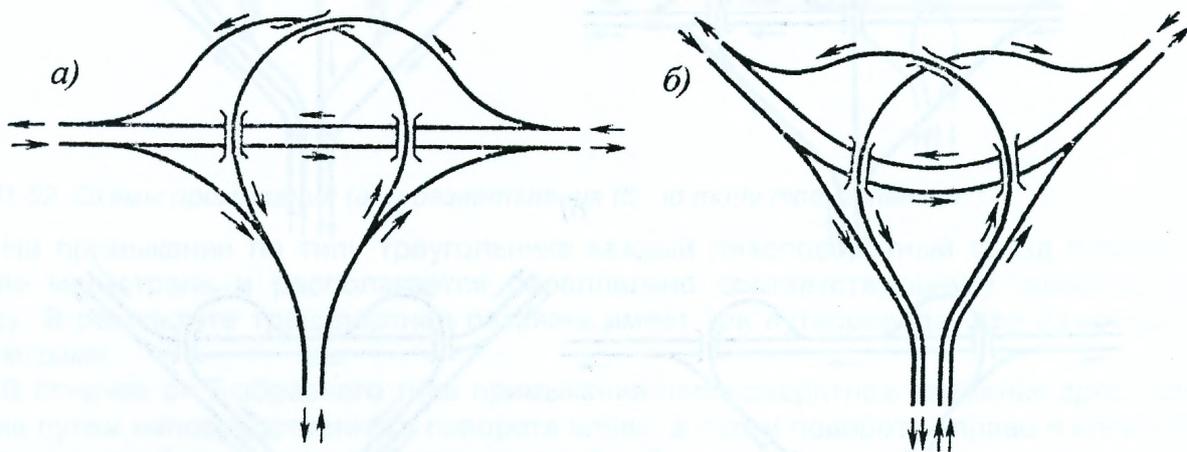


Рис. 31.64. Схемы грибообразных типов примыкания (а) и разветвления (б)

Каждый поворачивающий поток движения имеет свой собственный съезд, поэтому лево- и правоповоротные потоки не смешиваются между собой. Все съезды присоединяются к проезжей части автомагистрали с правой стороны. Левоповоротный съезд примыкает к правоповоротному съезду с левой стороны. Транспортная развязка имеет очень простую конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей.

Линейный тип примыкания. Эта транспортная развязка (рис. 31.65) применяется в тех случаях, когда одна автомобильная дорога примыкает к другой под очень острым углом.

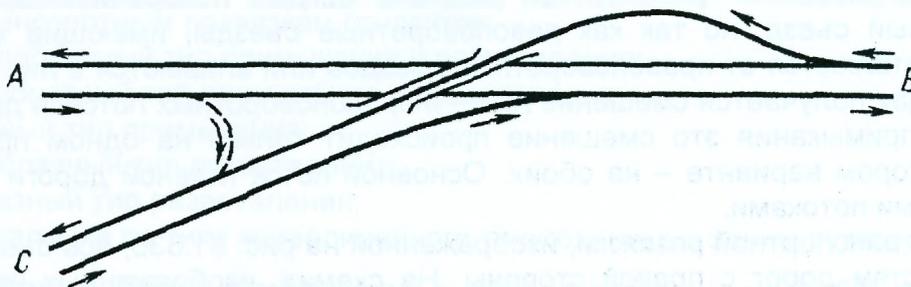


Рис. 31.65. Схема линейного типа примыкания

Развязка имеет один косой путепровод, один левоповоротный и один правоповоротный съезды. Последний присоединяется к основной дороге с правой стороны. Левоповоротное движение на этом типе примыкания осуществляется только в направлении *BC*, а правоповоротное – только в направлении *CB*. В направлениях *AC* и *CA* поворачивающие потоки обычно отсутствуют, так как в случае примыкания одной дороги к другой под очень острым углом (30° и меньше) автомобили, движущиеся в этих направлениях, будут совершать значительный перепробег. При необходимости транспортная развязка может быть приспособлена и для пропуска правоповоротного потока в направлении *AC*. Для этого должен быть построен дополнительный съезд (на рис. 31.65 показан пунктирной линией), который присоединяется к примыкающей дороге с правой стороны. Обеспечить левоповоротное движение

ние в направлении *СА* без пересечений потоков движения в одном уровне на данном типе примыкания невозможно.

Кривые большого радиуса позволяют автомобилям перемещаться с высокими скоростями. Данный тип примыкания имеет весьма простую конфигурацию и является легким для ориентировки водителей.

Лирообразный тип разветвления. Эта транспортная развязка (рис. 31.66) по своей форме напоминает лиру. Она имеет один косой путепровод. Основной недостаток транспортной развязки состоит в том, что она имеет две точки пересечения потоков в одном уровне.

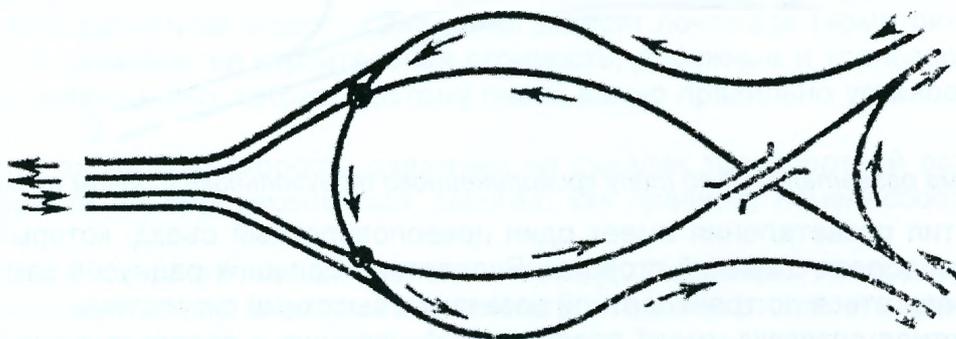


Рис. 31.66. Схема лирообразного типа разветвления

Транспортную развязку нельзя считать удовлетворительной также и в отношении удобства движения, так как на ней левоповоротные потоки вступают на проезжие части дорог с левой стороны и некоторые поворачивающие потоки движения (в частности, левоповоротное движение, идущее с одной второстепенной дороги на другую) имеют довольно сложную траекторию.

V-образный тип разветвления. Эта транспортная развязка (рис. 31.67) представляет собой несколько видоизмененную форму лирообразного типа разветвления и поэтому имеет те же самые недостатки.

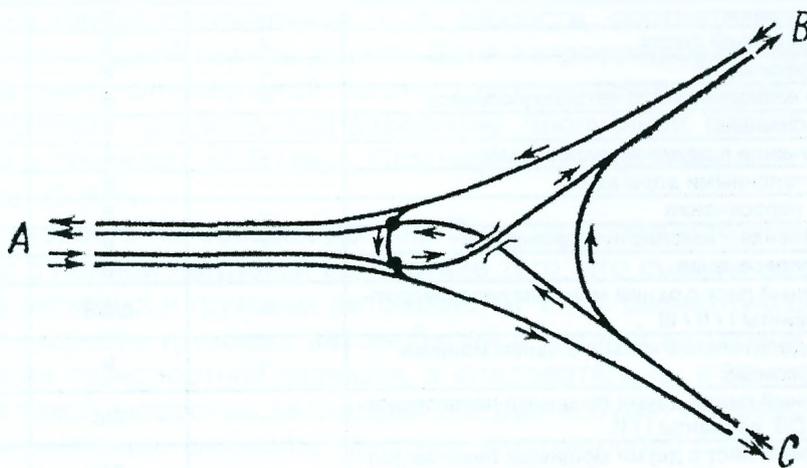


Рис. 31.67. Схема V-образного типа разветвления

Однако в отношении удобства движения данный тип разветвления имеет преимущество по сравнению с предыдущим, так как здесь автомобили, перемещающиеся в направлениях *АС* и *ВА*, описывают более плавные траектории и, следовательно, могут развивать более высокие скорости движения, чем на лирообразном типе разветвления. Общая конфигурация транспортной развязки несколько проще и нагляднее, чем лирообразный тип разветвления.

Разветвление по типу криволинейного треугольника с одним путепроводом. Данная транспортная развязка (рис. 31.68) представляет собой упрощенный вариант V-образного типа разветвления, в котором отсутствует левоповоротный съезд и, следовательно, левоповоротное движение в направлении *ВС* невозможно, что является существенным недостатком рассматриваемой транспортной развязки и поэтому ограничивает область ее применения. Эту развязку можно также рассматривать как первую стадию строительства

разветвления по типу криволинейного треугольника с тремя путепроводами (см. рис. 31.61), в которое в дальнейшем она может быть переустроена, если интенсивность движения в направлении *BC* увеличится.

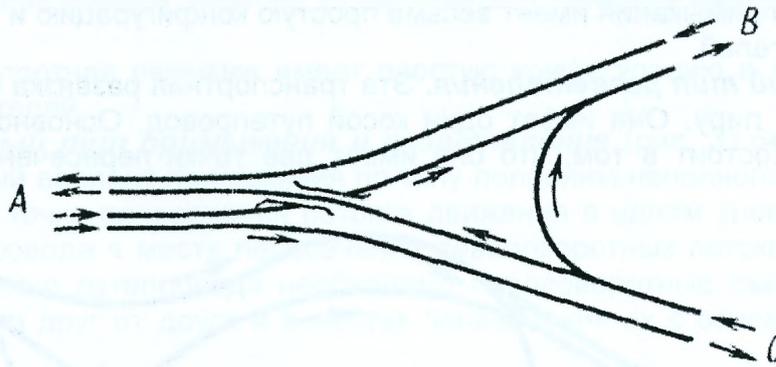


Рис. 31.68. Схема разветвления по типу криволинейного треугольника с одним путепроводом

Данный тип разветвления имеет один правоповоротный съезд, который примыкает к проезжей части дороги с правой стороны. Вследствие больших радиусов закруглений автомобили могут двигаться по транспортной развязке с высокими скоростями.

Транспортная развязка имеет простую конфигурацию и является легкой для ориентировки водителей.

Количество опасных точек на транспортных развязках различных типов приведено в табл. 31.10.

Таблица 31.10. Количество опасных точек на транспортных развязках различных типов

№	Тип транспортной развязки	Количество точек			
		пересечения	слияния	разветвления	всего
1	Клеверный лист	–	8	8	16
2	Неполный клеверный лист	6	8	8	22
3	Распределительное кольцо с пятью путепроводами	–	8	8	16
4	Распределительное кольцо с двумя путепроводами	–	6	6	12
5	Улучшенный тип распределительного кольца	–	12	12	24
6	Турбинный тип пересечения	–	8	8	16
7	Пересечение по типу двойной петли	4	6	6	16
8	Ромбовидный тип пересечения	–	8	8	16
9	Пересечение по типу криволинейного четырехугольника	–	8	8	16
10	Н-образный тип пересечения	–	8	8	16
11	Линейный тип пересечения с двумя путепроводами	–	4	4	8
12	Пересечение с разветвленными дорогами	–	8	8	16
13	Крючкообразный тип пересечения	–	8	8	16
14	Линейный тип пересечения с шестью путепроводами	–	6	6	12
15	Криволинейный тип пересечения	–	8	8	16
16	Расширенный клеверный лист с одним мощным левоповоротным потоком <i>BC</i> : варианты I / II / III	–	8/8/8	8/8/8	16/16/16
17	Расширенное распределительное кольцо с одним мощным левоповоротным потоком <i>DB</i>	–	9	9	18
18	Расширенный клеверный лист с двумя мощными левоповоротными потоками <i>BC</i> и <i>DB</i> : варианты I / II	–	8/8	8/8	16/16
19	Расширенный клеверный лист с двумя мощными левоповоротными потоками <i>BC</i> и <i>AD</i> : варианты I / II	–	8/8	8/8	16/16
20	Видоизмененный вариант пересечения по типу тройной петли	–	8	8	16
21	Эллипсовидный тип пересечения	–	8	8	16
22	Примыкание по типу трубы	–	3	3	6
23	Листовидный тип примыкания	–	3	3	6
24	Примыкание по типу половины неполного клеверного листа	1	3	3	7
25	Кольцевой тип примыкания	–	4	4	8
26	Грушевидный тип примыкания	–	3	3	6
27	Т-образный тип примыкания	–	3	3	6
28	Примыкание по типу треугольника	–	3	3	6
29	Крючкообразный тип примыкания	2	3	3	8
30	Грибообразный тип примыкания	–	3	3	6
31	Линейный тип примыкания	–	1	1	2
32	Лирообразный тип разветвления	2	2	2	6
33	V-образный тип разветвления	2	2	2	6
34	Разветвление по типу криволинейного треугольника с одним путепроводом	–	1	1	2

31.8. Установление расчетной скорости на транспортных развязках

Под расчетной скоростью движения на транспортной развязке следует понимать ту скорость, на которую необходимо проектировать соединительные съезды, предназначенные для лево- и правоповоротных потоков движения. Эта скорость, как правило, должна иметь различные значения на разных съездах в зависимости от конструктивных особенностей данной транспортной развязки. Расчетная скорость может изменяться и в пределах одного съезда. Что же касается основных (сквозных) потоков движения, то они, как правило, должны иметь одинаковую расчетную скорость, как на перегоне, так и в пределах транспортной развязки.

От принятой расчетной скорости движения зависят почти все геометрические элементы транспортной развязки, ее строительная стоимость, дорожные и транспортные расходы, а также сумма приведенных затрат. Поэтому очень важно правильно установить расчетную скорость.

Принимать расчетную скорость движения на съездах транспортной развязки, равной расчетной скорости на пересекающихся дорогах, как правило, нецелесообразно по двум причинам:

1) при такой скорости соединительные съезды (особенно левоповоротные) будут иметь очень большую длину, в результате чего строительная стоимость транспортной развязки увеличится и сама транспортная развязка займет большую площадь земли;

2) движение автомобилей по съездам с такой скоростью будет невозможно, так как съезды имеют одну общую полосу движения для легковых и грузовых автомобилей, а максимальная скорость грузовых автомобилей, как известно, меньше расчетных скоростей, которые принимаются при проектировании автомобильных дорог высоких категорий.

Поэтому при установлении возможного диапазона изменения расчетной скорости на съездах транспортных развязок нужно принимать во внимание следующее.

1. В процессе эксплуатации транспортной развязки может возникнуть необходимость в пропуске через нее в том или ином направлении максимально возможного количества автомобилей (например, во время уборочной кампании, в период строительства крупного объекта и т. д.). Поэтому каждый съезд транспортной развязки нужно рассчитывать на скорость, которая была бы не менее оптимальной, т. е. скорости, соответствующей максимальной пропускной способности одной полосы дороги. Если запроектировать тот или иной съезд на расчетную скорость менее оптимальной, то этот съезд не сможет пропустить максимальное количество автомобилей. Согласно исследованиям пропускной способности оптимальная скорость находится в пределах 40-50 км/ч. Поэтому расчетную скорость на съездах следует принимать не менее 40 км/ч.

2. Расчетная скорость на съездах должна быть не более максимальной скорости грузовых автомобилей с полной нагрузкой вследствие того, что съезды имеют одну общую полосу движения для легковых и грузовых автомобилей. Если расчетную скорость принять более максимальной скорости грузовых автомобилей с полной нагрузкой, то это приведет к увеличению размеров транспортной развязки, а следовательно, и ее строительной стоимости. Движение же с такой скоростью на съездах все равно будет невозможно.

Значения *максимальной скорости грузовых автомобилей с полной нагрузкой*, выпускаемых в настоящее время, колеблется в пределах 70-90 км/ч. Поэтому при установлении верхнего значения расчетной скорости на транспортных развязках нужно ориентироваться на максимальную скорость грузовых автомобилей, равную 90 км/ч. Таким образом, *расчетную скорость на транспортных развязках следует принимать в диапазоне от 40 до 90 км/ч.*

Выбор расчетной скорости на транспортной развязке в каждом конкретном случае должны производить на основании подробных технико-экономических расчетов с учетом перспективной интенсивности движения по всем направлениям. С увеличением расчетной скорости возрастает длина соединительных съездов, увеличиваются общие размеры транспортной развязки и, следовательно, повышается ее строительная стоимость. С другой стороны, при увеличении скорости на правоповоротных съездах, а также на левоповоротных съездах тех типов транспортных развязок, на которых левоповоротное движение совершается путем непосредственного поворота влево (например, на ромбовидном типе пересечения, на пересечении по типу криволинейного четырехугольника, на криволинейном типе пе-

ресечения, на Т-образном типе примыкания и некоторых других), за счет сокращения пути и времени пробега автомобилей сильно уменьшаются транспортные расходы, в результате чего разница в строительной стоимости сравнительно быстро окупается. На таких транспортных развязках при большой интенсивности движения лево- и правоповоротных потоков экономически выгодно назначать высокую расчетную скорость порядка 70-80 км/ч.

Критерием правильности выбора расчетной скорости является минимум суммы приведенных затрат на развязке или на съездах.

При проектировании транспортных развязок могут встретиться такие случаи, когда по тем или иным причинам необходимо принимать сравнительно невысокие значения расчетной скорости (40-50 км/ч). Такие скорости, в частности, надо назначать в случаях, когда:

1) на проектируемой транспортной развязке ожидается весьма интенсивное движение автопоездов, которые имеют сравнительно невысокие скорости движения;

2) вследствие ограниченной свободной территории не представляется возможным принимать более высокие значения расчетной скорости (это относится главным образом к транспортным развязкам, проектируемым в пригородной зоне);

3) увеличение расчетной скорости влечет за собой резкое возрастание дорожных и транспортных расходов (например, на пересечении по типу клеверного листа при большой интенсивности движения на левоповоротных съездах).

При установлении расчетной скорости на транспортных развязках очень важно решить вопрос: принять ли на транспортной развязке одну расчетную скорость, общую для всех съездов, или левоповоротные съезды проектировать на одну расчетную скорость, а правоповоротные – на другую? Решение этого вопроса в первую очередь зависит от конструктивных особенностей каждого типа транспортной развязки и от условий движения по ней лево- и правоповоротных транспортных потоков.

Возможные случаи назначения расчетных скоростей для различных типов транспортных развязок:

1) если лево- и правоповоротные потоки имеют общие полосы движения, то в пределах всей развязки следует назначать *одну расчетную скорость, общую для всех съездов.*

К таким транспортным развязкам относятся:

- неполный клеверный лист с четырьмя однополосными съездами;
- распределительное кольцо с пятью и двумя путепроводами;
- улучшенный тип распределительного кольца;
- пересечение по типу двойной петли;
- крючкообразный тип пересечения;
- кольцевой тип примыкания и разветвления;
- грушевидный тип примыкания;

2) если лево- и правоповоротные потоки имеют различные полосы движения, то в ряде случаев целесообразно назначать *разные расчетные скорости на лево- и правоповоротных съездах.* На правоповоротных съездах может быть назначена расчетная скорость, близкая к верхнему пределу (80-100 км/ч), а на левоповоротных съездах назначается скорость, близкая к оптимальной, т.е. $V_p = 50$ км/ч.

К таким транспортным развязкам относятся:

- клеверный лист;
- неполный клеверный лист с двумя двухполосными съездами, расположенными в соседних и накрестлежащих четвертях;
- примыкание по типу трубы;
- листовидный тип примыкания.

На всех перечисленных типах транспортных развязок *может назначаться и одна расчетная скорость, общая для всех съездов;*

3) на некоторых типах транспортных развязок *даже при наличии различных полос движения для лево- и правоповоротных потоков* следует назначать *одну расчетную скорость, общую для всех съездов.* Такое решение должно приниматься на развязках, где на левоповоротных съездах с увеличением расчетной скорости сокращаются путь и время пробега.

К таким транспортным развязкам относятся:

- ромбовидный тип пересечения;
- пересечение по типу криволинейного четырехугольника;

– Т-образный тип примыкания.

На всех этих транспортных развязках экономически выгодно назначать *высокую расчетную скорость (около 80-90 км/ч)*;

4) на некоторых типах транспортных развязок, например на линейном типе пересечения с двумя путепроводами, на линейном типе примыкания, на V-образном типе разветвления, на разветвлении по типу криволинейного треугольника с одним путепроводом и др., при небольших углах поворота правоповоротных съездов и при значительной интенсивности движения на них экономически выгодной может оказаться скорость, *превышающая 90 км/ч*.

В тех случаях, когда некоторые левоповоротные потоки имеют значительно большую интенсивность движения, чем все остальные потоки, целесообразно создавать для них лучшие условия движения путем назначения более высокой расчетной скорости и соответствующего увеличения радиуса горизонтальных кривых (см. рис. 31.50-31.52).

При проектировании транспортных развязок скорость основных (сквозных) потоков движения в пределах развязки следует принимать равной расчетной скорости на перегоне, т. е. установленной для данной категории дороги. Однако на некоторых типах транспортных развязок вследствие их конструктивных особенностей соблюдение этого условия оказывается невозможным. Например, на пересечении по типу распределительного кольца с двумя путепроводами основной поток второстепенной дороги вынужден на развязке проходить по кольцу; кроме того, этот поток смешивается на кольце с лево- и правоповоротными потоками движения и, следовательно, не может перемещаться по кольцу со скоростью, превышающей расчетную на транспортной развязке. Аналогичный случай имеет место на пересечении по типу двойной петли. На пересечении с разветвленными дорогами и на крестообразном типе пересечения основное движение обеих пересекающихся дорог смешивается с лево- и правоповоротными потоками и имеет с ними общие полосы движения. В результате этого на указанных транспортных развязках основные потоки движения также не могут перемещаться со скоростью, превышающей расчетную.

Также необходимо учитывать и другие факторы, влияющие на выбор расчетной скорости:

- 1) рельеф местности;
- 2) обеспечение удобства и безопасности движения;
- 3) видимость во всех направлениях.
- 4) категории пересекающихся дорог;
- 5) угол пересечения.

Из всего сказанного следует, что вопрос назначения расчетной скорости на транспортных развязках является настолько сложным, что нельзя дать какие-то определенные рекомендации, пригодные для всех условий. **В каждом конкретном случае выбор расчетной скорости требует индивидуального творческого решения при обязательном всестороннем анализе различных местных условий.**

Так как на транспортных развязках расчетная скорость принимается более низкой, чем на подходящих к ним дорогах, то при проектировании развязок необходимо предусматривать участки снижения и набора скоростей. На этих участках автомобили, поворачивающие с основной дороги на съезд, снижают скорость до расчетной на транспортной развязке, а автомобили, выходящие со съезда на основную дорогу, увеличивают скорость до расчетной на дороге. Участки снижения и набора скоростей могут находиться на основных полосах пересекающихся дорог, однако в этом случае автомобили, поворачивающие на транспортной развязке вправо и влево, нарушают режим основного потока движения. Поэтому более целесообразным является размещение участков снижения и набора скоростей на **дополнительных переходно-скоростных полосах**, отделенных от основной проезжей части вспомогательными разделительными полосами (рис. 31.69).

СНиП 2.05.02-85 рекомендует проектировать правоповоротные съезды на транспортных развязках из условия обеспечения расчетных скоростей на съезде не менее 60 км/ч для дорог I и II категорий и не менее 50 км/ч – для дорог III категории. При этом для левоповоротных съездов минимальная скорость *конкретно не оговаривается*. Исходя из рекомендаций СНиП радиусы кривых левоповоротных съездов пересечений и примыканий с элементами транспортных развязок типа «клеверный лист» следует принимать равными не менее 60 м для дорог I и II категорий и не менее 50 м для дорог III категории. На практике это означает, что левоповоротные съезды на пересечениях по типу «клеверного листа» ре-

комендуется проектировать на скорость 50 км/ч для дорог I и II категорий и на скорость 40 км/ч – для дорог III категории. **Интересен тот факт, что по сравнению с предыдущим СНиП II-Д.5-72 минимальные значения расчетных скоростей упали для правоповоротных съездов с 80 км/ч до 60 для дорог I и II категорий и с 60 до 50 км/ч для III категории.**

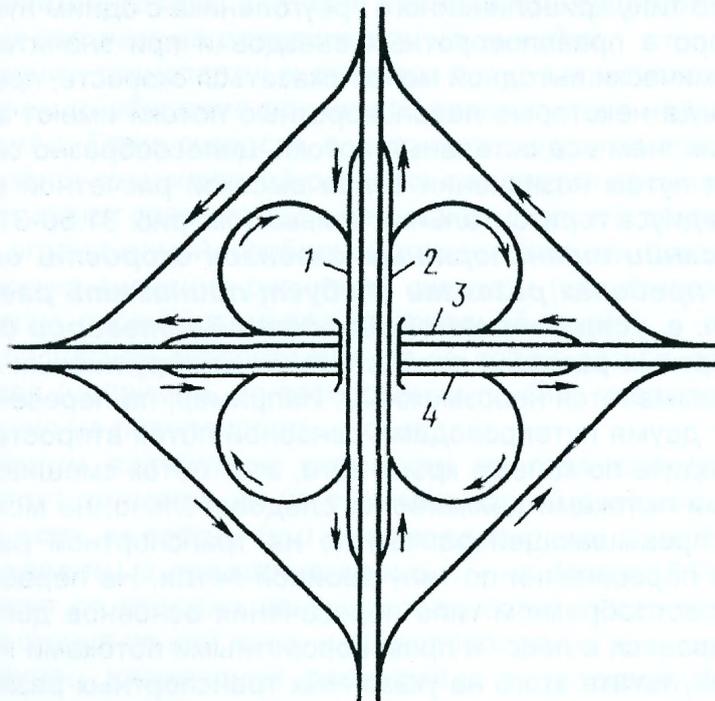


Рис. 31.69. Схема клеверного листа с переходно-скоростными полосами для левоповоротных потоков: 1, 2, 3, 4 – переходно-скоростные полосы

В тех случаях, когда к транспортной развязке подходят дороги различных категорий, наименьшие радиусы горизонтальных кривых нужно принимать по категории той дороги, с которой происходит съезд.

Следует отметить, что рекомендации СНиП 2.05.02-85 относятся главным образом к транспортным развязкам, имеющим в своей основе элементы клеверного листа.

Проведенные наблюдения за фактическими скоростями и режимами движения автомобилей на пересечениях дорог в разных уровнях на МКАД показали, что скорости движения автомобилей неодинаковы на различных съездах. Эти скорости изменяются также и в пределах одного съезда. На правоповоротных съездах скорости примерно на 25% выше, чем на левоповоротных. Основная масса автомобилей перемещается по съездам со скоростями 30-40 км/ч, и лишь незначительное количество автомобилей (не более 3%) развивает скорость больше 50 км/ч.

Большой интерес также представляют результаты натурных исследований режимов движения автомобилей на транспортных развязках МКАД, которые показали, что расчетные скорости на левоповоротных съездах клеверного листа, равные 40-50 км/ч, в наибольшей степени соответствуют фактическим режимам движения автомобилей при взаимодействии левоповоротных потоков на межпетлевом участке $L_{МП}$ (рис. 31.70).

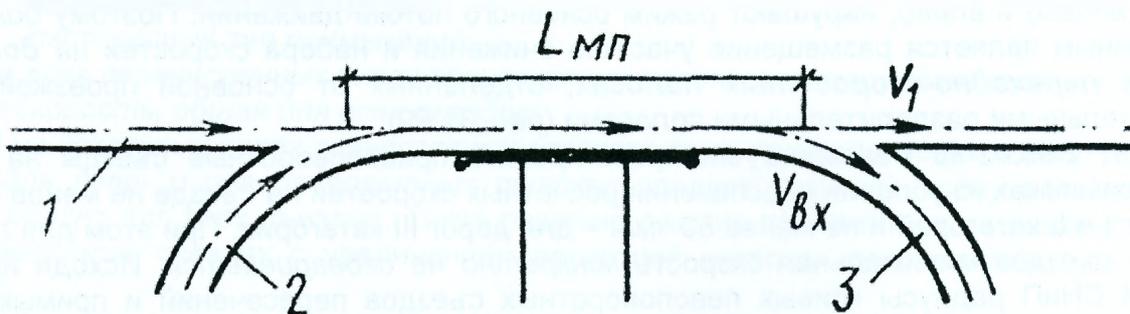


Рис. 31.70. Схема взаимодействия автомобилей на межпетлевом участке: 1 – основная дорога; 2 – левоповоротный съезд № 1; 3 – левоповоротный съезд № 2

В результате проведенного анализа взаимного влияния автомобилей, которые используют для левых поворотов петли № 1 и № 2, установлено, что по мере увеличения интенсивности движения по петле № 2 возрастает количество автомобилей, вынужденных останавливаться перед выездом с петли № 1 на межпетлевой участок $L_{МП}$. Эти автомобили после остановки постепенно увеличивают скорость своего движения на межпетлевом участке до V_1 , которая определяется длиной участка $L_{МП}$ и ускорением разгона. В результате этого скорости автомобилей, которые движутся за указанными автомобилями и должны сделать левый поворот по петле № 2, в зоне входа на эту петлю приближаются к V_1 , т. е. $V_{ex} \approx V_1$.

В результате проведенных наблюдений получены фактические значения ускорений разгона на межпетлевом участке. Для грузовых автомобилей среднее ускорение составляет $0,8 \text{ м/с}^2$, для легковых – $1,0 \text{ м/с}^2$, для смешанного потока (85-90% грузовых автомобилей и 10-15% – легковых) – $0,80-0,85 \text{ м/с}^2$. При таких значениях ускорений скорости $V_{ex}=V_1$ не превышают для смешанного потока автомобилей 40-45 км/ч. Только при наличии в потоке 40-50% легковых автомобилей эти скорости достигают 50-60 км/ч, поэтому рекомендуется рассчитывать радиусы петель левоповоротных съездов клеверного листа на скорости 40-50 км/ч. В стесненных условиях скорости движения автомобилей, направляющихся на левоповоротный съезд № 2 (см. рис. 31.70), существенно зависят от интенсивности движения на съезде № 1. При этом на входном участке петли № 2 могут иметь место три типа режима движения: с торможением, с постоянной скоростью и с разгоном (в зависимости от интенсивности движения).

В свободных условиях существенное влияние на режим движения по переходной и круговой кривым оказывает наличие спуска или подъема. На спуске режим движения характеризуется постепенным снижением скорости в пределах переходной кривой, а иногда и в пределах короткого участка круговой кривой. При продольном уклоне 30-40‰ отрицательное ускорение для наиболее быстроходных автомобилей в среднем составляет $1,2 \text{ м/с}^2$. На входных участках левоповоротных съездов, расположенных на подъеме, многие водители не снижают скорость. В процессе перемещения по переходной кривой скорость движения практически остается постоянной. Это дает основание рекомендовать при проектировании переходных кривых левоповоротных съездов, расположенных на подъеме, принимать постоянную скорость движения.

При проектировании транспортных развязок в разных странах мира принимают различные нормы расчетной скорости.

В США съезды транспортных развязок рассчитывают на скорости, рекомендуемые нормами Ассоциации сотрудников дорожных организаций штатов (AASHTO). Эти скорости, приведенные в табл. 31.11, назначаются в зависимости от расчетной скорости на главной дороге, а значит, в зависимости от категории дороги.

Таблица 31.11. Расчетные скорости на транспортных развязках США

Расчетная скорость на главной дороге, км/ч (миль/ч)	Эксплуатационная скорость на главной дороге, км/ч	Отношение эксплуатационной скорости к расчетной	Расчетная скорость на съездах, км/ч		
			рекомендуемая	минимальная	отношение минимальной скорости к рекомендуемой
48 (30)	43	0,90	40	24	0,60
64 (40)	54	0,84	56	32	0,57
80 (50)	64	0,80	64	40	0,62
96 (60)	72	0,75	72	48	0,67
112 (70)	78	0,70	80	48	0,60
128 (80)	83	0,65	85	48	0,56
144 (90)	86	0,60	88	48	0,54

Рекомендуемые расчетные скорости на съездах практически равны эксплуатационным скоростям на главной дороге. Последние, как видно из табл. 31.11, составляют 70-90% от расчетных скоростей на главной дороге, причем по мере увеличения расчетной скорости этот процент заметно снижается.

При расчетных скоростях движения на главной дороге, равных 48-144 км/ч (30-90 миль/ч), рекомендуемые расчетные скорости на съездах транспортных развязок составляют 40-90 км/ч. Как видно из этого, предложения СНиП 2.05.02-85 совпадают с предложениями AASHTO.

Минимальные расчетные скорости на съездах, приведенные в табл. 31.11, принимают при проектировании транспортных развязок в стесненных условиях и для расчета левоповоротных съездов развязок, имеющих в основе элементы клеверного листа. Эти скорости составляют 57-67% от рекомендуемых. Расчетные скорости, равные 24 и 32 км/ч, являются, безусловно, весьма заниженными для пересечений и примыканий автомобильных дорог в разных уровнях.

В Канаде расчетная скорость на правоповоротных съездах транспортных развязок принимается равной 0,75 от расчетной скорости на пересекающихся дорогах, а в Германии – равной 0,80-0,85 от расчетной скорости на дорогах. На левоповоротных съездах расчетная скорость принимается равной 0,5 от расчетной скорости на дорогах.

Во Франции расчетная скорость на съездах транспортных развязок также принимается в зависимости от расчетной скорости на пересекающихся дорогах. При расчетных скоростях на дорогах, равных 100 и 140 км/ч, рекомендуемые расчетные скорости на съездах транспортных развязок составляют соответственно 75 и 90 км/ч.

При проектировании транспортных развязок **в Италии** расчетная скорость на правоповоротных съездах принимается не менее 70 км/ч; левоповоротные съезды клеверного листа рассчитывают на скорость 50 км/ч.

В Австралии расчетные скорости на съездах транспортных развязок принимают в зависимости от назначения съезда и типа развязки (табл. 31.12).

Таблица 31.12. Расчетные скорости на съездах транспортных развязок в Австралии

Тип развязки или съезда	Расчетная скорость на съездах, км/ч	
	рекомендуемая	минимальная
Неполный клеверный лист с четырьмя однополосными съездами («ромб»)	72	40
Левоповоротные съезды клеверного листа	40	40
Левоповоротные съезды, обеспечивающие поворот непосредственно влево	90	72
Правоповоротные съезды	72-90	56

Таким образом, во многих странах мира при проектировании транспортных развязок расчетная скорость на съездах назначается в диапазоне от 40 до 90 км/ч. Наименьшие значения расчетной скорости (40-50 км/ч) принимаются при проектировании развязок в стесненных условиях и для расчета левоповоротных съездов развязок, имеющих в основе элементы клеверного листа. Наибольшие значения расчетной скорости (70-90 км/ч) принимаются для расчета правоповоротных съездов, а также левоповоротных съездов, обеспечивающих поворот непосредственно влево.

31.9. Установление основных геометрических элементов транспортных развязок

31.9.1. Установление поперечного уклона проезжей части на съездах транспортных развязок

Поперечный уклон проезжей части на прямолинейных участках съездов следует принимать минимальным, но чтобы он обеспечивал хороший водоотвод с проезжей части. Этот уклон зависит от типа покрытия.

Поперечный профиль проезжей части на криволинейных участках съездов нужно устраивать, как правило, односкатным (с уклоном, имеющим направление внутрь кривой) с целью получения при одной и той же расчетной скорости наименьшего радиуса кривой, а следовательно, и наименьших размеров транспортной развязки. СНиП 2.05.02-85 рекомендуют на всех однополосных съездах устраивать вираж с уклоном 20-60‰.

На криволинейных участках двухполосных съездов с целью удобства сопряжения их с соседними криволинейными участками можно устраивать двускатный профиль (рис. 31.71). Поперечный уклон проезжей части на таких участках следует принимать равным поперечному уклону проезжей части на прямолинейных участках.

При необходимости сопряжения двух обратных кривых (главным образом на однополосных съездах) в случае отсутствия места для размещения отгонов виражей можно допустить на одной из этих кривых обратный уклон, имеющий направление не внутрь кривой, а наружу (рис. 31.72).

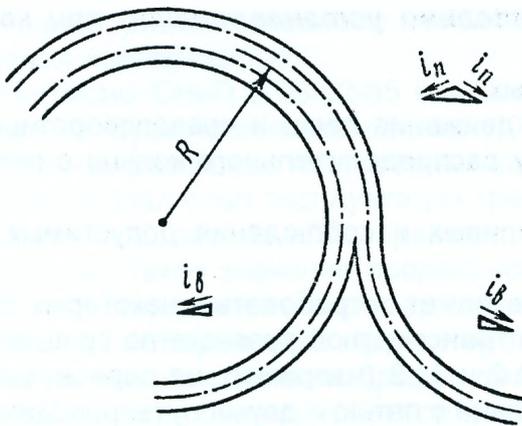


Рис. 31.71. Сопряжение криволинейных участков двухполосных съездов с соседними криволинейными участками однополосных съездов

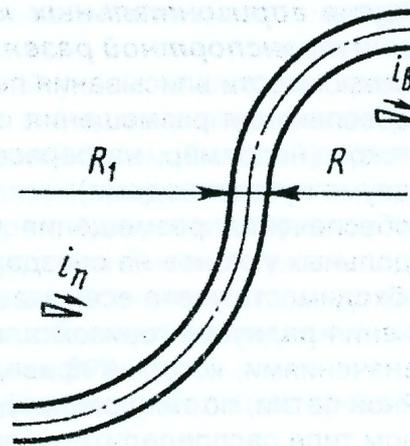


Рис. 31.72. Возможное сопряжение двух обратных кривых на однополосных съездах

За рубежом при проектировании транспортных развязок часто принимают уклоны виража более 60‰.

Поперечный уклон проезжей части принимается:

- на прямолинейных участках съездов минимальным. Этот уклон зависит от типа покрытия (20-40‰);
- на криволинейных участках съездов односкатным (с уклоном, имеющим направление внутрь кривой);
- на криволинейных участках двухполосных съездов двускатным;
- обратным при необходимости сопряжения двух обратных кривых.

31.9.2. Установление радиусов горизонтальных кривых на транспортных развязках

При проектировании транспортных развязок радиусы горизонтальных кривых на съездах следует устанавливать в зависимости от расчетной скорости с учетом вида транспортной развязки при обязательном соблюдении требований удобства и безопасности движения. Значения радиусов горизонтальных кривых нужно принимать по табл. 31.2 и 31.3.

У некоторых типов транспортных развязок при увеличении радиусов левоповоротных съездов резко возрастают общие размеры развязки и путь, проходимый автомобилями, сворачивающими влево, что приводит к увеличению транспортных расходов. К таким транспортным развязкам, в частности, относятся:

- пересечение по типу клеверного листа
- пересечение по типу неполного клеверного листа;
- примыкание и разветвление по типу трубы;
- листовидный тип примыкания и разветвления;
- крючкообразный тип примыкания и разветвления.

На этих транспортных развязках целесообразно принимать возможно меньшие значения радиусов левоповоротных съездов, для чего нужно назначать наибольшее значение поперечного уклона виража $i_s=60‰$.

На транспортных развязках, где увеличение радиусов левоповоротных съездов не влечет за собой резкого возрастания размеров развязки и пути, проходимого левоповоротными автомобилями; можно назначать сравнительно большие радиусы левоповоротных съездов, соответствующие уклону виража $i_s=20-40‰$. К таким транспортным развязкам относятся:

- ромбовидный тип пересечения;
- пересечение по типу криволинейного четырехугольника;
- Т-образный тип примыкания;
- разветвление по типу криволинейного треугольника с тремя путепроводами.

Увеличение радиусов правоповоротных съездов, как правило, не влечет за собой значительного повышения размеров транспортной развязки и приводит к сокращению пути, проходимого правоповоротными автомобилями. Поэтому целесообразно применять сравнительно большие радиусы правоповоротных съездов, соответствующие уклону виража $i_s=20-40‰$.

Радиусы горизонтальных кривых окончательно устанавливают при конструировании транспортной развязки с учетом:

- возможности вписывания переходных кривых;
- обеспечения размещения общих участков движения лево- и правоповоротных потоков (например, на пересечениях по типу распределительного кольца с пятью и двумя путепроводами);
- обеспечения размещения вертикальных кривых и соблюдения допустимых продольных уклонов на съездах.

Необходимость учета всех указанных факторов может потребовать в некоторых случаях увеличения радиусов горизонтальных кривых на транспортной развязке по сравнению с теми их значениями, которые приведены в табл. 31.2 и 31.3 (например, на пересечении по типу двойной петли, по типу распределительного кольца с пятью и двумя путепроводами, на улучшенном типе распределительного кольца).

При назначении радиусов горизонтальных кривых следует также исходить из необходимости обеспечения большей компактности транспортной развязки и учета свободной территории. Этот вопрос приобретает особенно важное значение при проектировании развязок в пригородной зоне, где ограниченная свободная территория может заставить пойти на снижение радиусов горизонтальных кривых. Однако это снижение нельзя производить в ущерб безопасности и удобству движения.

СНиП 2.05.02-85 рекомендует при проектировании транспортных развязок для расчетных скоростей, равных 40, 50, 60 и 80 км/ч, принимать следующие минимальные значения радиусов горизонтальных кривых: 60, 100, 150 (125) и 300 (250) м (в скобках – для горной местности).

Во многих странах мира при проектировании транспортных развязок радиусы закруглений съездов с устройством виража принимают равными 50 м, а в исключительных случаях при малой интенсивности движения поворачивающих потоков – 20-35 м (табл. 31.13).

Таблица 31.13. Радиусы закруглений съездов транспортных развязок

Страна	Радиусы съездов, м		Страна	Радиусы съездов, м	
	минимальные	в исключительных случаях		минимальные	в исключительных случаях
Италия	50	35	Швейцария	50	30
Франция	50	30	США	45	30
Германия	50	20	Австралия	54	–

В некоторых странах ограничивают значения радиусов левоповоротных съездов на пересечении по типу клеверного листа. Например, во Франции эти радиусы принимают равными не более 75 м, в Австралии – не более 60 м.

В Италии, Германии и Чехословакии принимают радиус кривых левоповоротных съездов на пересечениях автомагистралей равным 50 м, а на примыканиях к автомагистралям второстепенных дорог – 40 м.

В Голландии радиус кривых левоповоротных съездов ранее принимался равным 50 м, а в последнее время его увеличили до 75 м. Радиус кривых правоповоротных съездов принимают не менее 150 м.

С целью уменьшения радиусов съездов при их расчете принимают большие значения коэффициента поперечной силы μ , чем на основных дорогах. Например, в США для расчетной скорости 56 км/ч коэффициент поперечной силы принимают равным 0,20, в Германии для скорости 40 км/ч – 0,19, в Италии для скорости 40-50 км/ч – 0,18-0,20.

31.9.3. Установление наибольших продольных уклонов на съездах

Легковые автомобили могут преодолевать продольные уклоны до 100% без существенного снижения скорости. Грузовые же автомобили заметно снижают скорость на уклонах 30% и выше в результате того, что большая часть мощности их двигателей затрачивается на преодоление сопротивления движению, создаваемого большим уклоном. Особенно резко снижают скорость на крутых подъемах автопоезда, удельный вес которых в общем объеме автомобильных перевозок в нашей стране с каждым годом все больше и больше возрастает. Отсюда следует, что **при установлении наибольших продольных уклонов на съез-**

дах транспортных развязок необходимо обязательно обеспечивать возможность движения автопоездов.

Согласно СНиП 2.05.02-85 наибольший продольный уклон на съездах транспортных развязок следует принимать равным 40‰. Именно это значение уклона было принято на транспортных развязках, построенных на Минской кольцевой автомобильной дороге.

Как показал опыт эксплуатации транспортных развязок, продольные уклоны на закруглениях съездов, равные 40‰, приводят к снижению скорости движения грузовых автомобилей. Поэтому такое значение продольного уклона следует принимать только в сложных условиях проектирования (например, при наличии сильно пересеченного или горного рельефа). **При проектировании транспортных развязок в обычных условиях продольные уклоны на съездах целесообразно принимать не более 30‰.**

При проектировании транспортных развязок за рубежом наибольший продольный уклон на съездах принимают равным:

- в Англии – 50‰ на съездах, идущих на подъем, и 70‰ на съездах, идущих под уклон;
- в Голландии – 35‰;
- в Италии и Канаде – 50‰;
- во Франции – 60‰;
- в Германии – 50‰;
- в Швеции – 50‰ (в исключительных случаях – 70‰).

Уклоны порядка 50-70‰ являются весьма большими для автопоездов и могут назначаться лишь при их почти полном отсутствии. Такие случаи маловероятны в условиях нашей страны, где парк грузовых автомобилей практически не обновляется или обновляется за счет грузовых автомобилей российского производства.

Как показали наблюдения, в случае совпадения наибольших продольных уклонов с кривыми малых радиусов (50 м и менее), рекомендуется снижать наибольший продольный уклон на 5-10‰. Однако для рекомендуемых расчетных скоростей на транспортных развязках 40-90 км/ч радиусы горизонтальных кривых получаются больше 50 м (см. табл. 31.2 и 31.3), поэтому снижение наибольшего продольного уклона не предусматривается.

31.9.4. Определение расчетного расстояния видимости в плане для однополосных съездов

При определении расчетного расстояния видимости в плане для однополосных съездов в качестве расчетной схемы видимости принимается торможение автомобиля перед препятствием (рис. 31.73).

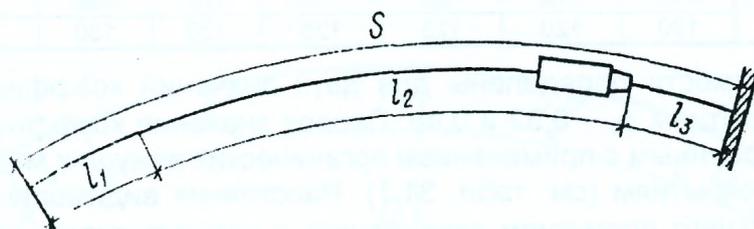


Рис. 31.73. Схема к определению расчетного расстояния видимости в плане для однополосных съездов

В данном случае расчетное расстояние видимости определяется по формуле

$$S = l_1 + l_2 + l_3, \quad (31.24)$$

где l_1 – путь, проходимый автомобилем за время реакции водителя, м; l_2 – тормозной путь, м; l_3 – запасное расстояние (расстояние между остановившимся автомобилем и препятствием), принимаемое равным 5 м.

Значения l_1 и l_2 находят из следующих выражений:

$$l_1 = t_p \cdot V; \quad l_2 = t \cdot V + K_s \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi_t + f \pm i)}, \quad (31.25)$$

где t_p – время реакции водителя, в среднем, равное 0,8 с; V – скорость движения автомобиля, м/с; t – время срабатывания тормозного привода и нарастания тормозного усилия на ко-

лесах автомобиля (0,2 с); K_3 – коэффициент эффективности торможения, который изменяется в диапазоне от 1,1 до 2,0; φ_1 – коэффициент продольного сцепления шин с покрытием (см. табл. 31.1); f – коэффициент сопротивления качению (0,02-0,03); i – продольный уклон дороги (знак плюс соответствует подъему, а знак минус – спуску).

С учетом приведенных выражений для l_1 и l_2 исходная формула расчетного расстояния видимости примет следующий вид

$$S = V(t_p + t) + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi_1 + f \pm i)} + 5. \quad (31.26)$$

В выражении для длины тормозного пути l_2 следует принимать коэффициент продольного сцепления шин с покрытием φ_1 , а не коэффициент полного сцепления φ , так как расчетное расстояние видимости нужно определять для криволинейных участков съездов, на которых видимость в плане может быть ограничена в тех случаях, когда эти участки проходят в выемке. С точки зрения видимости наиболее выгодным является расположение всех съездов в насыпях, к чему и нужно стремиться при проектировании транспортных развязок. Однако условия рельефа местности не всегда могут позволить это сделать.

Следует отметить также, что видимость в плане на криволинейных участках съездов может быть ограничена при наличии внутри кривых различных строений и насаждений.

Длину тормозного пути l_2 , входящего в расчетное расстояние видимости S , нужно определять для самых неблагоприятных условий. Только тогда будет соблюдено требование обеспечения безопасности движения. Поэтому при определении тормозного пути следует принимать максимальное значение коэффициента K_3 , равное 2,0.

В табл. 31.14 приведены расчетные расстояния видимости в плане для однополосных съездов, подсчитанные по формуле (31.26) при $t_p=0,8$ с; $t=0,2$ с; $K_3=2,0$; $f=0,02$.

Таблица 31.14. Расчетные расстояния видимости для однополосных съездов

Скорость движения, км/ч	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Расчетное расстояние видимости в плане для однополосных съездов S , м, при продольных уклонах i , ‰								
		40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
40	0,32	50	50	50	50	55	55	55	55	60
	0,48	40	40	40	40	40	40	40	45	45
50	0,32	70	70	75	75	75	80	80	80	85
	0,48	55	55	55	60	60	60	60	60	60
60	0,32	95	100	100	105	105	110	110	115	115
	0,48	75	75	75	75	80	80	80	80	85
70	0,32	125	130	130	135	140	140	145	150	155
	0,48	95	95	100	100	100	105	105	105	110
80	0,32	160	165	165	170	175	180	185	190	195
	0,48	120	120	125	125	130	130	130	135	135

Расстояния видимости определены для двух значений коэффициента продольного сцепления шин с покрытием φ_1 – 0,32 и 0,48. Первое значение коэффициента φ_1 соответствует покрытиям, построенным с применением органических вяжущих материалов, а второе – цементнобетонным покрытиям (см. табл. 31.1). Расстояния видимости для коэффициента $\varphi_1=0,24$, соответствующего покрытиям переходного и низшего типов, не определялись, так как указанные типы покрытия могут устраиваться только на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог в одном уровне.

СНиП 2.05.02-85 рекомендует принимать минимальное расстояние видимости в плане для остановки автомобиля только в зависимости от расчетной скорости движения: для 40, 50, 60, 80 км/ч оно составляет 55, 75, 85, 150 м соответственно. Однако, как видно из табл. 31.14, это расстояние существенно зависит также от типа дорожного покрытия. Кроме того, на величину расчетного расстояния видимости в плане заметное влияние оказывает продольный уклон дороги.

На основании расчетного расстояния видимости S , взятого из табл. 31.14, графическим способом устанавливают необходимую зону видимости внутри горизонтальной кривой (рис. 31.73). Для этого из точек 0, 1, 2, 3, 4 и т. д., находящихся на оси внутренней полосы движения, откладывают расчетное расстояние видимости S . Начальные и конечные точки соединяют прямыми. Затем проводят обертывающую по полученным таким путем лучам зрения в точках их наибольшего удаления от оси внутренней полосы движения (пунктирная

линия $OabcO$ на рис. 31.73). В результате этого получают необходимую зону видимости внутри кривой. Указанная зона располагается между сплошной кривой (осью внутренней полосы движения) и пунктирной линией $OabcO$. На основании полученной зоны видимости устанавливают для различных поперечных сечений съезда величину необходимой срезки земли, а также размеры сноса строений или вырубку насаждений.

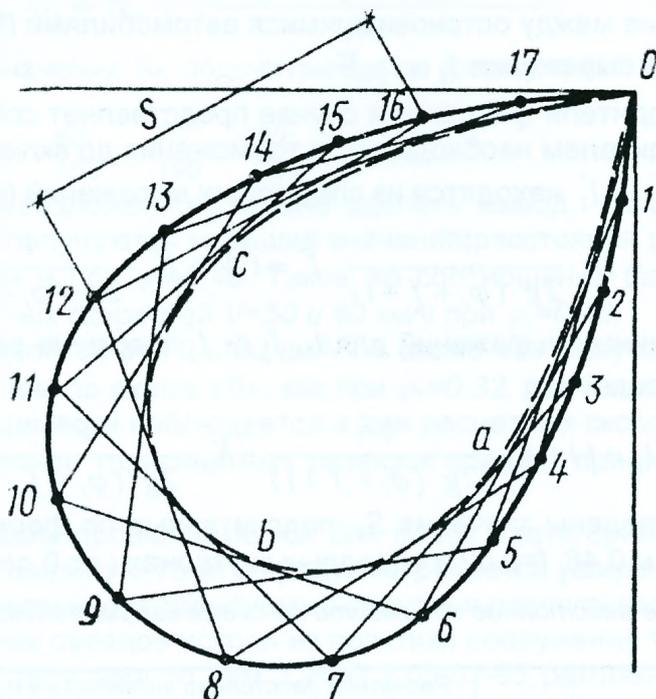


Рис. 31.73. К определению необходимой зоны видимости внутри съезда

31.9.5. Определение расчетного расстояния видимости в плане для двухполосных съездов

Расчетное расстояние видимости в плане для двухполосных съездов определяют на основании следующих схем видимости:

- а) взаимного торможения двух встречных автомобилей (рис. 31.74а);
- б) взаимного разъезда двух встречных автомобилей (рис. 31.74б).

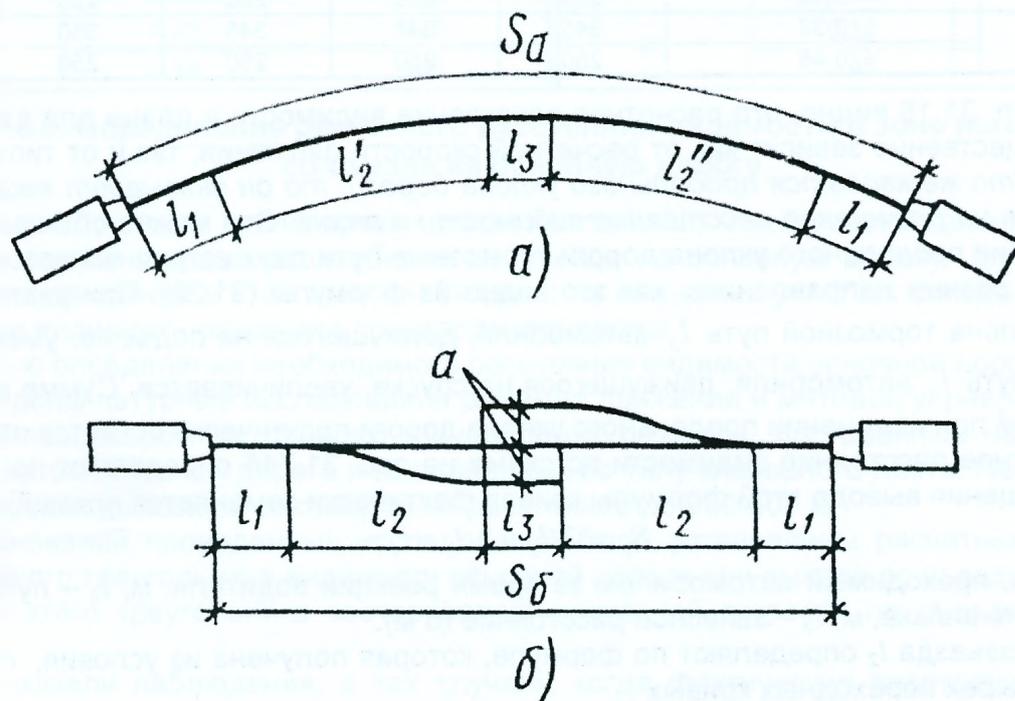


Рис. 31.74. Схемы к определению расчетного расстояния видимости в плане для двухполосных съездов

Расчетное расстояние видимости по схеме на рис. 31.74а определяют по формуле

$$S_a = 2 \cdot l_1 + l_2' + l_2'' + l_3, \quad (31.27)$$

где l_1 – путь, проходимый автомобилем за время реакции водителя, м; l_2' – тормозной путь автомобиля, движущегося на подъеме, м; l_2'' – тормозной путь автомобиля, движущегося на спуске, м; l_3 – расстояние между остановившимися автомобилями (5м);

Путь l_1 находим из выражения $l_1 = t_p \cdot V$.

Время реакции водителя t_p в данном случае представляет собой время, проходящее с момента осознания водителем необходимости торможения до включения им тормозов.

Тормозные пути l_2' и l_2'' находятся из следующих выражений (см. 31.22):

$$l_2' = t \cdot V + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi_1 + f + i)}, \quad l_2'' = t \cdot V + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi_1 + f - i)}. \quad (31.28)$$

С учетом приведенных выражений для l_1 , l_2' и l_2'' формула расчетного расстояния видимости примет следующий вид

$$S_a = 2V(t_p + t) + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi_1 + f + i)} + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi_1 + f - i)} + 5. \quad (31.29)$$

В табл. 31.15 приведены значения S_a , подсчитанные по формуле (31.29) при $t_p=0,8$ с; $t=0,2$ с; $K_3=2,0$; $\varphi_1=0,32$ и $0,48$; $f=0,02$ и продольных уклонах i от 0 до 40‰.

Таблица 31.15. Расчетное расстояние видимости по схеме взаимного торможения двух встречных автомобилей

Скорость движения, км/ч	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Расчетное расстояние видимости в плане по схеме взаимного торможения двух встречных автомобилей S_a , м, при продольном уклоне i , ‰				
		0	10	20	30	40
40	0,32	100	100	100	100	100
	0,48	75	75	75	80	80
50	0,32	150	150	150	150	150
	0,48	110	110	110	110	110
60	0,32	205	205	205	205	205
	0,48	150	150	150	150	150
70	0,32	270	270	270	270	270
	0,48	200	200	200	200	200
80	0,32	345	345	345	350	350
	0,48	250	250	250	250	250

Из табл. 31.15 видно, что расчетное расстояние видимости в плане для двухполосных съездов существенно зависит как от расчетной скорости движения, так и от типа дорожного покрытия. *Что же касается продольного уклона дороги, то он оказывает весьма небольшое влияние на расчетное расстояние видимости в плане.* Это можно объяснить тем, что при изменении продольного уклона дороги тормозные пути двух встречных автомобилей изменяются в разных направлениях, как это видно из формулы (31.29). При увеличении продольного уклона тормозной путь l_2'' автомобиля, движущегося на подъеме, уменьшается, а тормозной путь l_2' автомобиля, движущегося на спуске, увеличивается. Сумма же этих тормозных путей при изменении продольного уклона дороги практически остается постоянной.

Расчетное расстояние видимости по схеме на рис. 31.74б определяют по формуле (с целью упрощения вывода этой формулы кривая фактически заменяется прямой)

$$S_6 = 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 + l_3, \quad (31.30)$$

где l_1 – путь, проходимый автомобилем за время реакции водителя, м; l_2 – путь разъезда, равный длине вилка, м; l_3 – запасное расстояние (5 м).

Путь разъезда l_2 определяют по формуле, которая получена из условия, что вилек состоит из четырех переходных кривых

$$l_2 = \frac{14,4 \cdot V \cdot \sqrt[3]{1100 \cdot J^2 \cdot a}}{47 \cdot J}, \quad (31.31)$$

где V – скорость движения по вильку, м/с; J – степень нарастания центробежного ускорения, м/с³; a – ширина вилька (2 м).

С учетом приведенных выражений для l_1 и l_2 формула расчетного расстояния видимости примет следующий вид

$$S_6 = 2t_p \cdot V + \frac{28,8 \cdot V \cdot \sqrt[3]{1100 \cdot J^2 \cdot a}}{47J} + 5. \quad (31.32)$$

Ниже приведены значения S_6 , подсчитанные по формуле (31.32) при $t_p=0,8$ с; $J=1,0$ м/с³; $a=2$ м:

V , км/ч	40	50	60	70	80;
S_6 , м	110	140	165	190	220.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для расчетной скорости $V=40$ км/ч по схеме «а» получаются меньшие значения расстояния видимости, чем по схеме «б», как при $\varphi_1=0,32$, так и при $\varphi_1=0,48$. Такое же соотношение расстояний видимости наблюдается и для расчетных скоростей $V=50$ и 60 км/ч при $\varphi_1=0,48$.

Для расчетных скоростей $V=70$ и 80 км/ч по схеме «а» получаются большие значения расстояния видимости, чем по схеме «б», как при $\varphi_1=0,32$, так и при $\varphi_1=0,48$. Такое же соотношение расстояний видимости наблюдается и для расчетных скоростей $V=50$ и 60 км/ч при $\varphi_1=0,32$. При проектировании транспортных развязок следует принимать большее значение расстояния видимости.

Двухполосные съезды проектируются для дорог I категории из условия, что каждая полоса движения имеет ширину 3,75 м, и предусматривается уширение на кривых.

В табл. 31.16 приведены рекомендуемые значения расчетного расстояния видимости в плане для двухполосных съездов исходя из практики сооружения транспортных развязок и исследований режимов движения по ним. СНиП 2.05.02-85 рекомендует принимать расчетное расстояние видимости для остановки и встречного автомобиля 450 м.

Таблица 31.16. Рекомендуемые расстояния видимости

Скорость движения, км/ч	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Расчетное расстояние видимости в плане S , м	Скорость движения, км/ч	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Расчетное расстояние видимости в плане S , м
40	0,32	110	70	0,32	270
	0,48	110		0,48	200
50	0,32	150	80	0,32	350
	0,48	140		0,48	250
60	0,32	205	90	0,32	450
	0,48	165		0,48	350

31.9.6. Определение расчетного расстояния видимости в зоне выхода со съезда на основную дорогу

Опыт эксплуатации транспортных развязок показал, что большое количество аварий происходит в зоне выхода автомобилей со съезда на основную дорогу. Для повышения безопасности движения в этой зоне необходимо на выходных участках съездов обеспечить достаточную видимость основного транспортного потока.

С целью определения необходимого расстояния видимости основной дороги со съезда были проведены натурные исследования режимов движения и методов управления автомобилем на левоповоротных съездах транспортных развязок, построенных на Московской кольцевой автомобильной дороге и выполненных по типу клеверного листа. Пересекающиеся дороги просматривались со съездов на расстояние до 350-400 м.

На основании проведенных исследований были установлены расчетные параметры криволинейного треугольника видимости основной дороги при выходе со съезда (рис. 31.75). Параметры этого треугольника соответствуют расчетной скорости на съезде, равной 40-45 км/ч.

Как показали наблюдения, в тех случаях, когда фактические расстояния видимости были меньше указанных на рис. 31.75, средние скорости включения в основной поток движущихся по съездам автомобилей снижались на 11-13 км/ч.

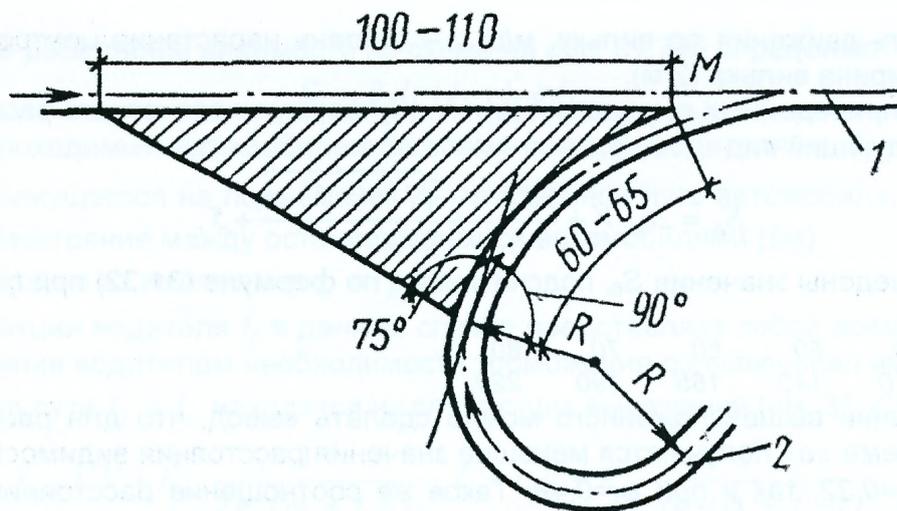


Рис. 31.75. Параметры минимального треугольника видимости: 1 – основная дорога; 2 – съезд

Приведенные на рис. 31.75 значения расстояний видимости являются минимально возможными. Если же создание условий хорошего обзора основной дороги не связано с резким увеличением объема земляных работ, сносом большого количества построек, вырубкой ценных пород деревьев и т. д., то рекомендуется обеспечивать видимость с участка съезда за 80-90 м (вместо 60-65 м) до выхода на основную дорогу. В результате этого длина обзораемого участка основной дороги возрастает до 180-200 м (вместо 100-110 м). Расстояния видимости поверхности основной дороги и съезда отсчитываются от точки примыкания проезжей части съезда к проезжей части основной дороги (точка М на рис. 31.75).

31.9.7. Определение расчетного расстояния боковой видимости

При проектировании транспортных развязок необходимо обеспечивать боковую видимость на всем протяжении основных дорог и съездов. Расчетное расстояние боковой видимости определяют из условия остановки автомобиля при выходе на проезжую часть пешехода и находят по формуле

$$S = \frac{V_{п} \cdot t_a}{3,6}, \quad (31.33)$$

где $V_{п}$ – скорость передвижения пешехода, км/ч (5 км/ч – в случае проложения дороги (съезда) в насыпи и 9 км/ч – в выемке); t_a – время, необходимое для остановки автомобиля, с (это время складывается из времени реакции водителя и времени прохождения тормозного пути).

В табл. 31.17 приведены расчетные расстояния боковой видимости в зависимости от условий проложения дороги (съезда) и расчетной скорости движения по дороге (съезду). Эти расстояния подсчитаны при следующих исходных данных: время реакции водителя $t_p=0,8$ с; время срабатывания тормозного привода и нарастания тормозного усилия на колесах автомобиля $t=0,2$ с; коэффициент эффективности торможения $K_3=2,0$ (для грузовых автомобилей) и $K_3=1,5$ (для легковых автомобилей); коэффициент сопротивления качению $f=0,02$; продольный уклон дороги $i=0$.

Таблица 31.17. Расчетные расстояния боковой видимости

Проложение дороги (съезда)	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Расчетное расстояние боковой видимости S, м, при расчетных скоростях движения V, км/ч							
		40	50	60	70	80	100	120	150
В насыпи	0,32	10	10	10	10	15	15	15	15
	0,48	5	10	10	10	10	10	10	15
В выемке	0,32	15	15	15	20	20	25	25	25
	0,48	10	10	15	15	15	20	20	20

Расчетные расстояния боковой видимости принято отсчитывать от кромок проезжих частей основных дорог и съездов.

На транспортных развязках приведенные в табл. 31.17 значения расчетного расстояния боковой видимости должны быть обеспечены с обеих сторон основных дорог и съездов на всем их протяжении, за исключением участков, расположенных под путепроводом и на 210

путепроводе. Обеспечение расчетного расстояния боковой видимости на участках, находящихся под путепроводом и на путепроводе, связано с большими затратами, поэтому на указанных участках для повышения безопасности рекомендуется устраивать специальные ограждения, которые исключали бы возможность неожиданного выхода пешеходов на проезжую часть.

СНиП 2.05.02-85 рекомендуют обеспечивать боковую видимость 25 м для дорог I-III категорий и 15 м для IV-V категорий.

31.9.8. Определение расчетного расстояния видимости в продольном профиле

Расчетное расстояние видимости в продольном профиле в отличие от расчетного расстояния видимости в плане имеет одни и те же значения как для однополосных, так и двухполосных съездов, поскольку под видимостью в продольном профиле подразумевается видимость поверхности дороги.

При определении расчетного расстояния видимости в продольном профиле в качестве расчетной схемы видимости принимается торможение автомобиля перед препятствием (рис. 31.76).

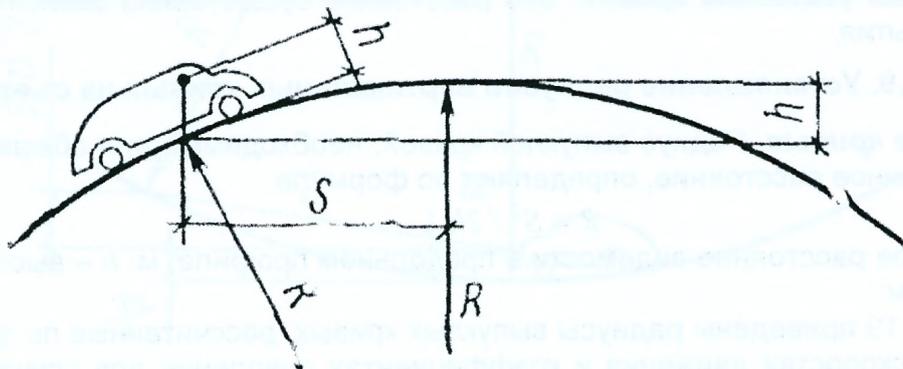


Рис. 31.76. Схема для определения расчетного расстояния видимости в продольном профиле

Расчетное расстояние видимости в продольном профиле

$$S = l_1 + l_2 + l_3. \quad (31.34)$$

Величины l_1 и l_3 имеют совершенно одинаковые значения при определении расчетного расстояния видимости как в плане, так и в продольном профиле (см. формулу (31.25)). Некоторое отличие имеется в определении тормозного пути l_2 . Так как видимость в продольном профиле не обеспечивается только на выпуклых переломах, то при определении тормозного пути продольный уклон следует принимать больше нуля, а для получения некоторого запаса – равным нулю.

При определении расчетного расстояния видимости в продольном профиле могут быть два случая.

Случай 1. Вертикальная кривая не совпадает с горизонтальной. Здесь расчетное расстояние видимости в продольном профиле определяют по следующей формуле

$$S = V(t_p + t) + K_3 \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi + f)} + 5. \quad (31.35)$$

где φ – коэффициент полного сцепления шин с покрытием.

В табл. 31.18 приведены расчетные расстояния видимости в продольном профиле, рассчитанные по формуле (31.35) при $t_p=0,8$ с; $t=0,2$ с; $K_3=2,0$; $f=0,02$.

Таблица 31.18. Расчетные расстояния видимости в продольном профиле

Скорость движения, км/ч	Коэффициент полного сцепления φ	Расчетное расстояние видимости в продольном профиле S, м	Скорость движения, км/ч	Коэффициент полного сцепления φ	Расчетное расстояние видимости в продольном профиле S, м
40	0,40	45	70	0,40	115
	0,60	35		0,60	85
50	0,40	65	80	0,40	145
	0,60	50		0,60	110
60	0,40	90			
	0,60	70			

Первое значение коэффициента φ соответствует покрытиям, построенным с применением органических вяжущих материалов, а второе – цементнобетонным покрытиям (см. табл. 31.1). Расстояния видимости для коэффициента $\varphi=0,30$, соответствующего покрытиям переходного и низшего типов, не приведены, так как указанные типы покрытия можно устраивать только на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог в одном уровне.

Случай 2. Вертикальная кривая совпадает с горизонтальной. Здесь расчетное расстояние видимости в продольном профиле определяют по формуле (31.26) при $i=0$.

В выражении для длины тормозного пути в данном случае нужно принимать коэффициент продольного сцепления шин с покрытием φ_1 .

Значения S , подсчитанные по формуле (31.26) при $t_p=0,8$ с; $t=0,2$ с; $K_3=2,0$; $\varphi_1=0,32$ и $0,48$; $f=0,02$, приведены в табл. 31.14 (при уклоне $i=0$ расчетное расстояние видимости в продольном профиле и расчетное расстояние видимости в плане для однопутных съездов равны между собой).

Из табл. 31.14 и 31.18 видно, что при совпадении вертикальной кривой с горизонтальной расчетное расстояние видимости в продольном профиле имеет большие значения, чем при несовпадении указанных кривых. Это расстояние существенно зависит также от типа дорожного покрытия.

31.9.9. Установление радиусов вертикальных кривых на съездах

Выпуклые кривые. Радиус выпуклой кривой, необходимый для обеспечения видимости пути на заданное расстояние, определяют по формуле

$$R = S^2 / 2h, \quad (31.36)$$

где S – расчетное расстояние видимости в продольном профиле, м; h – высота луча зрения водителя $h=1,2$ м.

В табл. 31.19 приведены радиусы выпуклых кривых, рассчитанные по формуле (31.36) при различных скоростях движения и коэффициентах сцепления для случая, когда вертикальная кривая не совпадает с горизонтальной.

Таблица 31.19. Расчетные радиусы выпуклых кривых при несовпадении вертикальной кривой с горизонтальной

Скорость движения, км/ч	Коэффициент полного сцепления φ	Радиус выпуклой кривой R , м	Скорость движения, км/ч	Коэффициент полного сцепления φ	Радиус выпуклой кривой R , м
40	0,40	1000	70	0,40	6000
	0,60	700		0,60	3400
50	0,40	2000	80	0,40	9400
	0,60	1000		0,60	5000
60	0,40	3400			
	0,60	2000			

При совпадении вертикальной кривой с горизонтальной следует принимать значения радиуса выпуклых кривых, приведенные в табл. 31.20.

Таблица 31.20. Расчетные радиусы выпуклых кривых при совпадении вертикальной кривой с горизонтальной

Скорость движения, км/ч	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Радиус выпуклой кривой R , м	Скорость движения, км/ч	Коэффициент продольного сцепления φ_1	Радиус выпуклой кривой R , м
40	0,32	1000	70	0,32	8200
	0,48	700		0,48	4200
50	0,32	2700	80	0,32	13500
	0,48	1500		0,48	7000
60	0,32	5000			
	0,48	2700			

СНиП 2.05.02–85 рекомендует принимать радиусы выпуклых кривых на съездах транспортных развязок в зависимости только от расчетной скорости движения (для расчетных скоростей, равных 40, 50, 60 и 80 км/ч, минимальные радиусы выпуклых кривых по СНиП составляют соответственно 1000, 1500, 2500 и 5000 м). Однако, как видно из табл. 31.19 и 31.20, эти радиусы существенно зависят также от типа дорожного покрытия. Кроме того, ра-

диусы выпуклых кривых имеют различные значения в случае совпадения вертикальной кривой с горизонтальной и при несовпадении этих кривых.

Вогнутые кривые. Радиус вогнутой кривой определяют из условия обеспечения видимости поверхности дороги в ночное время, а также из условия смягчения толчка при движении автомобиля через вогнутый перелом продольного профиля.

Радиус вогнутой кривой, необходимый для обеспечения видимости поверхности дороги в ночное время, определяют по формуле (рис. 31.77)

$$R = \frac{S^2}{2 \cdot \left(h_{\phi} + S \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)}, \quad (31.37)$$

где S – расчетное расстояние видимости в продольном профиле, м; h_{ϕ} – возвышение центра фары автомобиля над поверхностью дороги (0,5-0,7 м); α – угол распространения пучка лучей фар в вертикальной плоскости, град (4–6°).

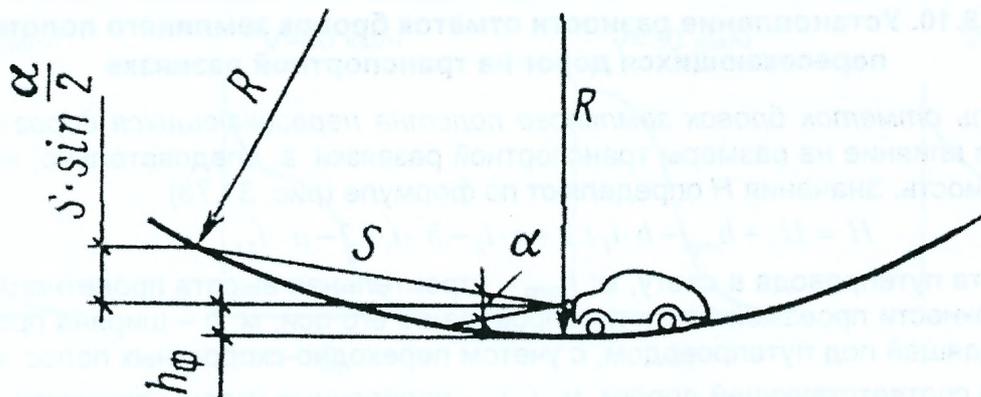


Рис. 31.77. Схема для определения радиуса вогнутой кривой из условия обеспечения видимости поверхности дороги в ночное время

В табл. 31.21 приведены радиусы вогнутых кривых, подсчитанные по формуле (31.37) при $h_{\phi}=0,7$ м и $\alpha=4^{\circ}$ для случая, когда вертикальная кривая не совпадает с горизонтальной.

Таблица 31.21. Расчетные радиусы вогнутых кривых при несовпадении вертикальной и горизонтальной кривых

Скорость движения, км/ч	Коэффициент полного сцепления ϕ	Радиус выпуклой кривой R, м	Скорость движения, км/ч	Коэффициент полного сцепления ϕ	Радиус выпуклой кривой R, м
40	0,40	600	70	0,40	1800
	0,60	400		0,60	1300
50	0,40	900	80	0,40	2400
	0,60	700		0,60	1700
60	0,40	1400			
	0,60	1000			

Расчет радиусов вогнутых кривых по формуле (31.37) для случая совпадения вертикальной кривой с горизонтальной не производят, так как при сравнительно небольших радиусах горизонтальных кривых на транспортных развязках (см. табл. 31.2 и 31.3) свет фар освещает проезжую часть дороги на расстояние, значительно меньшее расчетного расстояния видимости в продольном профиле. Следовательно, расчетная схема, изображенная на рис. 31.77, и формула (31.37) в данном случае неприменимы.

С целью обеспечения безопасного для прочности автомобиля перехода вогнутого перелома продольного профиля необходимо вписывать вогнутую кривую такого радиуса, чтобы ускорение центробежной силы не превышало 0,5-0,7 м/с². Центробежное ускорение находят по формуле

$$a = V^2 / R, \quad (31.38)$$

отсюда радиус вогнутой кривой

$$R = V^2 / a, \quad (31.39)$$

где V – скорость движения автомобиля, м/с; a – центробежное ускорение, м/с².

Ниже приведены радиусы вогнутых кривых, подсчитанные по формуле (31.39) при $a=0,5 \text{ м/с}^2$:

$V, \text{ км/ч}$	40	50	60	70	80;
$R, \text{ м}$	300	400	600	800	1000.

Как видно из приведенных выше данных, по формуле (31.37) получаются более высокие значения радиуса вогнутой кривой, чем по формуле (31.39). В связи с этим при проектировании транспортных развязок в качестве основных следует принимать радиусы вогнутых кривых, приведенные в табл. 31.21, а радиусы, подсчитанные по формуле (31.39), можно принимать только на тех развязках, где предусматривается искусственное освещение в темное время суток (к таким транспортным развязкам в соответствии с указаниями СНиП 2.05.02-85 относятся развязки, сооружаемые на дорогах I и II категорий).

СНиП 2.05.02-85 регламентируют минимальные радиусы вогнутых кривых для расчетных скоростей, равных 40, 50, 60 и 80 км/ч соответственно 1000(300), 1200(400), 1500(600) и 2000(1000)м (в скобках – для горной местности).

31.9.10. Установление разности отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог на транспортной развязке

Разность отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог H оказывает существенное влияние на размеры транспортной развязки, а, следовательно, и на ее строительную стоимость. Значения H определяют по формуле (рис. 31.78)

$$H = H_1 + h_{\text{стр}} + b \cdot i_1 / 2 + a \cdot i_2 - b' \cdot i_1' / 2 - a' \cdot i_2', \quad (31.40)$$

где H_1 – высота путепровода в свету, м; $h_{\text{стр}}$ – строительная высота пролетного строения от низа до поверхности проезжей части путепровода на его оси, м; b – ширина проезжей части дороги, проходящей под путепроводом, с учетом переходно-скоростных полос, м; a, a' – ширина обочины соответствующей дороги, м; i_1, i_1' – поперечные уклоны проезжей части; i_2, i_2' – поперечные уклоны обочины; b' – ширина проезжей части дороги, проходящей по путепроводу, с учетом переходно-скоростных полос, м.

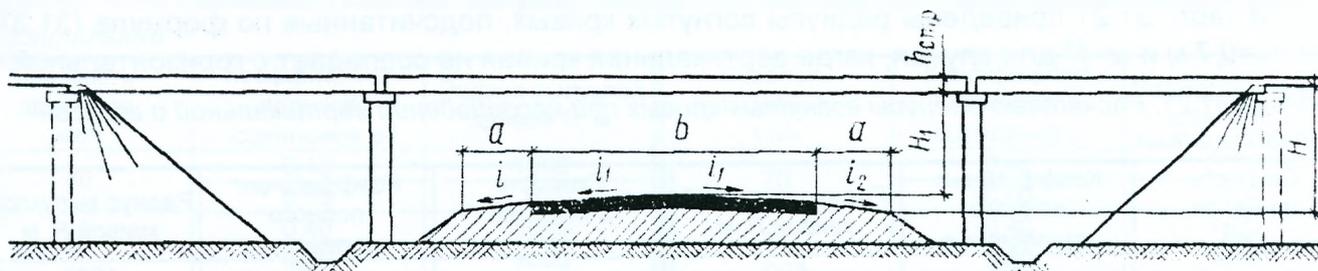


Рис. 31.78. Схема для определения разности отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог

В случае пересечения автомобильных дорог одинаковой категории $b=b', a=a', i_1=i_1', i_2=i_2'$ и формула (31.40) принимает следующий вид

$$H = H_1 + h_{\text{стр}}. \quad (31.41)$$

При проектировании транспортных развязок значения $a, b, i_1, i_2, a', b', i_1', i_2'$ являются заранее известными. Строительная высота пролетного строения $h_{\text{стр}}$ определяется на основании типовых проектов пролетных строений путепроводов.

Московский автомобильно-дорожный институт организовал многочисленные обследования искусственных сооружений, построенных на некоторых автомобильных дорогах. В результате этих обследований установлено, что целый ряд путепроводов имеет следы ударов о нижние поверхности балок пролетных строений. Были отмечены также случаи серьезного повреждения балок и даже смещения их; поэтому СНиП 2.05.02-85 рекомендуют при пересечении дорог I-III категорий принимать высоту путепровода в свету H_1 равной 5,0 м, а для пересечений дорог IV и V категорий – 4,5 м. При проектировании транспортных развязок в различных странах H_1 принимают в пределах от 4,5 до 5,2 м.

Произведенные расчеты для случаев, когда под путепроводом и по нему проходят автомобильные дороги разных категорий, а также одно- и двухполосные съезды, показали, что

разность отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог на транспортной развязке H не превышает 6,5 м. При вариантном проектировании транспортных развязок можно ориентировочно принимать $H=6,5$ м.

31.10. Пропускная способность съездов транспортных развязок

На пересечениях в разных уровнях одна из основных пересекающихся магистралей проходит над другой по путепроводу. Правые повороты осуществляются беспрепятственно по так называемым правоповоротным съездам, на которых помехи при движении могут возникать при включении поворачивающих автомобилей в транспортный поток по пересекаемой дороге.

Съезды (рампы) для правоповоротного движения не отличаются принципиальным многообразием, могут быть одно- и двухполосными (рис. 31.78). Искривление рампы в плане (рис. 31.78б), допускаемое при малых углах поворота и наличии смежной левоповоротной рампы, способствует экономии занимаемых земель при снижении скорости движения.

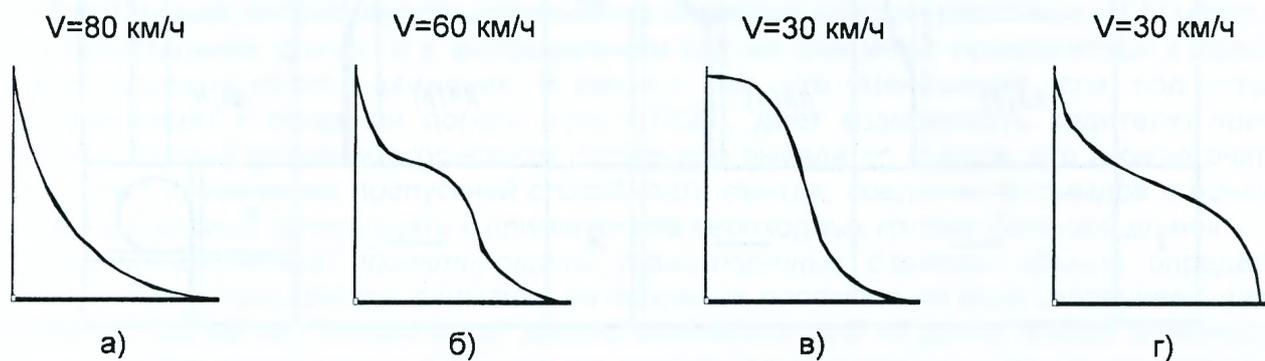


Рис. 31.78. Типы соединительных рампы для правоповоротного движения: а, б – между дорогами высоких категорий с большими радиусами круговых кривых в начале и конце рампы; в, г – между дорогами высокой и низкой категорий с созданием примыканий в одном уровне

Основные трудности, порождающие разнообразие схем пересечений в разных уровнях, вызываются сложностью организации левых поворотов, которые можно осуществлять одним из трех способов, показанных на рис. 31.79.

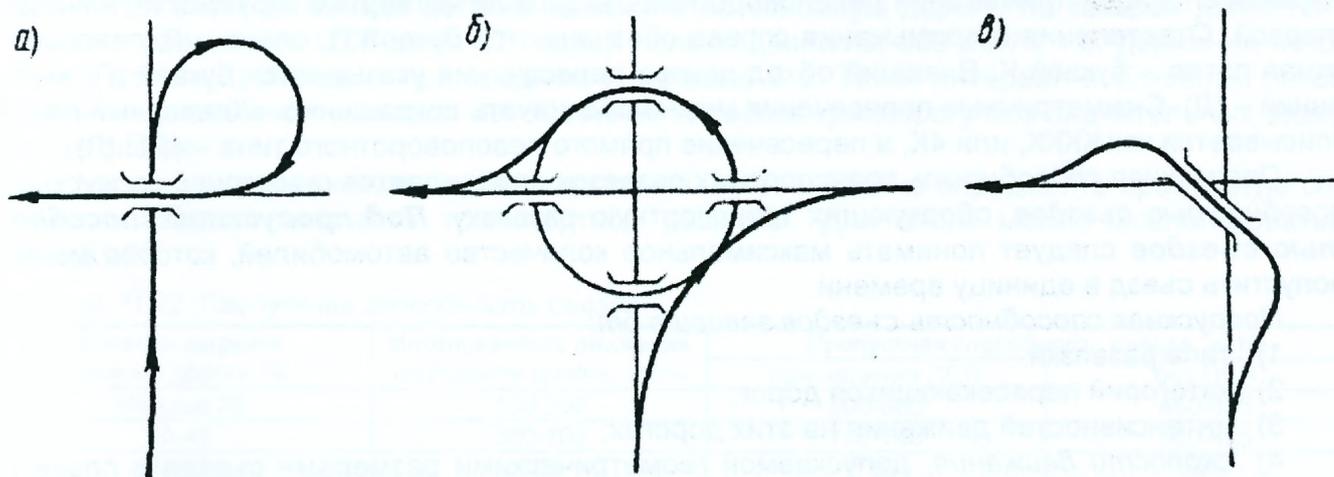


Рис. 31.79. Схемы осуществления левых поворотов на пересечениях в разных уровнях: а – при помощи правого поворота на 270° после проезда моста; б – по распределительному кольцу; в – по специальным левоповоротным съездам

Возможны несколько типов размещения левоповоротных съездов по отношению к геометрическому центру пересечения:

- 1) внутреннее, с обходом слева;
 - 2) внешнее, с обгибанием справа,
- и к проезжей части для одностороннего движения:
- 1) правосторонние;
 - 2) левосторонние ответвления и примыкания (рис. 31.80).

Тип петли	Обход центра слева	Обход центра справа	Тип петли	Обход центра слева	Обход центра справа
пп			лл		
пл			лп		
к	—	—	к	—	

Рис. 31.80. Классификация левоповоротных съездов пересечений в разных уровнях

Восемь типов начертания левоповоротных съездов в сочетании с левоповоротными петлями дают возможность составить большое количество различных схем пересечений, многие из которых еще не были осуществлены на практике.

В связи с многообразием возможных схем компоновки пересечений в разных уровнях может быть использована буквенная система их обозначения путем последовательного описания способов примыкания левоповоротных съездов по четвертям окружности, начиная с первой. Ответвления и примыкания справа обозначаются буквой П, слева – Л; левоповоротная петля – буквой К. Внешний обход центра пересечения указывается буквой (П) внутренний – (Л). Симметричные пересечения можно обозначать сокращенно. «Клеверный лист» записывается как КККК, или 4К, а пересечение прямого левоповоротного типа – 4ПП (Л).

Пропускная способность транспортных развязок определяется суммарной пропускной способностью съездов, образующих транспортную развязку. **Под пропускной способностью съездов** следует понимать максимальное количество автомобилей, которое может пропустить съезд в единицу времени.

Пропускная способность съездов зависит от:

- 1) типа развязки;
- 2) категорий пересекающихся дорог;
- 3) интенсивностей движения на этих дорогах;
- 4) скорости движения, допускаемой геометрическими размерами съезда в плане и профиле, поскольку последние зависят от типа съезда;
- 5) того, каким образом совершается маневр поворота на съезде – по петле, прямым поворотом, движением по кольцу или полупрямым маневром;
- 6) условий слияния съезда с основной дорогой. Под этими условиями следует понимать угол, под которым съезд примыкает к главной дороге, и наличие переходно-скоростных полос (ПСП);
- 7) интенсивности транзитного движения на основных пересекающихся дорогах.

На пропускную способность транспортных развязок влияет наличие переходно-скоростных полос (ПСП). СНиП предусматривают обязательное устройство ПСП на пересечениях и примыканиях в разных уровнях на дорогах I-III категорий.

Натурные наблюдения за пропускной способностью транспортных развязок показали, что:

1) возможность свободного выезда автомобилей со съезда на основную дорогу зависит от наличия достаточного временного интервала между автомобилями, движущимися по правой полосе основной дороги, который для 85% водителей составляет 4,4с;

2) при значительных размерах движения на основных дорогах выезд автомобилей со съезда в большинстве своем возможен *только с остановкой*. В этом случае величина интервала, принимаемая водителями между автомобилями основного потока, увеличивается до 7,2 с, так как водителям потребуется какое-то время для набора скорости;

3) при значительных размерах движения на съездах режим движения с остановкой влечет за собой возникновение очереди автомобилей, поэтому пропускная способность съезда в этом случае будет зависеть от размеров движения на основной дороге. Для увеличения пропускной способности съезда в данном случае необходимо устройство разгонных ПСП, длина которых должна не только позволить увеличить скорость движения выезжающих со съезда автомобилей до скорости основного потока, но и дать возможность водителям выбрать нужный интервал в основном потоке и влиться в него.

При большой интенсивности движения на основных дорогах разгонные ПСП могут достигать значительной длины, и в экстремальном случае они могут превратиться в дополнительную основную полосу движения. В связи с тем, что уменьшение угла, под которым съезд примыкает к основной дороге (или к ПСП), дает возможность водителю принять меньший интервал времени в основном потоке для выезда со съезда, что в свою очередь способствует увеличению пропускной способности съезда, соединение съездов с основной дорогой необходимо производить с применением переходных кривых большой длины.

При практическом проектировании транспортных развязок обычно определяют перспективную интенсивность движения на основных дорогах и на всех сворачивающих направлениях. Так как эти потоки могут сильно отличаться друг от друга, эпюра транспортных потоков в месте пересечения дорог может оказать решающее влияние на формирование типа транспортной развязки. Таким образом, проектировщику не так важно знать показатель пропускной способности всей транспортной развязки, как важно определить возможность непрерывного движения на наиболее напряженных съездах.

Например, если интенсивность движения на съезде равна 200 авт/ч, а пропускная способность съезда исходя из расчетной скорости, составляет 1000 авт/ч, то сам съезд при наличии одной полосы движения способен пропустить заданную интенсивность движения. Однако автомобили со съезда должны выезжать на основную дорогу, по которой движется в обоих направлениях 1200 авт/ч. По одной полосе движется 600 авт/ч, т.е. движение на основной дороге происходит при среднем интервале 6 с. Такой интервал в основном потоке обеспечит возможность съезда автомобилей на основную дорогу без значительных задержек на съезде.

На стадии *вариантного проектирования* целесообразно определять пропускную способность каждого варианта транспортной развязки. Для этого можно воспользоваться табл. 31.22.

Таблица 31.22. Пропускная способность съезда

Уровень загрузки главной дороги, %	Интенсивность движения по главной дороге, авт/ч	Пропускная способность съезда, авт/ч	
		при наличии ПСП	без ПСП
Меньше 20	100-300	900-830	850-625
20-45	500-700	700-740	500-425
45-70	900	700	325
70-100	1000	610	220

31.11. Вертикальная планировка и водоотвод с транспортных развязок

В проекте вертикальной планировки транспортной развязки решаются вопросы **организации стока дождевых и талых вод**, как с поверхности проезжей части съездов и основных дорог, так и из замкнутых контуров, образуемых съездами. Водоотвод из замкнутых контуров решается в соответствии с общим направлением стока с территории, на которой расположена транспортная развязка.

При решении вопроса, какая из пересекающихся дорог должна быть расположена выше относительно другой дороги, необходимо исходить из возможности обеспечения стока поверхностных вод и размещения под съездами и основными дорогами водопропускных сооружений:

– если пересечение основных дорог расположено на местности, где сток воды происходит в одну сторону, дорога, которая пересекает направление стока под большим углом (АБ) (рис. 31.81), приподнимается над естественным рельефом и, следовательно, будет выше той, которая пересекает рельеф под малым углом к направлению стока воды (ВГ);

– при расположении пересечения дорог в низине или на площади с замкнутым рельефом, не имеющим естественного стока, практически не имеет значения, какая из пересекающихся дорог будет выше, а какая ниже (рис. 31.82). В этом случае потребуются большие работы по вертикальной планировке всей площади, занимаемой транспортной развязкой.

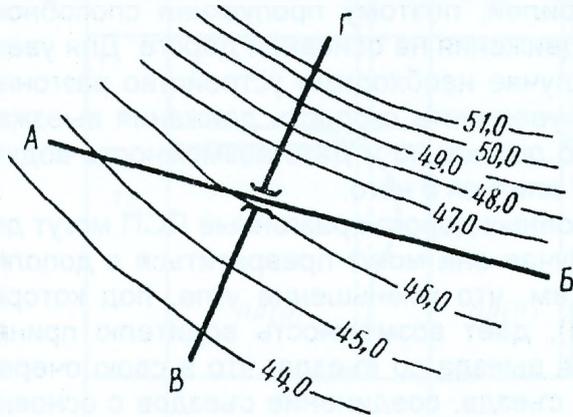


Рис. 31.81. Расположение пересечения дорог при односкатном рельефе местности

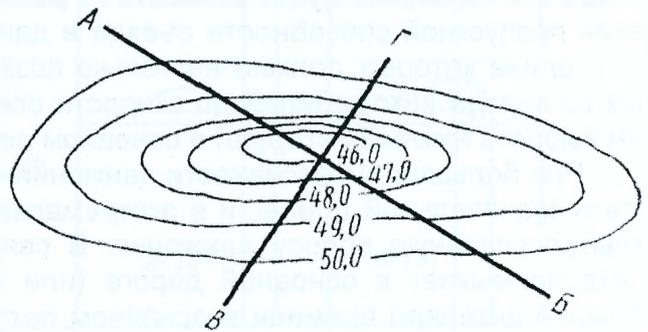


Рис. 31.82. Расположение пересечения дорог при необеспеченном стоке воды

С точки зрения обеспечения водоотвода с территории транспортной развязки, лучшим вариантом является расположение ее на водораздельном участке с небольшими уклонами.

Таким образом, вертикальная планировка транспортной развязки зависит от естественного рельефа местности и может быть одно-, двух-, трех- и четырехскатной, с кюветами или без них. При изыскании автомобильных дорог и определении мест сооружения транспортных развязок следует располагать их на местности с обеспеченным естественным стоком. Высотное положение основных дорог и съездов, выраженное в проектных отметках, определяется продольными и поперечными профилями и дополняется разбивочным чертежом, на котором через каждые 5-10 м указывают отметки по оси съезда, по кромкам и бровкам земляного полотна, с учетом отгона виража. Наиболее полное представление о проектируемой транспортной развязке дает вертикальная планировка, выполненная методом проектных горизонталей. Пример вертикальной планировки примыкания дорог показан на рис. 31.83.

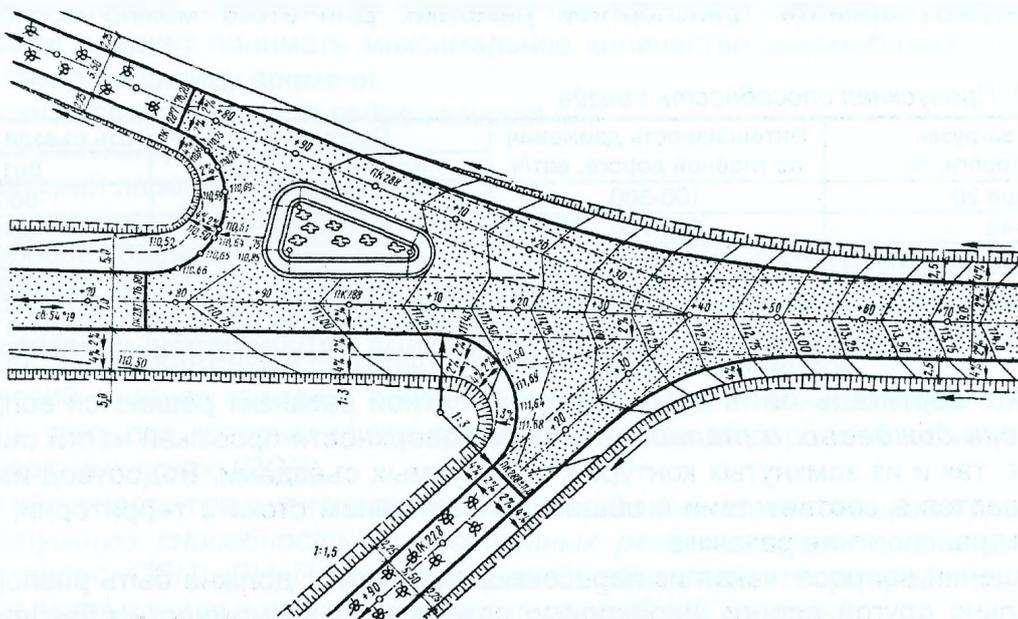


Рис. 31.83. Рабочий чертеж вертикальной планировки сложного примыкания дорог в одном уровне

На рис. 31.83 проектные горизонталы проведены через 0,25 м и на каждой из них написаны отметки. Также на рисунке указаны места рабочих поперечников, по которым можно сделать разбивку примыкания в натуре. Стрелками вдоль подошв откосов показаны направления стока воды. Проектные отметки переносят на план с продольного профиля. Углы наклона горизонталей по отношению к оси дороги (гребню) определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = i_{\text{прод}} / i_{\text{пол}}, \quad (31.42)$$

где α – угол между направлением проектной горизонталей и гребнем (осью дороги); $i_{\text{прод}}$ – продольный уклон; $i_{\text{пол}}$ – поперечный уклон.

Расстояние между соседними горизонтальными в пределах одинакового продольного уклона равно

$$a = h / i_{\text{прод}}, \quad (31.43)$$

где h – сечение (шаг) между соседними горизонтальными (при равнинной местности сечение горизонталей принимают 0,10 м).

Отвод воды на съезде при примыкании дорог над косым углом показан на рис. 31.84.

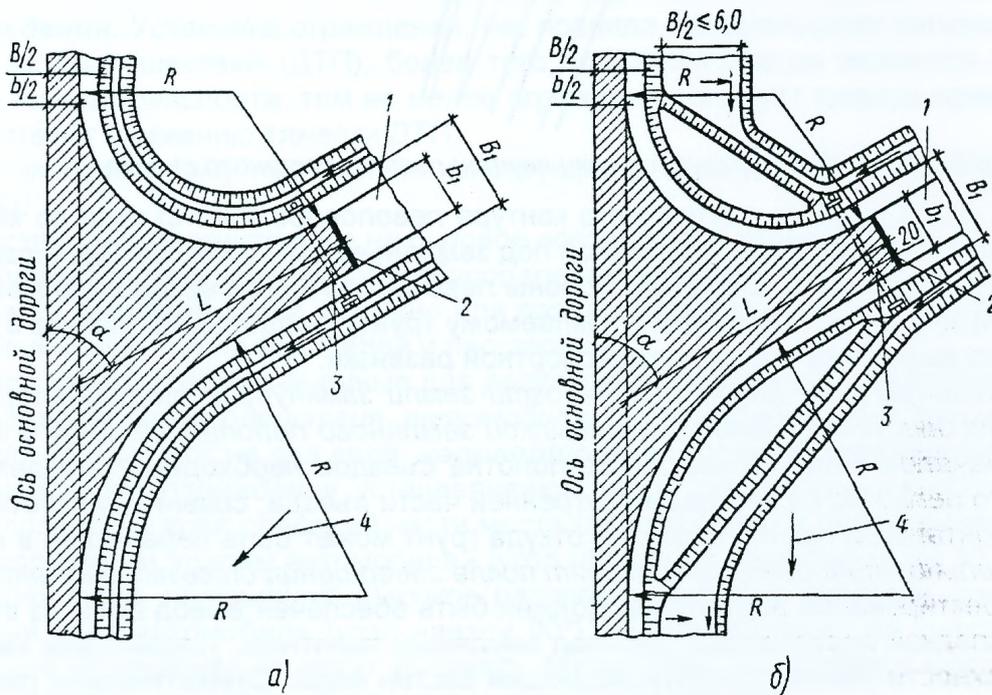


Рис. 31.84. Схема отвода воды на съездах: а – с выпуском воды в кювет; б – с выпуском воды в кювет-резерв; 1 – существующие покрытия; 2 – граница съезда; 3 – железобетонная труба; 4 – направление стока

По первому варианту вода с верховой стороны от примыкающей дороги (рис. 31.84а) стекает в кювет, проходит через трубу и попадает в кювет, расположенный вдоль основной дороги. По второму варианту вода с верховой стороны (рис. 31.84б) подходит по кювет-резерву и кювету к верхнему оголовку трубы, проходит через трубу в водоотводную канаву, которая выпускает воду в кювет-резерв, расположенный вдоль основной дороги.

На рис. 31.85 показан пример вертикальной планировки поверхности земли замкнутого контура левоповоротного съезда с прилегающими участками с внешних сторон съезда. Проектные горизонталы проведены плавными линиями через 0,5 м. Расстояние между горизонтальными определяют в зависимости от величины сечения рельефа горизонтальными и продольного уклона.

При вертикальной планировке поверхности земли продольный уклон принимают в зависимости от типа грунта по условиям размыва стекающей водой. На рис. 31.85 естественный рельеф местности во внимание принят не был.

При проектировании водоотвода из всех замкнутых контуров транспортной развязки необходимо предусмотреть засыпку мест, предотвращающих застои воды. Размеры отверстий перепускных труб для отвода поверхностной воды через земляное полотно назначают на основании гидравлических расчетов и принимают диаметром не менее 0,80 м.

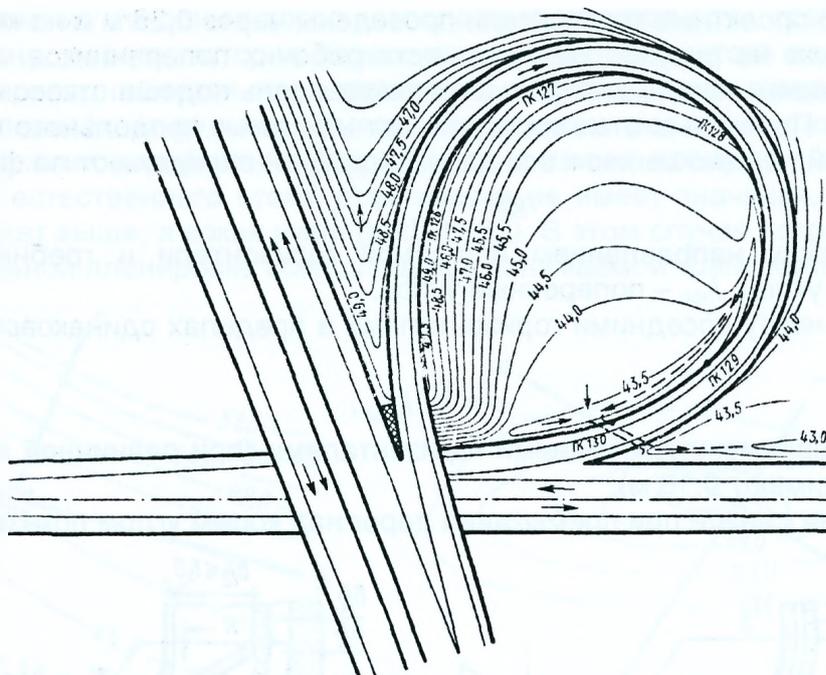


Рис. 31.85. Пример вертикальной планировки внутри левоповоротного съезда

На рис. 31.85 вода из внутреннего контура левоповоротного съезда по кювету подводится к водопропускной трубе, уложенной под земляным полотном съезда, и далее по кювету отводится вдоль дороги. С другой стороны левоповоротного съезда водоотвод осуществлен от дороги и съезда приданием отсыпаемому грунту продольного уклона в сторону для последующего вывода за пределы транспортной развязки.

Вертикальную планировку поверхности земли замкнутых контуров транспортных развязок проводят одновременно с отсыпкой земляного полотна съездов и основных дорог. Перед началом отсыпки земляного полотна съездов необходимо определить отметки естественного рельефа на площади внутренней части съезда, сравнить их с отметками проектных горизонталей и наметить места, откуда грунт может быть перемещен в насыпь съезда. Окончательно планировку производят после завершения отсыпки земляного полотна.

При проектировании водоотвода должен быть обеспечен вывод воды из всех секторов развязки с укладкой перепускных труб под земляным полотном, устройством канав и планировкой поверхности земли, предотвращающей застоя воды. Схематическое решение мероприятий по водоотводу показано на рис. 31.86. Они определяются уклонами местности и приложением одной из дорог в насыпи.

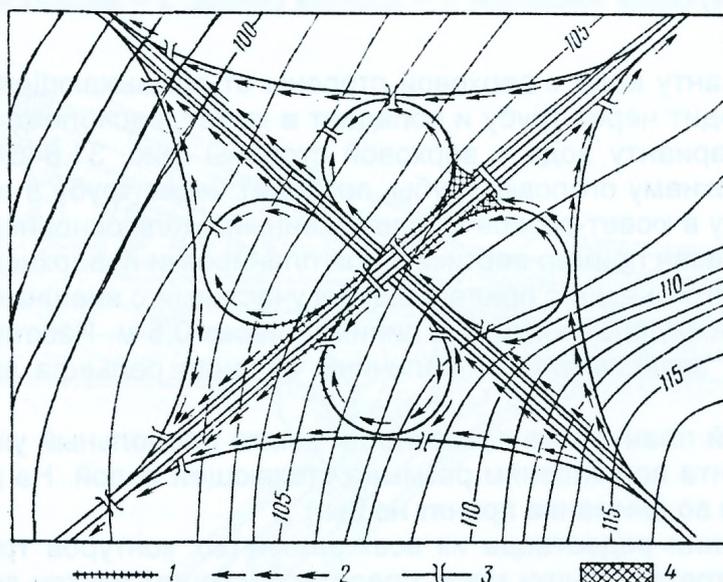


Рис. 31.86. Схема обеспечения водоотвода на пересечении: 1 – участок дороги в насыпи; 2 – направление стока воды; 3 – перепускные трубы; 4 – подсыпки для предотвращения застоя воды в накопительных местах

Проект озеленения, к составлению которого обычно привлекают специалистов по ландшафтной архитектуре, должен предусматривать посадку красивых декоративных групп деревьев и кустарников внутри петель право- и левоповоротных съездов. Площади земли, находящиеся внутри контуров пересечения, затруднительно использовать для каких-либо хозяйственных целей. С внешней стороны желательно расположить окаймляющие полосы снегозащитных насаждений.

31.12. Инженерное оборудование транспортных развязок

Важным мероприятием для проектирования организации безопасного движения на транспортных развязках является решение вопросов их инженерного оборудования. **К инженерному оборудованию относятся:**

- устройство ограждений и направляющих устройств;
- расстановка дорожных знаков;
- проектирование электроосвещения;
- разметка проезжей части.

Ограждения. Установка ограждений, как правило, не уменьшает количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП), более того, они сами иногда являются причиной ДТП при наезде на них транспорта; тем не менее ограждения следует широко применять, так как они способствуют снижению тяжести ДТП.

По функциональному назначению конструкции дорожных ограждений **разделяют на две группы:**

1) конструкции, рассчитанные на **силовое воздействие** транспортных средств. Форма и размеры элементов этих конструкций обусловлены требованиями удерживания транспортных средств на проезжей части, обочине или разделительной полосе с допустимым воздействием инерционных сил на водителей и пассажиров;

2) конструкции, предназначенные для **регулирования движения пешеходов.**

По условиям взаимодействия автомобиля и ограждения конструкции ограждений первой группы разделяют на два вида: **направляющие и останавливающие.**

Направляющие ограждения устанавливаются вдоль оси дороги на обочине, разделительной полосе или у края проезжей части моста (путепровода) и рассчитывают на противодействие скользящим ударам автомобилей (угол наезда на ограждение до 30°). **Останавливающие ограждения**, получившие широкое распространение за рубежом, рассчитывают на фронтальный удар автомобиля (угол наезда 90°) и устанавливают на участках дорог, где направляющие ограждения не могут удержать автомобиль от падения с моста, высокой насыпи или ослабить удар о массивное неподвижное препятствие.

В Беларуси наибольшее распространение получили ограждения в виде сплошного железобетонного криволинейного бруса, устанавливаемого на бетонных столбах, и гибкие ограждения, устраиваемые из трех или четырех тросов, прикрепляемых к жестким стальным или бетонным стойкам.

Тросы натягивают при помощи анкеров, расположенных на концевых участках секции ограждения. Находят применение также ограждения в виде струнобетонных досок, укрепляемых на железобетонных стойках, и в виде массивных бетонных парапетов, способных удержать автомобиль на дороге при наезде его на ограждение.

На транспортных развязках устанавливаются также **ориентирующие ограждения**, которые не должны удерживать автомобиль от съезда с дороги, а должны ориентировать водителя о направлении дороги и поэтому делаются легкими в виде бетонных надолбов или перил.

Основные требования, предъявляемые к конструкции останавливающих ограждений, сводятся к тому, чтобы ограждения могли полностью поглощать энергию удара, при этом удар ограждения должен восприниматься не одним элементом, вошедшим в соприкосновение с автомобилем, а несколькими пролетами.

Ограждения должны плавно замедлять скорость автомобиля при наезде и отклонять его вдоль барьера, не отбрасывая назад в поток движущихся автомобилей. Центр тяжести ограждения должен находиться выше точки приложения удара. Высота ограждения должна позволить без повреждений удерживать низкие автомобили и не вызывать опрокидывания

высоких автомобилей. Ограждения не должны вызывать значительных повреждений наехавших автомобилей, минимально повреждаясь при этом сами.

Наблюдения, проведенные за траекторией движения автомобилей по съездам транспортных развязок, показали, что в начале и в конце съездов, описанных малыми радиусами, автомобили выезжают с проезжей части на правую обочину, а в середине съездов – на левую. *Поэтому установку ограждений барьерного типа следует производить на тех участках съездов, которые имеют высоту насыпи более 3 м и описаны небольшими радиусами в плане.*

Барьерные ограждения устанавливаются с наружной стороны криволинейных съездов на расстоянии 0,75 м от бровки земляного полотна. В начале съездов, расположенных на путепроводе и на самих путепроводах, ограждения устанавливаются с обеих сторон. Часто бывает полезно аналогичные ограждения устанавливать на разделительной полосе при ширине не менее 12 м. Для предотвращения наезда транспорта на опоры путепроводов и мачты освещения, расположенные на разделительной полосе, их также следует ограждать.

Ориентирующие ограждения в виде сигнальных столбиков следует предусматривать на прямолинейных участках съездов при высоте насыпи от 2 до 3 м и на криволинейных участках съездов, имеющих высоту насыпи от 1 до 3 м. Расстояние между сигнальными столбиками принимается в соответствии с СТБ 1300-2002 «Технические средства организации дорожного движения».

Дорожные знаки устанавливаются в соответствии с СТБ 1140-99 «Знаки дорожные. Общие технические условия» и СТБ 1300-2002 «Технические средства организации дорожного движения».

Современные транспортные развязки могут иметь сложную схему, занимать большую площадь, располагаться на пересеченном рельефе и потому водитель, как правило, не может видеть всей транспортной развязки и не всегда может правильно выбрать нужное направление. В этом случае особое значение приобретает оборудование транспортных развязок дорожными знаками.

В поперечном сечении дороги знаки следует располагать таким образом, чтобы обеспечивалось необходимое время для их прочтения без снижения скорости и излишнего напряжения зрения, чтобы плоскость расположения знака обеспечивала максимальную их освещенность в ночное время, а сами знаки не закрывали друг друга. На транспортных развязках не должно быть лишних знаков; количество их должно определяться строгой необходимостью, а расположение по мере приближения к транспортной развязке должно быть последовательным, т. е. сначала установлены указательные знаки, затем предупреждающие, предписывающие и, наконец, запрещающие. **Размещение знаков на транспортных развязках зависит от вида развязки в плане и поэтому расстановка знаков в каждом случае должна решаться индивидуально.**

Сложная схема транспортной развязки может привести к замешательству водителя в выборе правильного направления, что приведет к снижению скорости или даже к остановке транспорта в пределах транспортной развязки. Поэтому за 800-1000 м до подъезда к транспортной развязке должен быть установлен дорожный знак с указанием направления движения. За 400-500 м до начала переходной-скоростной полосы устанавливают знак со схемой движения и допустимой скоростью на съездах. Непосредственно у съездов размещают знаки, указывающие направление движения по данному съезду. Для подтверждения в правильности дальнейшего движения в конце транспортной развязки устанавливают указатели расстояний до пунктов следования.

Пример оборудования транспортной развязки дорожными знаками показан на рис. 31.87.

На многополосных дорогах перед съездами могут быть установлены подвесные указатели. Перед съездом под путепровод должны располагаться габаритные ворота. Дорожные знаки, устанавливаемые в пределах транспортных развязок на обочинах, должны иметь рефлектирующую поверхность. Схема расстановки дорожных знаков должна разрабатываться в проекте транспортной развязки, при этом очень важно, чтобы каждый знак на любой транспортной развязке устанавливали на одном и том же месте, это позволит сэкономить время водителей на отыскание знака и избежать неправильного их толкования.

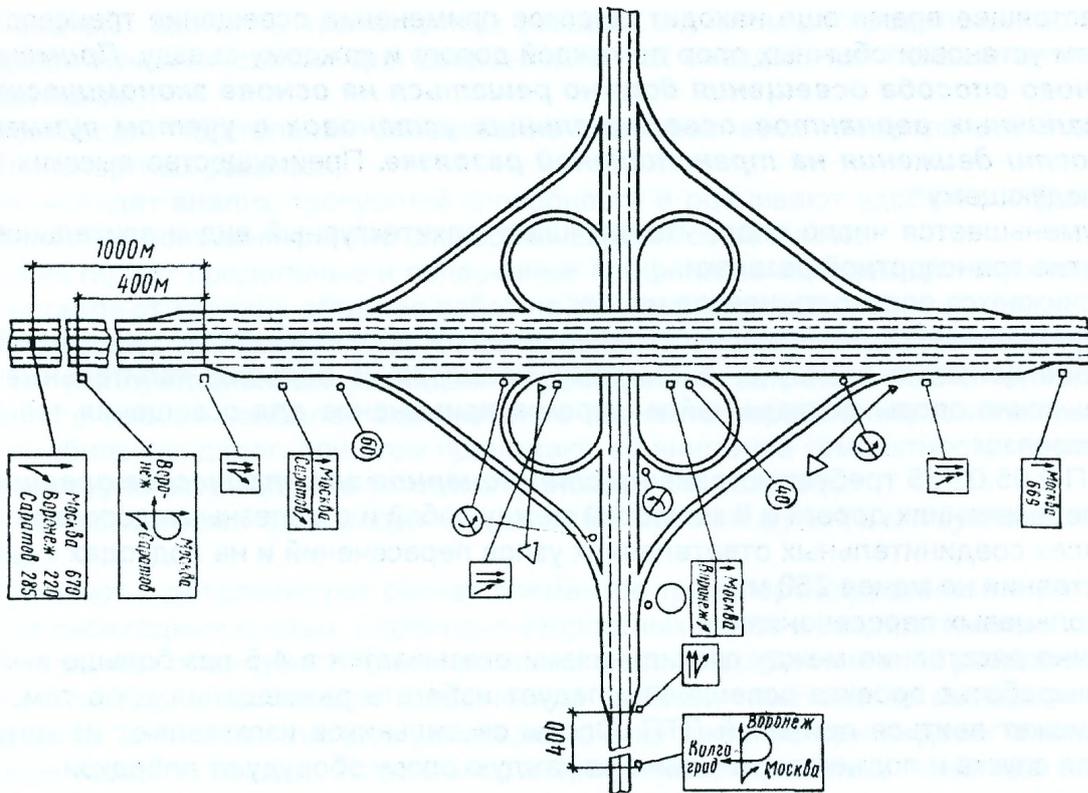


Рис. 31.87. Схема расстановки знаков на транспортной развязке по типу клеверного листа

Освещение. Транспортные развязки обычно состоят из системы съездов, часто располагаемых на кривых малых радиусов. Они включают в себя переходно-скоростные полосы, путепроводы и часто занимают большие площади земли, поэтому электроосвещение их является необходимой и сложной задачей. Задача усложняется еще и тем, что в зоне транспортной развязки иногда располагаются автобусные остановки, пешеходные переходы, автозаправочные станции, станции технического обслуживания автомобилей и т. д. В зарубежных странах, например в Бельгии, в настоящее время освещены все транспортные развязки. Капитальные вложения в эксплуатационные расходы, связанные с освещением транспортных развязок, окупаются в течение 4 лет. Исследования показали, что транспортные развязки следует освещать полностью, причем наиболее эффективным способом освещения считается способ с использованием высоких опор. Светильники, подвешенные на высоте 30-40 м, позволяют освещать большие площади при минимальном количестве опор.

На рис. 31.88 показана схема освещения транспортной развязки по типу клеверного листа, из которой видно, что при высоте опор 9,5 м для освещения пересечения их потребуется 121 шт., а при использовании высоких опор их потребуется в 10 раз меньше, т.е. 12 шт.

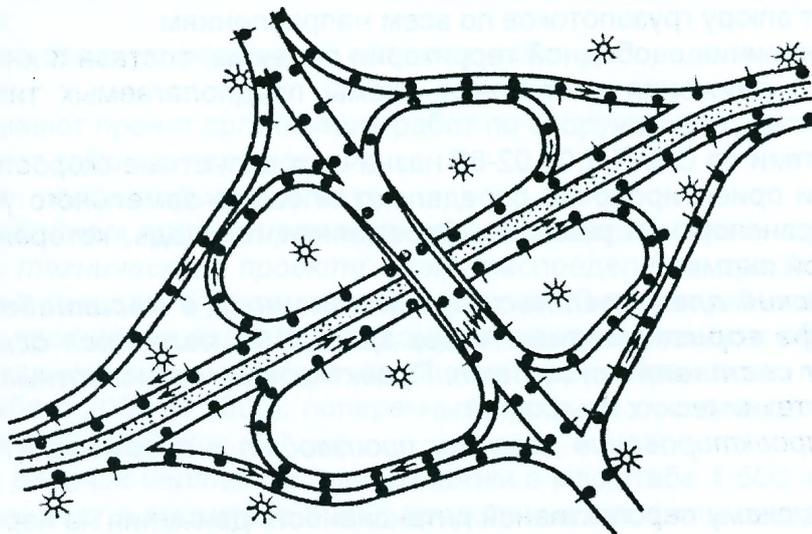


Рис. 31.88. Схема размещения светильников по транспортной развязке по типу клеверного листа

В настоящее время еще находит широкое применение освещение транспортных развязок путем установки обычных опор по каждой дороге и каждому съезду. **Применение того или иного способа освещения должно решаться на основе экономического сравнения различных вариантов осветительных установок с учетом суммарной интенсивности движения на транспортной развязке.** Преимущество высоких опор сводится к следующему:

- уменьшается число опор, что улучшает архитектурный вид и зрительное восприятие транспортной развязки;
- снижается опасность наезда на них;
- увеличивается равномерность освещенности проезжей части, уменьшается слепящее действие ламп и т. д. Поэтому, несмотря на большие капитальные затраты, высокие опоры должны найти широкое применение для освещения транспортных развязок.

СНиП 2.05.02-85 требует устраивать **стационарное электрическое освещение** на:

- пересечениях дорог I и II категорий между собой и с железными дорогами;
- всех соединительных ответвлениях узлов пересечений и на подходах к ним на расстоянии не менее 250 м;
- кольцевых пересечениях.

Обычно расстояние между светильниками оказывается в 4-5 раз больше высоты мачты. При разработке проекта освещения следует избегать размещения опор там, где установка их может явиться причиной ДТП. Опоры светильников изготовляют из металла или бетона. Для спуска и подъема светильников каждую опору оборудуют лебедкой.

31.13. Последовательность проектирования транспортных развязок

Отдельно проект транспортной развязки обычно не делают. Он входит в состав технического проекта дороги. Если дорогу проектируют в две стадии, то и проектную документацию по транспортной развязке выполняют в две стадии. Однако при реконструкции существующего пересечения дорог в одном уровне может возникнуть необходимость в специальном проектировании только транспортной развязки. В этом случае на строительство транспортной развязки составляют технорабочий проект. В особо сложных условиях проектирования и строительства и сложной схеме самой транспортной развязки проект ее можно выполнять в две стадии.

Независимо от сложности транспортной развязки, размеров движения и категорий пересекающихся дорог последовательность их проектирования не изменяется.

Перед началом проектирования производят подготовительные работы:

- по топографической карте масштаба 1:10000 изучают местность предполагаемого объекта строительства транспортной развязки. При этом обращают внимание на места, которые могут повлиять на выбор типа транспортной развязки;
- определяют точку примыкания или пересечения автомобильных дорог, измеряют угол, под которым пересекаются дороги;
- составляют эпюру грузопотоков по всем направлениям;
- исходя из наличия свободной территории рельефа, состава и интенсивности левоповоротного движения составляют схемы предполагаемых типов транспортных развязок;
- в соответствии со СНиП 2.05.02-85 назначают расчетные скорости, геометрические элементы и ориентировочно определяют площадь земельного участка, необходимую для транспортной развязки. Определяют площадь, которая подлежит тахеометрической съемке.

Топографический план местности, выполненный в масштабе 1:1000 (1:2000) и с сечением рельефа горизонталями через 1,0 (2,0) м, является основным документом, по которому составляют проект. Проектировать транспортные развязки должны после проведенных технических изысканий.

Вариантное проектирование развязки производят в следующей последовательности:

- составляют схему перспективной интенсивности движения на пересечении;

- намечают варианты транспортных развязок с учетом распределения потоков, создавая лучшие условия для движения на тех съездах, где больше интенсивность движения;
- производят тщательное обоснование размеров всех геометрических элементов транспортных развязок;
- производят анализ пропускной способности и оценивают удобство и безопасность движения всех конкурентно способных вариантов развязок;
- проектируют продольные и поперечные профили по съездам для всех вариантов и составляют таблицу объемов работ по каждому варианту;
- производят технико-экономическое сравнение вариантов по строительной стоимости, эксплуатационным расходам и приведенным затратам, после чего решают вопрос о выборе наиболее экономичного варианта пересечения или примыкания автомобильных дорог, при этом принимают во внимание компактность, простоту и архитектурно-эстетические качества транспортных развязок.

Выбранный вариант транспортной развязки проектируют в следующей последовательности:

- уточняют и детализируют расчет элементов транспортной развязки с учетом наличия переходных кривых, переходно-скоростных полос и разделительных полос;
- составляют план транспортной развязки в осях с указанием всех размеров;
- на этом плане производят графическую разбивку пикетажа на съездах и основных дорогах, а пикетаж съездов увязывают с пикетажом основных дорог в конце и в начале каждого съезда. Правильность графической разбивки пикетажа на съездах контролируют аналитическим подсчетом пикетажа в соответствии с расчетной длиной каждого съезда;
- проектируют продольные профили съездов и основных пересекающихся дорог, причем отметки поверхности земли для продольных профилей съездов определяют по плану в горизонталях, а основных дорог – по данным геометрического нивелирования (в начале и в конце каждого съезда проектные отметки и продольные уклоны съездов и основных дорог на участке совмещенного движения должны совпадать);
- проектируют поперечные профили съездов и основных дорог с вычерчиванием их для всех характерных мест транспортной развязки;
- оформляют генеральный план транспортной развязки, на котором отражается: ширина земляного полотна, проезжей части и разделительных полос, величина насыпей и выемок, наличие переходно-скоростных полос, путепроводов, водопропускных сооружений, площадок для остановки автобусов и т. д.;
- составляют проекты путепроводов, электрического освещения планового и высотного обоснования для разбивки элементов развязки и контроля в процессе строительства;
- намечают схему оборудования транспортной развязки дорожными знаками и ограждениями;
- составляют сводную ведомость объемов работ и определяют сметную стоимость развязки;
- разрабатывают проект организации работ по сооружению транспортной развязки;
- проектируют рабочие чертежи;
- составляют пояснительную записку.

При двухстадийном проектировании проект развязки должен содержать:

а) на стадии технического проекта: схему распределения транспортных потоков по основным дорогам и съездам с учетом перспективы на 20 лет; варианты транспортных развязок; продольные профили съездов по каждому варианту; ведомости объемов работ по каждому варианту; технико-экономическое сравнение вариантов; план принятого варианта развязки в масштабе 1:2000 (1:1000); поперечные профили съездов для всех характерных мест в масштабе 1:1000 (1:500);

б) на стадии рабочих чертежей: план развязки в масштабе 1:500; поперечные профили для характерных мест в масштабе 1:200; продольные профили съездов (обычно выполняются в масштабе плана); конструктивные чертежи ограждений; конструкции дорожных одежд; вертикальную планировку поверхности земли для обеспечения водоотвода с терри-

тории транспортной развязки; конструкции переходно-скоростных полос; конструкции укрепления обочин и откосов земляного полотна; вертикальную планировку земляного полотна съездов и основных дорог с отметками по оси и кромкам проезжей части и по бровкам земляного полотна; конструктивные чертежи водопропускных труб и лотков с привязкой в плане и профиле; конструкции дорожных знаков и схема их расстановки; разбивочные чертежи съездов в плане, привязанные к геодезической разбивочной сети в масштабе 1:1000 (1:500).

При **одностадийном проектировании** в состав технорабочего проекта транспортной развязки включают: план транспортной развязки; продольные и поперечные профили по съездам; конструкции дорожных одежд; ведомости объемов работ и разбивочные чертежи.

Разбивочные чертежи в любом случае составляют либо для каждого съезда отдельно, либо для ограниченного участка всей транспортной развязки. В последнем случае вся транспортная развязка условно делится на несколько частей, для каждой из которых составляют разбивочные чертежи. Например, Т-образное примыкание можно разбить на три части, для каждой из которых составляют отдельный разбивочный чертеж (рис. 31.89).

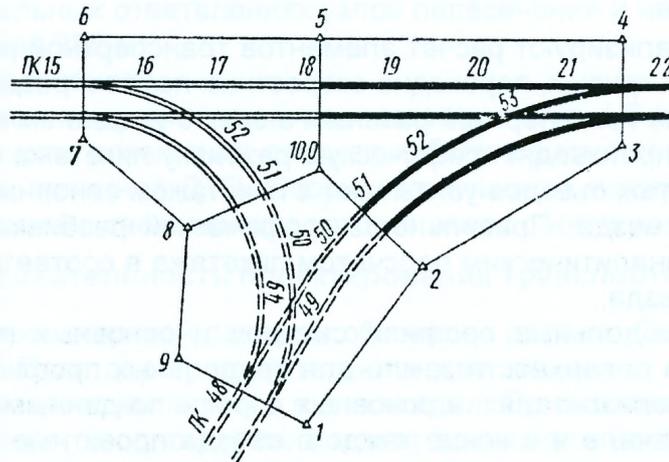


Рис. 31.89. Схема деления транспортной развязки для составления разбивочных чертежей

На разбивочных чертежах должны быть:

- указаны пикетаж основных дорог и каждого съезда;
- привязка осей полос движения основных дорог и съездов к опорной сети;
- подсчитаны и указаны численные значения разбивочных координат для каждого съезда и для каждой полосы основных дорог.

Для детальной разбивки покрытия в вертикальной плоскости составляют разбивочные чертежи либо для каждого съезда отдельно, либо для какой-то части транспортной развязки (рис. 31.90).

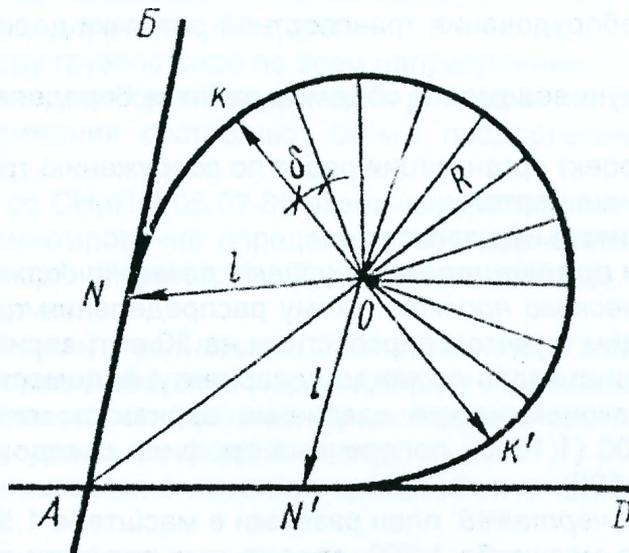


Рис. 31.90. Разбивка съезда полярным способом

В последнем случае транспортную развязку делят на несколько частей, причем на каждом разбивочном чертеже, выполненном в крупном масштабе, необходимо отдельно вычертить всю транспортную развязку в мелком масштабе, где выделить ту часть развязки, для которой представлен разбивочный чертеж. Это необходимо делать для взаимной увязки отдельных разбивочных чертежей. На этой же схеме показывают расположение государственных и рабочих реперов опорной сети.

На разбивочном чертеже показывают ширину проезжей части съездов и основных дорог, ширину разделительных и переходно-скоростных полос, обочин и т. д. Также через каждые 20-25 м выписывают проектные отметки всех элементов земляного полотна в поперечном профиле. На рис. 31.91 показан пример разбивки части транспортной развязки в вертикальной плоскости, при этом отметки рельефа местности во внимание приняты не были.

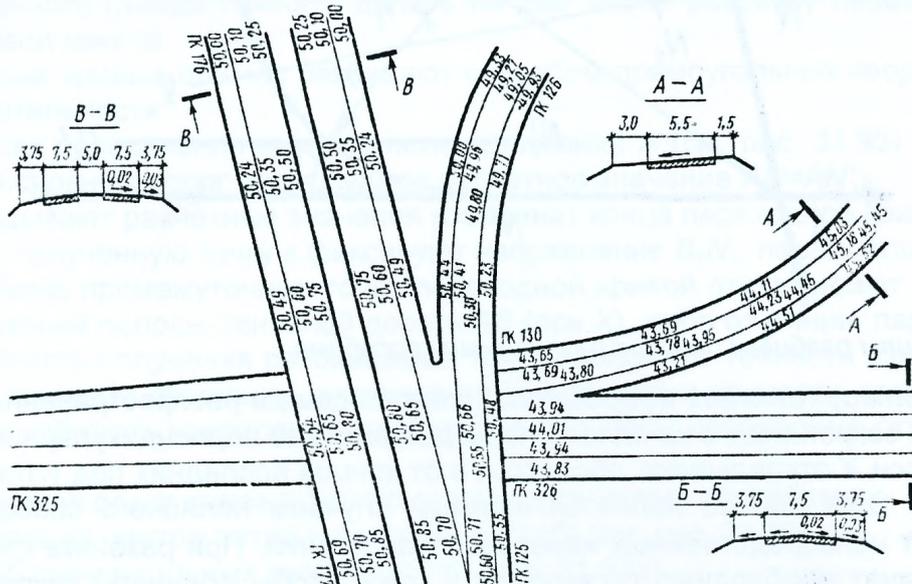


Рис. 31.91. Пример вертикальной планировки

Проектные отметки по бровке земляного полотна основных дорог и по оси съездов выписывают с соответствующих продольных профилей, все другие проектные отметки вычисляют в зависимости от величины поперечных уклонов и ширины элементов земляного полотна в поперечном профиле.

При **разбивке развязок** находят широкое применение способы полярных и прямоугольных координат, угловых и линейных засечек и др. Выбор того или иного способа зависит от многих факторов: рельефа местности, вида транспортной развязки и ее размеров, способа производства работ, стадии строительства и т. д. Выбранный способ разбивки должен быть экономичным и удобным для выполнения и должен обеспечить требуемую точность.

Исходными материалами для составления разбивочных работ служат:

- план транспортной развязки;
- проектные продольные и поперечные профили основных дорог и съездов;
- чертежи путепроводов, переходно-скоростных полос, автобусных остановок, автопавильонов.

Способ полярных координат оправдал себя при разбивке сооружений криволинейного очертания, например, при разбивке левоповоротных съездов на узлах, устраиваемых по типу клеверного листа.

Опытная разбивка полярным способом левоповоротного съезда транспортной развязки с измерением расстояний дальномером показала, что предельная ошибка положения оси съезда относительно центра не превысила ± 5 см при $R=75$ м, это соответствует относительной ошибке 1/1500.

Полярный способ заключается в том, что от центра 14 (рис. 31.92) откладывают требуемое расстояние R до точки k' под заданным к исходному направлению углом ψ_1 . Точка 14 является **опорной точкой**, для которой расстояние от другой опорной точки 5 определяют точнее, чем расстояние до точки k' . Положение каждой точки получается независимо от другой, поэтому накопление ошибок измерения происходить не будет.

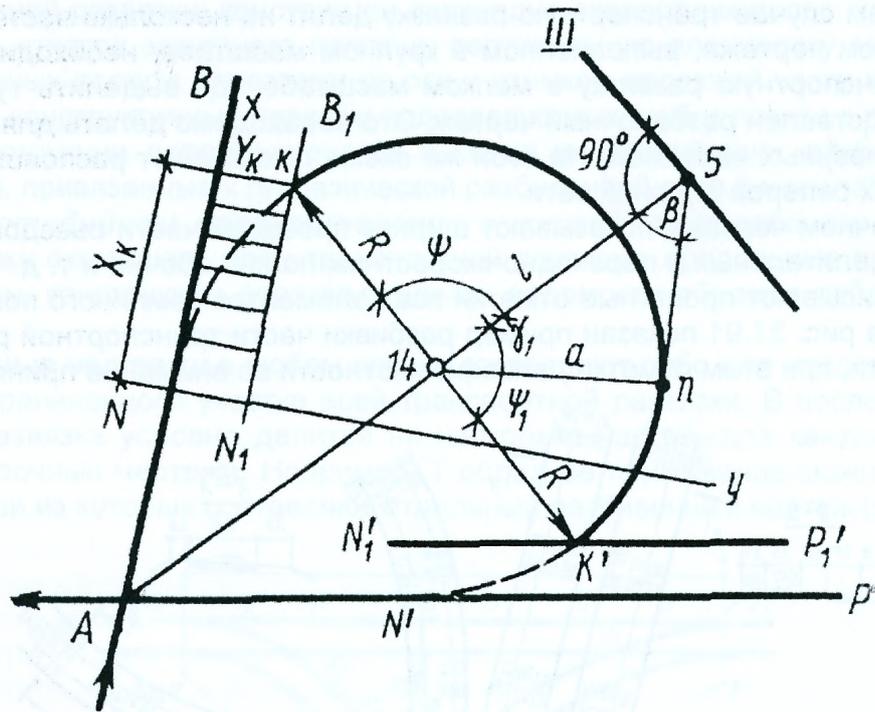


Рис. 31.92. Принципы разбивки съездов различными способами

Способ прямоугольных координат является самым распространенным. На местности разбивают и закрепляют в качестве опоры две взаимно перпендикулярные оси. Для разбивки точек по оси X откладывают абсциссы, а от концов последних под углом 90° откладывают ординаты. Этот способ является частным случаем полярного способа, когда угол $\alpha=90^\circ$, и требует непосредственных измерений расстояний. При разбивке способом прямоугольных координат необходимо стремиться к тому, чтобы ординаты откладывали от тех осей, от которых длина ординат будет меньше (рис. 31.93 оси BN или B_1N_1).

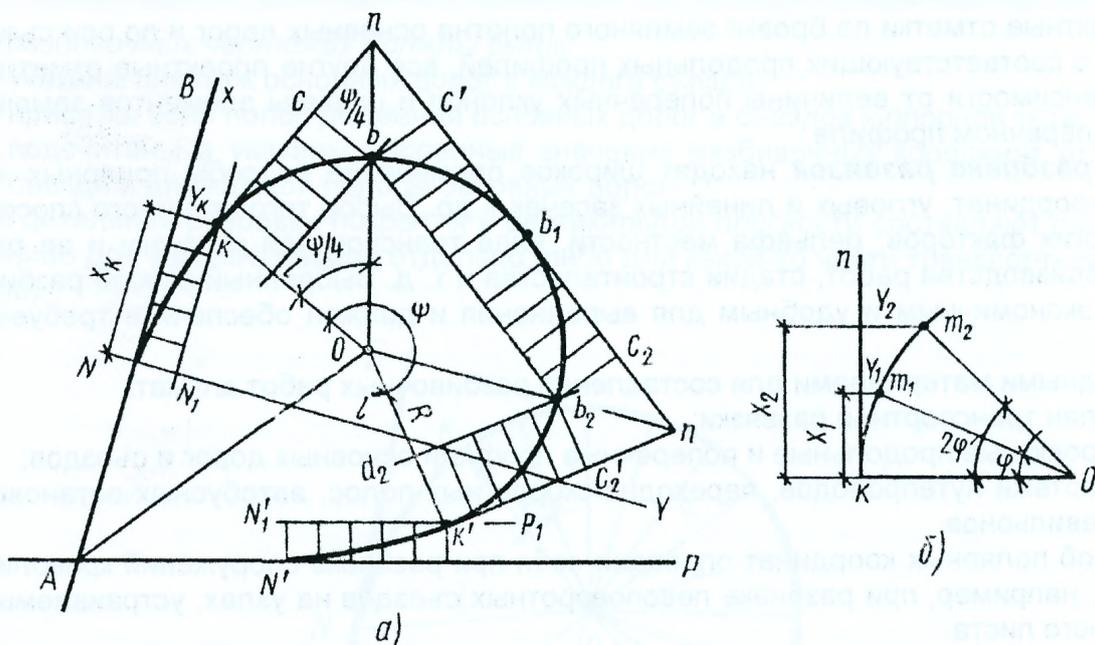


Рис. 31.93. Разбивка съезда способом прямоугольных координат

Способ угловых засечек находит широкое применение при разбивке высоких насыпей, опор мостов, а также в тех случаях, когда разбиваемые точки расположены на значительном удалении от опорной сети, а непосредственное измерение произвести затруднительно из-за наличия местных препятствий. Способ угловых засечек состоит в том, что положение разбиваемой точки получают путем построения от линии, соединяющей две опорные точки 14 и 5 (см. рис. 31.92) вычисленных углов γ и β . На пересечении полученных двух направлений находят искомую точку n .

Положение разбиваемой точки n при использовании **способа линейных засечек** (см. рис. 31.92) определяют расстоянием a и l , одновременно откладываемых от опорных точек 14 и 5. Следовательно, каждое из откладываемых расстояний не может превышать длины мерного прибора. Отсюда следует, что широкое применение этого способа ограничено необходимостью иметь небольшие расстояния от опорной сети до разбиваемых точек, а также тем, что в условиях строительства не всегда имеется возможность точного измерения длин сторон для линейных засечек.

Разбивка левоповоротных съездов. Левоповоротный съезд узла, проектируемый по типу клеверного листа, состоит из двух переходных кривых (в начале и в конце съезда) и круговой вставки между ними, которая может состоять из круговой кривой одного радиуса или из нескольких круговых кривых разных радиусов (коробовая кривая). В силу изложенного разбивку данного съезда принято делить на две части: разбивку переходных кривых и разбивку круговой кривой.

Переходные кривые обычно разбивают способом прямоугольных координат в следующей последовательности:

- из точки пересечения крайних полос движения A (см. рис. 31.93) по направлению осей основных дорог откладывают расчетное значение $AN=AN'$;
- откладывают расчетные значения координат конца переходной кривой X_k и Y_k ;
- через полученную точку k фиксируют направление B_1N_1 , параллельное оси X .

При разбивке промежуточных точек переходной кривой откладывают текущие координаты от оси крайней полосы основной дороги AB (ось X), либо от линии, параллельной этой оси (B_1N_1). Точность получения разбиваемых точек зависит от точности измерения расстояний по оси X , точности фиксации инструмента над точкой и точности отложения угла 90° . Для того чтобы избежать накопления ошибок, все абсциссы необходимо откладывать от начала N .

Разбивку круговых кривых можно производить двумя способами:

- разбивка из центра петли (полярный способ) (см. рис. 31.90);
- способ прямоугольных координат (см. рис. 31.93а).

В пояснительной записке к проекту транспортной развязки должны быть:

- приведены схемы вариантов транспортных развязок и сделано описание преимуществ и недостатков каждого варианта;
- произведен расчет всех элементов съездов, определены все размеры транспортной развязки;
- произведено технико-экономическое сравнение конкурирующих вариантов;
- определен срок окупаемости выбранного варианта.

Также в пояснительной записке освещаются вопросы проектирования выбранного варианта в плане и профиле, решаются вопросы вертикальной планировки, инженерного оборудования, гражданской обороны и охраны природы. Намечаются мероприятия по обеспечению безопасности движения. Пояснительная записка должна включать ведомости земляных и укрепительных работ, искусственных сооружений, снятия растительного слоя, рубки и корчевки леса, инженерного оборудования, виражей.

31.14. Сравнение вариантов транспортных развязок

Для проектирования вариантов транспортных развязок необходимо знать:

- распределение интенсивности движения по направлениям;
- категории пересекающихся дорог;
- особенности местных условий (рельеф, характер застройки придорожной полосы, ценность земель и пр.).

В зависимости от этих исходных данных рассматривается несколько схем развязок.

При пересечении дорог с *невысокой интенсивностью движения* (III-IV категории) сравнивают, как правило, варианты **неполных транспортных развязок**, планировка которых должна обеспечивать пересечение траекторий движения автомобилей в одном уровне на дороге более низкой категории.

При *высокой интенсивности движения* на пересекающихся дорогах в качестве вариантов рассматривают **полные транспортные развязки** – «клеверный лист» различных

планировок, кольцевые развязки, развязки с полупрямыми или прямыми левоповоротными съездами.

На транспортных развязках наиболее трудно организовать левоповоротное движение. В связи с этим, сравнивая варианты, особое внимание уделяют выбору *типа левоповоротных съездов*, имеющих наибольшую интенсивность движения.

На транспортных развязках **наилучшие условия необходимо создавать для дороги более высокой технической категории**. Такие условия создаются при:

- проложении дороги более высокой категории под путепроводом;
- разделении главной дороги и переходно-скоростных полос разделительной полосой;
- соблюдении принципов канализирования движения с помощью островков и разметки проезжей части.

Сравнивая варианты развязок, учитывают, насколько полно в той или иной планировке отражены **следующие требования**:

- единообразии входа на левоповоротные съезды развязок, расположенных на одной дороге, например расположение входа на съезд на участках перед путепроводом (рис. 31.94);

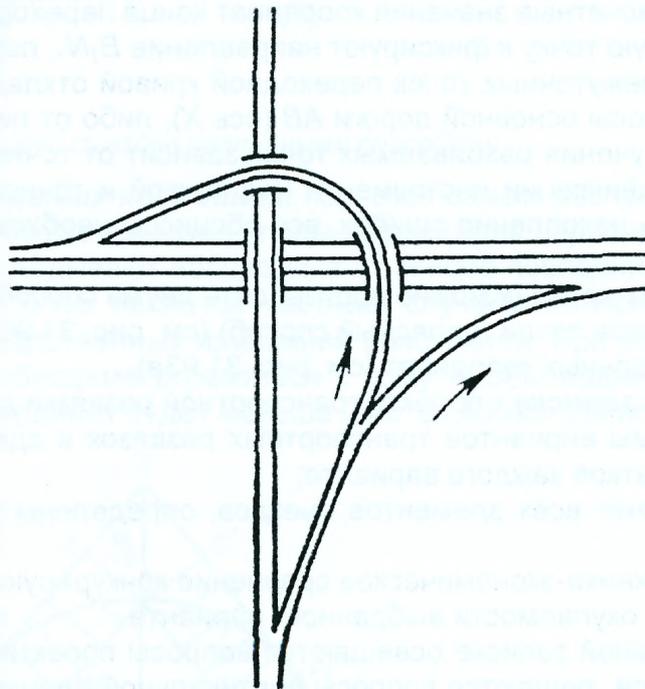


Рис. 31.94. Пример вариантов пересечений в разных уровнях с единообразным расположением входа на левоповоротные съезды

- соблюдение принципа стадийности строительства, размещение съездов с учетом перспективного строительства дополнительных съездов или полос движения;
- использование способа отдельного трассирования полос движения в пределах развязки для более плавного вписывания в ландшафт и удобного сопряжения съездов с пересекающимися дорогами;
- проектирование при необходимости путепроводов криволинейных в плане с целью создания съездов плавного очертания без прямых вставок;
- обеспечение требований безопасности движения при конструировании и расположении элементов путепровода;
- устройство единого съезда для правого и левого поворотов (рис. 31.95);
- проектирование съездов развязок для левых поворотов без прямых вставок (рис. 31.96);
- устройство участков разгона, торможения и маневрирования на переходно-скоростных полосах параллельно оси главной дороги;
- обеспечение достаточных расстояний видимости участка входа на съезды и переходно-скоростных полос.

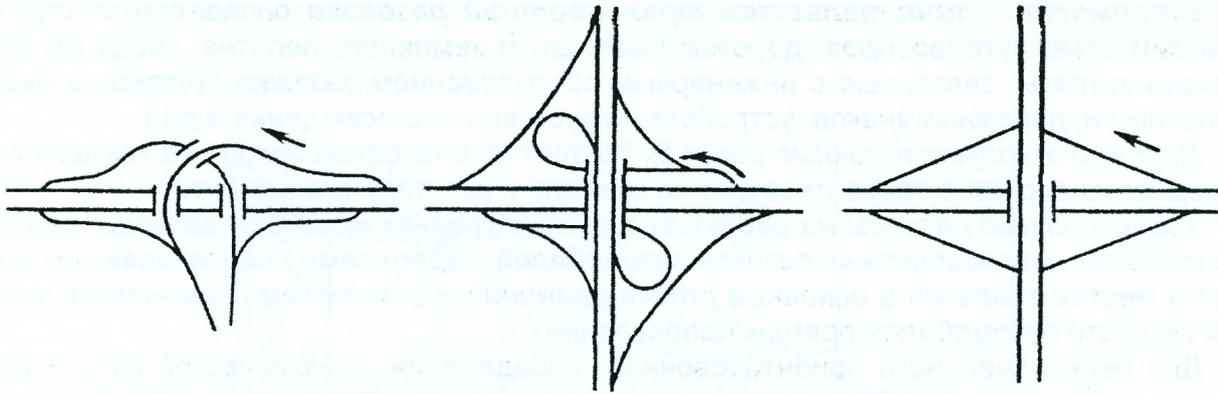


Рис. 31.95. Устройство единого выезда с дороги для левого и правого поворотов

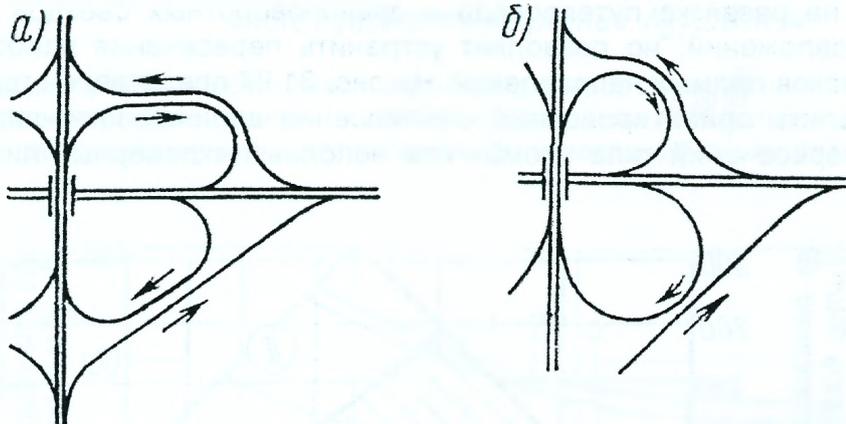


Рис. 31.96. Пример исключения прямых вставок из планировки левоповоротных съездов пересечения «клеверный лист»: а – планировка с прямыми вставками; б – без прямых вставок

Основными технико-экономическими показателями сравнения вариантов развязок являются:

- площадь земли, занимаемая развязкой;
- степень безопасности и удобства движения;
- пропускная способность;
- сумма приведенных затрат.

Степень безопасности движения на развязках в разных уровнях определяется количеством и характером конфликтных точек, интенсивностью движения по главной дороге и съездом. На полных транспортных развязках конфликтные точки возникают при слиянии и разделении потоков движения, на неполных развязках дополнительно появляются точки пересечения потоков.

На транспортных развязках понятие «удобство движения» распространяется на все направления движения. Для автомобилей прямого направления удобство движения заключается в отсутствии влияния на их скорость и траекторию поворачивающих автомобилей или элементов развязки. Для поворачивающих – в обеспечении плавности снижения скорости, продолжительности совершения поворотов, отсутствии резких изменений направления движения в процессе маневра.

При оценке **пропускной способности развязок**, складывающейся из пропускной способности съездов и пересекающихся дорог, рассматривают практическую пропускную способность, учитывают влияние различной загрузки пересекающихся дорог и съездов на скорость и удобство движения. Приемлемым уровнем загрузки можно считать интенсивность движения по съезду, не превышающую 30-40% от его пропускной способности при отсутствии переходно-скоростных полос и 50-60% при их наличии. При возрастании интенсивности движения выше указанных величин резко ухудшаются условия движения по главной дороге, а на съездах образуются очереди автомобилей значительной длины.

Сумма приведенных затрат складывается из строительной стоимости, дорожно-эксплуатационных и транспортных расходов за расчетный период, а также потерь от дорожно-транспортных происшествий за тот же период.

Стоимость строительства транспортной развязки определяется строительной стоимостью путепроводов, дорожной одежды и земляного полотна. Сюда же следует включать затраты, связанные с инженерным оборудованием развязок (установка барьеров безопасности, дорожных знаков, устройство искусственного освещения и др.).

Дорожно-эксплуатационные расходы состоят из ежегодных затрат на текущий ремонт и содержание дороги, а также из затрат на средние и капитальные ремонты.

Транспортные расходы на развязках в разных уровнях включают расходы, вызванные перепробегом левоповоротных потоков автомобилей, задержками поворачивающих автомобилей в местах вливания в основные потоки движения и возможным снижением в зоне развязки скорости автомобилей прямых направлений.

Для первоначального ориентировочного определения экономической эффективности развязок используют **графики областей применимости различных типов съездов и переходно-скоростных полос**.

Устройство на развязке путепровода и правоповоротных съездов требует дополнительных капиталовложений, но позволяет устранить пересечения наиболее интенсивных транспортных потоков прямых направлений. На рис. 31.97 представлен график, по которому возможно определить ориентировочные соотношения величин интенсивностей движения для устройства пересечений типа «ромб» или неполный «клеверный лист» без левоповоротных съездов.

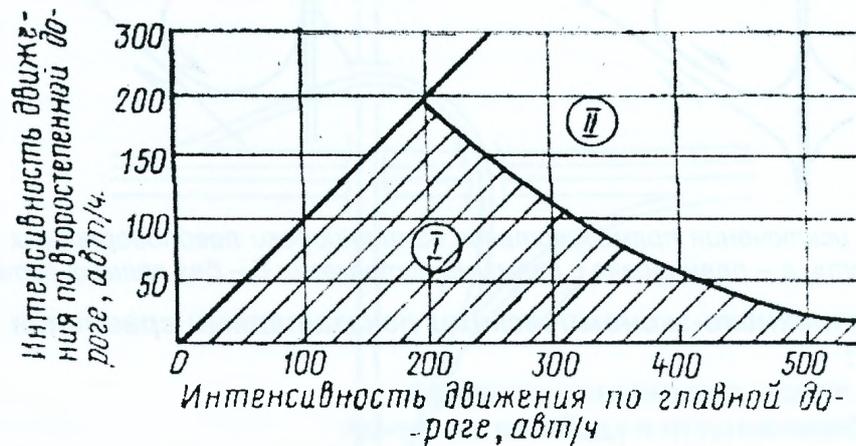


Рис. 31.97. Условия перехода к неполной транспортной развязке: I – канализированные пересечения в одном уровне; II – пересечение в разных уровнях типа «ромб»

Эффективность устройства пересечения типа «ромб» следует сравнивать с эффективностью канализированных пересечений как наиболее совершенных видов пересечений в одном уровне. Устройство таких развязок не исключает задержек автомобилей при выполнении левых поворотов, которые совершаются на участке второстепенной дороги с примыкающими к нему правоповоротными съездами развязки.

Одним из возможных решений устранения наиболее загруженного левого поворота на этом примыкании является устройство петли левоповоротного съезда развязки «клеверный лист». Выезд с петли на главную дорогу связан с вливанием в основной поток. Граничные промежутки времени при этом существенно меньше по сравнению с их величинами на канализированном примыкании правоповоротного съезда.

Диаграммы применимости петли левоповоротного съезда показаны на рис. 31.98 и 31.99. Устройство полос разгона для петли левоповоротного съезда связано с уширением путепровода, земляного полотна и проезжей части, требующих довольно больших дополнительных капиталовложений. В связи с этим строительство полос разгона для правоповоротных съездов, требующих меньших затрат, эффективно для более низких соотношений интенсивностей (граничная кривая 3 на рис. 31.99).

На полных пересечениях «клеверный лист», на которых переходно-скоростные полосы отделены от главной дороги, вливание автомобилей, выходящих с петель съездов, происходит в левоповоротный поток смежной петли (рис. 31.100). В связи с тем, что на подобных развязках устранены помехи движению автомобилей основного направления, область применимости их довольно обширна (рис. 31.101). Однако с ростом интенсивности левопово-

ротных потоков на пересекающихся дорогах появляется необходимость исключения их взаимодействия, чего можно добиться заменой петли прямым или полупрямым левоповоротным съездом (см. рис. 31.101).

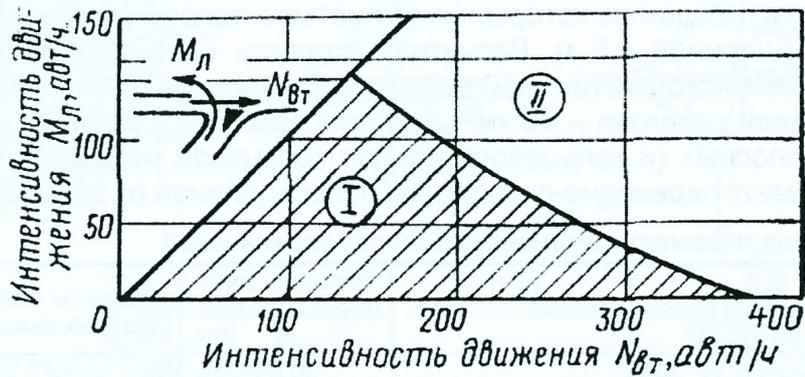


Рис. 31.98. Диаграмма применимости левоповоротного съезда пересечения «клеверный лист», не имеющего переходно-скоростных полос: I – левоповоротный съезд канализированного пересечения в одном уровне; II – левоповоротный съезд пересечения «клеверный лист» без полос торможения и разгона

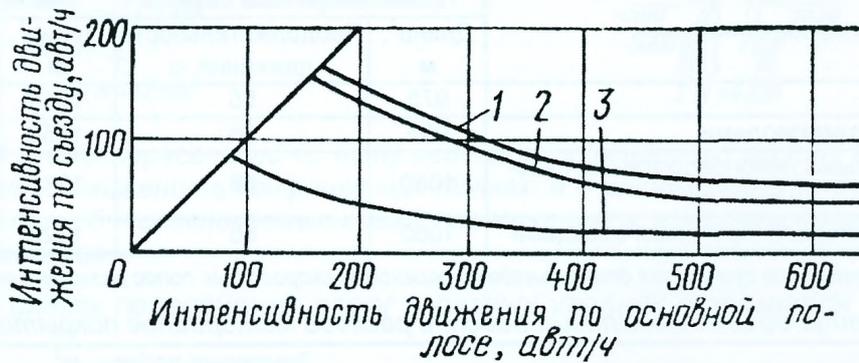


Рис. 31.99. Диаграмма применимости различных типов съездов с переходно-скоростными полосами: 1 – переходно-скоростные полосы левоповоротного съезда пересечения «клеверный лист»; 2 – переходно-скоростные полосы с разделительной полосой левоповоротного съезда пересечения «клеверный лист»; 3 – переходно-скоростные полосы с разделительной полосой правоповоротных съездов

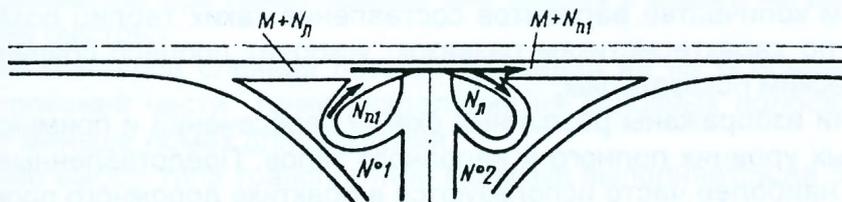


Рис. 31.100. Условия вливания левоповоротных автомобилей в основной поток на пересечении «клеверный лист» без переходно-скоростных полос

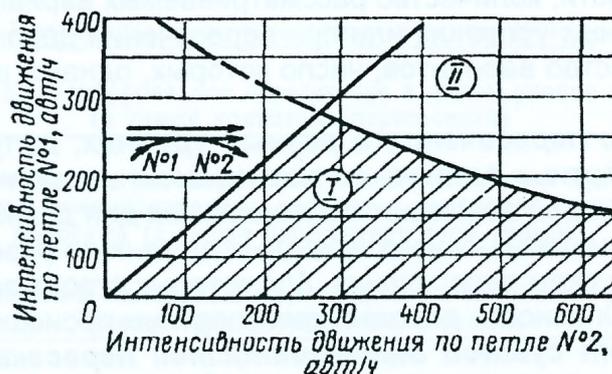


Рис. 31.101. Диаграмма применимости полупрямых левоповоротных съездов: I – левоповоротный съезд пересечения «клеверный лист»; II – полупрямой левоповоротный съезд

Для удобства сравнения различных вариантов развязок целесообразно составлять **сводные таблицы по отдельным показателям**.

Так, в табл. 31.23-31.25 в качестве примера представлены величины показателей, характеризующих развязки в разных уровнях на пересечении под прямым углом двух дорог в равнинной местности, каждая из которых имеет четыре полосы движения по 3,75 м и разделительные полосы шириной 4,5 м. Расчетная скорость всех правоповоротных съездов – 70 км/ч, петель «клеверного листа» – 50 км/ч, полупрямых – 60 км/ч, прямых – 70 км/ч, кольцевой части кольцевой развязки – 60 км/ч. Ширина земляного полотна однополосных съездов – 7,5 м, двухполосных (и кольцевого участка кольцевой развязки) – 11 м. Все сравниваемые развязки имеют переходно-скоростные полосы длиной от 90 до 230 м.

Таблица 31.23. Таблица параметров различных типов пересечений

Тип пересечения в разных уровнях	Площадь занимаемых земель, га	Радиусы левоповоротных съездов, м	Радиусы правоповоротных съездов, м
«Клеверный лист»	30,86	70	200
Кольцевое с пятью путепроводами	26,72	145 (радиус кольца)	240
С четырьмя полупрямыми левоповоротными съездами	17,38	130	180
С четырьмя прямыми левоповоротными съездами	20,64	138	200

Таблица 31.24. Таблица параметров съездов различных типов пересечений

Тип пересечения	Правоповоротные съезды		Левоповоротные съезды	
	Длина ¹ , м	Продолжительность движения, с	Длина ¹ , м	Продолжительность движения, с
«Клеверный лист»	975	55	1850	100
Кольцевое с пятью путепроводами	985	56	1450	86
С четырьмя полупрямыми левоповоротными съездами	1080	58	1215	67
С четырьмя прямыми левоповоротными съездами	1060	55	1120	58

Примечание. ¹Подразумевается суммарная длина съездов и переходно-скоростных полос разгона и торможения.

Таблица 31.25. Таблица объемов земляных работ и расхода материалов покрытия

Тип пересечения в разных уровнях	Земляные работы, м ³		Покрытие, м ²
	выемки	насыпи	
«Клеверный лист»	11900	114000	86500
Кольцевое с пятью путепроводами	54200	132600	98400
С четырьмя полупрямыми левоповоротными съездами	30700	400000	89300
С четырьмя прямыми левоповоротными съездами	46000	141500	88600

При большом количестве вариантов составление таких таблиц позволяет систематизировать данные по характеристикам развязок, ускоряет процесс сравнения по основным технико-экономическим показателям.

В приложении изображены различные схемы пересечений и примыканий автомобильных дорог в разных уровнях полного и неполного типов. Представленные варианты транспортных развязок наиболее часто используются в практике дорожного проектирования и могут явиться основой для разработки вариантов.

В случаях, когда пересекаются дороги низких категорий, а также при трассировании дорог в равнинной местности, количество рассматриваемых вариантов обычно не превышает пяти-шести. В стесненных условиях или при пересечении дорог высших категорий сравнивается большее количество вариантов, число которых, однако, не превышает обычно десяти-пятнадцати.

При выборе схемы пересечения в разных уровнях, допускающей пересечения в отдельных точках транспортных потоков, из всех возможных вариантов предпочтение следует отдать схеме, при которой возникает меньше помех для движения, а степень его безопасности выше. Для этой цели на основе исходных данных по разным направлениям намечают несколько вариантов схем пересечения, для которых строят **эпюры интенсивностей движения** (рис. 31.102). Опасность дорожно-транспортных происшествий и взаимных помех для движения **оценивают суммой интенсивностей пересекающихся потоков**. Чем меньше эта сумма, тем рациональнее схема пересечения.

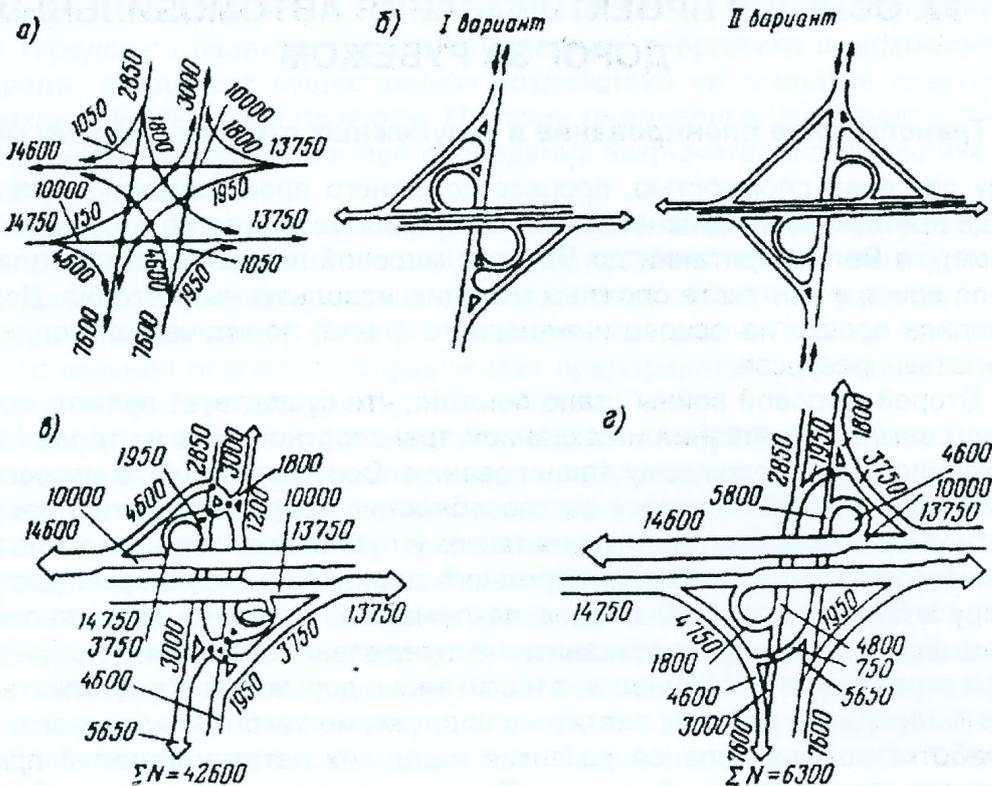


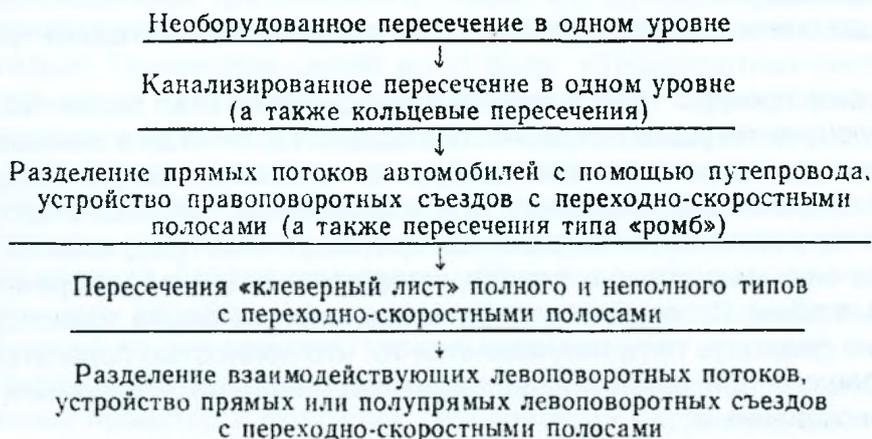
Рис. 31.102. Анализ схемы пересечений по типу неполного «клеверного листа» методом суммирования интенсивности движения в конфликтных точках: а – интенсивности движения по разным направлениям, авт./сут; б – сравниваемые схемы пересечения; в, г – схемы интенсивности движения по элементам съездов

При выборе схемы пересечения дорог в разных уровнях стремятся обеспечить следующие условия:

- 1) преимущественное удобство движения для основных транспортных потоков по интенсивности и значимости. Съезды с этих дорог предусматривают обязательно;
- 2) безопасность и плавность разделения транспортных потоков;
- 3) отсутствие переплетения потоков движения на полосах проезжей части, предназначенных для автомобилей, следующих транзитом. Медленные грузовые автомобили, едущие по правой полосе движения, при перестроении для съезда с дороги не должны пересекать путь движения более быстрых;
- 4) выполнение маневров слияния потоков движения не на основных, а на дополнительных полосах проезжей части. Точки разделения на основных полосах хотя и нежелательны, но создают меньше помех для движения.

В любом случае выбор типа транспортной развязки выполняется на основании технико-экономических расчетов.

Этапы совершенствования пересечений автомобильных дорог по мере роста интенсивности движения можно производить в следующей последовательности:



32. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЗА РУБЕЖОМ

32.1. Транспортное планирование в зарубежных странах (highway planning)

Наряду со своей сложностью, процесс дорожного планирования также относительно нов и все еще претерпевает изменения с точки зрения методологии и форм анализа.

Например, в Великобритании до Второй мировой войны дорожное планирование не существовало вовсе в контексте сложных методик, используемых сегодня. Дорожные решения принимались просто на основе инженерного опыта, политической поддержки и имеющихся финансовых ресурсов.

После Второй мировой войны стало понятно, что существует прямая взаимосвязь между развитием землепользования и созданием транспортной сети и что необходим гораздо более глубокий подход к дорожному планированию. Соответственно, с массовым развитием электронной компьютерной техники с ее способностью перерабатывать огромное количество транспортной информации, реализация такого углубленного подхода стала возможной.

Привлекательность тех методов дорожного планирования, которые распространились по всему миру в 50-х и начале 60-х годов, заключалась в акценте на прогнозирование «чисел». В таком виде они обещали устранить неопределенность в принятии решений по всей транспортной отрасли и, в особенности, относительно дорожного строительства.

Однако в городских районах взятие на вооружение такого «численного» подхода привело к разработке похожих планов развития городских автомагистралей практически для каждого крупного города Великобритании. Представление таких планов обычно сопровождалось ссылками на то, что городская жизнь полностью замрет, если эти планы не будут реализованы.

Однако, поскольку дорожные предложения обычно вынуждают вносить серьезные изменения в городскую структуру, а также требуют широкомасштабного сноса жилищ и социальных сред обитания многих жителей, они были встречены решительным противодействием.

В дополнение к растущему пониманию взаимосвязанности тех решений, которые принимаются по землепользованию, дорожному и общественному (автобусному и рельсовому) транспорту, явилась реализация в конце 60-х и начале 70-х годов положения об уделении большего внимания формулировке общих транспортных целей и политики, а также тому факту, что вопросы управления и организации транспорта являются дополнительными ключевыми факторами процесса транспортного планирования.

Таким образом, уже в недавние времена предложения по транспортному планированию получали больше внимания с точки зрения заключенных в них политических целей, а интегральные стратегии развития дорожного и общественного транспорта и его контроля и организации стали признанными средствами реализации таких концепций. Совпав по времени с этими изменениями в философском подходе к транспортному планированию, произошел значительный прорыв в трех других важных областях.

Во-первых, были значительно улучшены технические аспекты процесса планирования по мере того, как было достигнуто более глубокое понимание тех факторов, которые оказывают влияние на транспорт.

Во-вторых, до очень высокого уровня были разработаны методики транспортного моделирования.

В-третьих, сам процесс транспортного планирования стал более гибким, прагматичным и соответствующим текущим потребностям общества, он стал в меньшей степени зависеть от однозначных долгосрочных ответов. Другими словами, стало очевидно, что требуется постоянно меняющийся эволюционный или итеративный процесс, в котором акцент делается на разработку реальных, обоснованных краткосрочных предложений, а не идеализированных долгосрочных генеральных планов, которые никогда не будут реализованы.

Главным выводом, который может быть извлечен из опыта транспортного планирования за последние двадцать пять лет, является то, что полностью полагаться на тенденции прошлого и настоящего при принятии долгосрочных решений в дорожной области может оказаться очень рискованным.

Правительственные политические решения, касающиеся финансирования транспортных средств, городского развития, землепользования, энергетики и, возможно, защиты окружающей среды, оказывают существенное воздействие на принятие практических решений, касающихся транспортных проектов. Поэтому *инженерные суждения и здравый смысл* являются основными требованиями при проведении заключительного анализа и подготовке транспортных проектов.

Вне зависимости от того философского подхода, который доминирует в данный момент, общий процесс транспортного планирования остается, тем не менее, неизменным по своей сути. *Транспортное планирование представляет собой*, по существу, процесс выдачи информации, которая может быть использована специалистами по принятию решений для лучшего понимания последствий различных предпринятых действий. Нет различий ни для свободной рыночной, ни для командной экономик.

При транспортном планировании решаются следующие задачи.

1. Инвентарный учет существующих средств заключается в сборе информации о текущих физических и эксплуатационных характеристиках всех транспортных систем, которые попадают в зону исследования. Информация о транспортной системе, которая в отношении автомобильных дорог обычно собирается по принципу участков (обычно от одного крупного примыкания до другого), включает длины и классификации участков, эффективную ширину и пропускную способность проезжей части, время проезда в пиковые и непииковые транспортные периоды, уровень аварийности. В бывшем СССР инвентаризация дорожной информации велась в виде «паспортов дорог», которые являлись чрезвычайно ценным ресурсом для облегчения дорожного планирования. Однако, для того, чтобы такое планирование было эффективным, важно, чтобы информация в этих дорожных паспортах была самой свежей. Рабочая сила, которая требуется для корректировки вручную всех записей в дорожных паспортах, является значительной, поэтому существует настоятельная необходимость внедрения современных компьютерных баз данных, в которых такая информация может легко храниться, корректироваться и выдаваться для использования. Важным аспектом первого этапа исследования национальной сети дорог в Беларуси является создание компьютеризированной базы данных, которая способна накапливать не только данные из существующих дорожных паспортов, но также все необходимые данные, чтобы внедрить модель HDM (Highway Design and Maintenance Model) для экономической оценки.

2. Социально-экономические данные и информация о землепользовании. Источником такой информации часто являются карты землепользования, но, поскольку изменения в землепользовании происходят постоянно, необходимо также проводить полевые исследования для проверки того, что данные являются самыми свежими и надежными. Прогнозы будущего населения могут быть сделаны на основе принятых демографических критериев, касающихся размера семей и возрастного распределения их членов, уровней рождаемости и смертности, количества женщин в детородном возрасте, а также на основе миграционных данных по въезду и выезду из данной области.

3. Цели и задачи. Очень важно уже на ранних этапах процесса планирования наметить конкретные цели и задачи, которых призваны достичь транспортные планы и рекомендованные проекты. *Цель* может пониматься как расширенная и углубленная постановка идеального результата, который может быть и не достигнут, но который является желаемым оптимальным воплощением транспортного плана. Ее функцией является снабжение специалиста по планированию транспорта общими указаниями о тех направлениях, в которых он должен двигаться. Примерами целей могут быть: «Транспортная система должна удовлетворять потребностям населения в передвижении» или: «Транспортная система должна обеспечивать улучшенные возможности для развития». *Задачей* является более конкретная формулировка, которая определяет те средства, с помощью которых может быть достигнута цель, при этом задача может быть измерена. Например, та цель, что «транспортная система должна удовлетворять потребности населения в передвижении» может иметь следующие, связанные с ней задачи: «Модернизировать местные дороги, ведущие к основным рынкам региона», «Уменьшить «пробки» на основных магистралях». Определение целей и задач является критическим по той причине, что они формулируют критерии оценки, которые понадобятся на более поздних этапах процесса планирования для оценки относительного эффекта различных проектов и стратегий. Эти критерии часто называются мерами эффективности.

4. Выявление недостатков и возможностей. При транспортном планировании можно также выявить те области, в которых сегодня не существует значительных проблем, но внесение в которые системных изменений может создать дополнительные возможности для повышения эффективности эксплуатации. Имеется большое разнообразие методов, которые используются для выявления таких «узких мест» и возможностей. В некоторых случаях используются крупномасштабные модели транспортных сетей, с помощью которых можно оценить интенсивность транспорта в будущем и затем сравнить эту интенсивность с пропускными способностями сегодняшней сети дорог. Отношение интенсивности к пропускной способности (И/П) служит одним из наиболее важных способов выявления недостатков системы. Однако последние веяния в США привели к внедрению в транспортное планирование концепции мер оценки деятельности, которая гораздо шире, чем традиционный подход, связанный с оценкой отношения И/П и включает в себя более 20 параметров (средняя скорость в пути, среднее время, объем транспортного потока, показатель перегруженности дороги и т.п.).

5. Разработка и анализ вариантов. В настоящее время в ЕС существует широкое разнообразие вариантов решения транспортной проблемы: снижение потребности в перевозках за счет применения гибких рабочих часов, которые позволяют «растянуть» пиковые транспортные часы; использование платного проезда и запрещающих сигналов для ограничения доступа на автотрассы в пиковые часы, что также имеет эффект «растягивания» транспортной нагрузки в пиковые часы; увеличение средней загрузки автомобилей путем поощрения совместного пользования автотранспортом и создания автомобильных пулов; увеличение стоимости проезда за счет увеличения налогов или стоимости парковки. В недавнее время применение самых современных транспортных технологий (известных под названием «интеллектуальные транспортные системы») к эксплуатации дорожных систем стало важным стратегическим фактором во многих городах. Такие системы могут включать наблюдения за сетью дорог с использованием видеокамер и постоянного оборудования фиксации скорости транспортных средств. Такие системы, обслуживаемые из единого центра управления, часто включают управляемые электронные табло, которые дают водителям предупреждающую информацию об произошедших впереди авариях. Например, на кольцевой автотрассе «Периферик» вокруг Парижа демонстрационные табло, установленные поверх дорожных знаков, показывают, когда условия для движения являются благоприятными, а также, в периоды «пробок», показывают примерное время (в минутах), за которое можно добраться до наиболее важных транспортных развязок.

6. Оценка альтернативных вариантов. При оценке собирается вместе информация по отдельным проектам, после чего разрабатывается схема сравнения относительной пригодности этих вариантов. Такой процесс оценки должен базироваться на различных мерах эффективности, которые связаны с целями и задачами, сформулированными ранее в процессе планирования. Доходно-расходный параметр является мерой выявления наиболее экономически выгодного варианта путем оценки его в денежном выражении. Однако некоторые меры эффективности не могут быть подсчитаны, поэтому эффективная оценка должна включать другие способы представления всей необходимой информации.

7. Реализация плана. Основным итогом процесса транспортного планирования является *транспортный план*. Существенным элементом плана является программа реализации тех проектов, которые составляют сам план. Эта программа должна выявлять приоритетность проектов, что обычно выражается через понятие «внутренние ставки окупаемости» (ставка, при которой дисконтированные затраты равны прибылям). Она также должна определять необходимый бюджет по годам на весь плановый период.

8. Контроль за работой системы. Важно подчеркнуть, что реализация плана не является концом процесса планирования. Наоборот, транспортное планирование представляет собой процесс, который постоянно анализирует работоспособность и состояние транспортной системы, чтобы выявить те места, где могут быть сделаны дальнейшие усовершенствования. Поэтому, для выявления таких мест, куда можно внести изменения, необходимы определенные средства за контролем работоспособности системы. *Системный мониторинг* традиционно базировался на интенсивности транспорта, данные о которой приходили с различных счетных точек, расположенных в стратегических узлах сети. Например, во многих странах в настоящее время внедрены системы управления дорожными покрытиями, которые постоянно следят за состоянием дорожной одежды, предсказывают вероятные разру-

шения и оценивают сроки ремонта и реконструкции. Другие системы управления, используемые в настоящее время в зарубежных странах, включают систему управления мостами, межвидовые системы управления (которые занимаются перемещением людей и товаров с одного вида транспорта на другой) и системы управления «рассасыванием пробок».

Программы PHARE и TACIS Европейского союза дают интересный пример того, как процесс планирования применяется на практике. Вскоре после распада СССР Европейский союз поставил своей целью предоставление технической помощи новообразовавшимся независимым государствам в создании условий рыночной экономики. *Общий алгоритм* практической разработки и реализации процесса транспортного планирования следующий:

1) в каждом секторе человеческой деятельности, включая транспортный, собирается информация по инфраструктуре и социально-экономическим условиям в сотрудничестве с представителями заинтересованных правительств;

2) разрабатываются программы оказания помощи в различных отраслях, которые формулируют более широкие и более конкретные задачи, касающиеся отдельных проектов;

3) разработка каждой конкретной программы предусматривает достижение конкретных измеряемых задач в форме логической структуры (или основы) *матрицы планирования*, которая представляет собой совокупность таких параметров, как название программы, описание проекта, общая стоимость, источники информации, цели и результаты проекта, предположения и риски и т.п. Такая матрица позволяет свести на одной странице все проектные предложения и показать конкретные параметры их достижения;

4) после этого предлагаемые проекты оцениваются и специальное бюджетное финансирование предоставляется каждому утвержденному проекту;

5) по мере реализации программы составляется отчет о каждом ее этапе в соответствии с заранее разработанными процедурами отчетности;

6) за выполнением каждого проекта также наблюдают независимые инспектора, при этом конкретный акцент делается на достижении поставленных целей и выявлении возможных улучшений в будущем.

Опыт, накопленный в странах Западной Европы, может дать ценную информацию о тех экономических силах и тенденциях развития, которые могут оказать влияние на транспортное планирование в будущем в Беларуси в контексте перехода к рыночной экономике.

Последние тенденции, взятые из опыта нескольких последних десятилетий в Великобритании, могут быть суммированы следующим образом:

- уменьшение использования общественного транспорта;
- увеличение числа собственных автомобилей;
- увеличение расстояний проезда до работы;
- смещение акцента перевозки грузов с железных на автомобильные дороги;
- расширение участия общественности в дорожных проектах;
- усиление экологического аспекта проектирования автомобильных дорог.

Эффект роста национального благосостояния в Великобритании оказал существенное влияние на популярность поездок в автобусе с 1945 по 2000 годы. Поначалу пользование автобусами возрастало вместе с валовым внутренним продуктом (ВВП) до пика в начале 1950-х годов, после чего наступил период устойчивого спада. Это можно объяснить тем фактом, что реальный рост благосостояния выше определенного порога приводит к стремительному росту собственных автомобилей, но также и тем, что выросли автобусные тарифы и снизился уровень услуг, предоставляемых общественным транспортом.

Вплоть до 1970-х годов в Великобритании наблюдался существенный рост личного транспорта. Впоследствии в 1980-е годы правительство стало использовать налогообложение как средство ограничения роста числа собственных автомобилей, в особенности относительно автомобилей, принадлежащих компаниям.

Поездки на работу представляют особый интерес для транспортного планирования, поскольку именно такой вид поездок создает «пробки» в пиковые часы на основных автомагистралях. Наряду с общим переходом с общественного на частный транспорт средняя длина поездки до работы постоянно увеличивалась, и если в начале 70-х годов она составляла около 7,7 км, то в 2000 – уже 10,9 км.

Сдвиг по виду транспорта при перевозке грузов с железной дороги на автомобильную может быть объяснен частично увеличенной гибкостью при распределении грузов по доро-

гам, но он также объясняется структурными изменениями в экономике, которые привели к спаду в тяжелых отраслях и к росту в производственных отраслях и услугах. Этот видовой сдвиг также сопровождался появлением более длинных и большегрузных грузовых автотранспортных средств.

Участие общественности стало принимать все более весомое значение в транспортном планировании, особенно в том, что касается крупных проектов новых автомагистралей. Как указывалось ранее, это объясняется частично недоверием общественности к масштабным планам дорожного строительства в городах Великобритании и теми неудобствами, которые они вызывали. Однако развилась также общая уверенность в том, что не имеет смысла продолжать строить дороги, чтобы удовлетворить постоянно растущие потребности в передвижениях, и в том, что проблему следует оценивать с точки зрения многовидового транспорта.

Наконец, воздействие автотранспорта на экосистемы (такое, как шум, вибрация, загрязнение, препятствия для видимости и неудобства для общественности) стали вопросами возрастающей значимости. Все новые крупные проекты автомагистралей в настоящее время подвергаются тщательному анализу по экологическим воздействиям.

32.2. Национальная дорожная программа Великобритании

Государственный секретарь по транспорту периодически издает «Белую книгу», в которой сформулирована текущая программа по модернизации и строительству автомагистралей. Такая текущая программа была изложена в «Белой книге», опубликованной в 1999 году.

Программа была подготовлена в период 1998-1999 годы и была составлена с учетом стремительного роста интенсивности транспорта на дорогах, который наблюдался на протяжении 90-х годов. За период с 1990 по 1999 годы общая интенсивность транспорта выросла на 35%, однако, интенсивность транспортной нагрузки на автомагистрали удвоилась, а движение по основным магистралям выросло на 50%. Количество автотранспорта на британских дорогах выросло с 23 до 27 миллионов.

Прогнозный процентный рост в машино-километрах на 1990-2025 годы составил:

- легковые автомобили – 82-134%;
- малые грузовые автомобили – 101-215%;
- тяжелые грузовые автомобили – 67-141%;
- микроавтобусы и автобусы – 0%.

Задачами дорожной программы являлись:

- 1) экономический рост за счет снижения транспортных расходов;
- 2) улучшение экологической ситуации путем перевода транзитного транспорта из городов;
- 3) повышение безопасности дорожного движения.

«Белая книга» включала большое количество дорожных проектов. Сюда входила реконструкция множества дорог с двухполосой проезжей частью до автомагистральных стандартов, а также существенное расширение имеющихся автомагистралей за счет строительства новых (третьих-шестых в каждом направлении) полос движения.

Административные процедуры по строительству новой автомагистрали чрезвычайно длительны и подробны, поэтому типовой проект может занять 10-15 лет от «определения схемы» до открытия новой или модернизированной дороги. Это частично объясняется широким участием общественности и всесторонним обсуждением вариантов проектов.

Министерство транспорта разработало также подробные и сложные процедуры экономической оценки дорожных проектов. Сюда входит доходно-расходный анализ с использованием компьютерных программ **COBA** и **QUADRO**. Все схемы должны пройти оценку, а использование единой методики означает, что все проекты в программе можно сравнить и расставить по приоритетам.

С тех пор, как была опубликована Белая книга, экономический рост Великобритании немного остановился, и интенсивность транспорта не возросла настолько, как предполагалось. Многие схемы, поэтому, были отложены, а некоторые забыты насовсем до того, как дорожная программа будет превращена в будущую «Белую книгу» (планируется издание в 2006-2007 годах).

Ежегодно каждая местная дорожная власть обязана представить документ о транспортной политике и программах (ТПП). Это, по существу, запрос на финансирование, но документ также должен содержать заявление о транспортной политике властей, подробности отдельных проектов и расстановку их по приоритетам. Основные проекты, требующие капитальных затрат, должны быть указаны в ТПП на 5 лет вперед.

Документ ТПП содержит следующую информацию.

1. Общая информация о местной экономике (социально-экономические данные, включая развитие промышленности, сферы услуг и розничной торговли).

2. Заявление о политике и задачах графства.

3. Ряд предложений/проектов, снабженных экономическим обоснованием, стоимостной и другой статистикой, разделенный на следующие категории:

- основные автомагистрали;
- дороги местного значения;
- безопасность на дорогах и предотвращение аварий;
- окружающая среда;
- пешеходы, велосипедисты и инвалиды;
- организация движения;
- управление городским транспортом;
- специальные места парковки;
- уличное освещение;
- мосты и сооружения;
- содержание автомагистралей;
- общественный транспорт.

Список должен содержать общую потребность в рабочей силе, а не только ту, которая предлагается для финансирования из центрального бюджета.

4. Обзор предложений, включая приоритеты по новым схемам капиталовложений и расчеты по расходам и возврату капитала.

5. Дополнительные ресурсы, которые необходимы для реализации новых капитальных схем на ближайшие три года.

6. Общая стоимость программы на ближайшие три года по текущим ценам с учетом инфляции.

7. Элементы программы, которые считаются подходящими для финансирования из бюджета центрального правительства (запрос на финансирование).

8. Сводные таблицы общих расходов, схемы основных и вспомогательных дорог и содержания сооружений.

Государственный секретарь рассматривает документ ТПП, сверяет содержание местной политики и задач с общенациональными политиками и задачами и принимает решение о предоставлении финансирования на реализацию программы, исходя из общего наличия средств.

32.3. Дорожное планирование в США

В США вплоть до 1950 годов инженеры-дорожники часто могли по своему желанию выбирать проект, тип и осуществлять их исходя из требований к инженерным расчетам и факторов, влияющих на использование транспорта. Инженеры и представители общественности осознали необходимость серьезных изменений в области строительства автомобильных дорог и признали значительную выгоду от таких проектов.

В течение 1950-60-х годов были построены тысячи миль новых автомобильных дорог, многие из них – в плотно населенных районах, что привело к возникновению социальной напряженности, негативному реакции со стороны общественности, а в некоторых случаях – к прямому противостоянию. Некоторые слои общественности высказывали опасения по поводу возможного вреда для окружающей среды, который может быть причинен строительством дорог. Частичное решение проблемы, связанной с необходимостью сооружения новых дорог и изменения отношения общественности привело к появлению более высоких стандартов для обзора с экономической, социальной и экологической точки зрения.

Возможно выделение следующих основных этапов развития дорожного законодательства в области планирования в США.

1. Разработка программы федеральной помощи. Начало нынешней эры федеральной помощи строительству автомобильных было положено в 1916 году с принятия Федерального закона о дорогах, в соответствии с которым было предусмотрено выделение 75 млн. долларов на проведение работ по улучшению загородных дорог в течение пяти лет. Средства, выделенные для этих целей, были направлены в конкретные штаты исходя из территории, населения и протяженности дорог, причем соотношение выделяемых средств зависело от соотношения каждого из этих показателей в отдельном штате к показателям в рамках страны в целом. Штаты должны были иметь это соотношение 50/50 для получения федеральных средств. Вторая мировая война сконцентрировала внимание на роли автомобильных дорог в интересах обороны страны, соответственно, были выделены средства для сооружения подъездных путей к военным объектам, а также в интересах осуществления различных видов деятельности, связанных с ведением военных действий. В годы войны обычное развитие автомобильных дорог прекратилось.

Федеральный закон о помощи автомобильным дорогам, принятый в 1944 году обеспечил средства для улучшения их состояния в послевоенные годы. На основании закона были определены две новые системы автомобильных дорог. Одна из них – Национальная Система Автомобильных Дорог (НСАД) между штатами, а в состав второй входили основные вспомогательные дороги (поддерживаемая в федеральном масштабе вторичная система).

2. Закон о Федеральной помощи автомобильным дорогам 1956 года. На основании закона о федеральной помощи автомобильным дорогам 1956 года было построено 75000 км автомобильных дорог между штатами и дорог военного значения.

Средства федерального правительства выделялись на основе соотношения 90/10; расходы штата планировались в размере около 2,6 млрд. долларов, а общая стоимость программы составляла 27 млрд. долларов. Последующий рост издержек привел к увеличению стоимости программы, которая на момент завершения программы в 1992 году составляла 100 млрд. долларов.

В закон о федеральной помощи автомобильным дорогам 1956 года был включен ряд положений, которые относились только к дорогам между штатами. Одно из таких положений предусматривало отказ в выделении федеральных средств тем штатам, которые допускают использование этих дорог грузовыми автомобилями, вес и длина которых превышает установленные размеры. Проект автомобильной дороги должен был соответствовать требованиям прогноза транспортного потока на 20 лет, начиная с момента утверждения плана для каждого проекта. Платные дороги могли быть включены в систему дорог между штатами в том случае, если они были удобно расположены и должным образом спроектированы.

3. Законодательство в области автомобильных дорог в 1960-е годы. Законы в этой области, принятые в 1960-е годы, признавали растущие транспортные потребности городских территорий. Принятый в 1962 году закон требовал, чтобы с 1 июля 1965 года все поддерживаемые из федерального бюджета проекты по строительству автомобильных дорог в городах с населением более 50000 человек основывались на постоянном, всеобъемлющем дорожном планировании, подразумевавшем сотрудничество. Закон разрешил более активно использовать средства федерального бюджета в городских районах, потребовав, чтобы модернизация дорог была «составной частью четкой и сбалансированной транспортной системы» для этих территорий.

В 1965 году Конгресс США выделил 1,2 млрд. долларов на осуществление 5-летней программы строительства 2350 миль «автомобильных дорог, способствующих развитию» на территориях 11 штатов, прилегающих к району горной цепи Аппалачи, кроме того, было выделено 50 млн. долларов США для строительства подъездных путей. Целью программы, на 70% оплачивавшей издержки строительства, было стимулирование экономического развития отсталого региона. В 1965 году Конгрессом также была принята программа, направленная на улучшение внешнего вида автомобильных дорог, которая предусматривала выделение средств на контроль за рекламными щитами и свалками, прилегающими к трассе автодороги, а также улучшение природного ландшафта вдоль автомобильных дорог.

4. Законодательство в области автомобильных дорог в 1970-е годы. Законы, принятые в 1970-х годах отражали стремление правительства контролировать тенденцию усиления урбанизации, перегрузки транспорта, ухудшения состояния окружающей среды, дефицита топлива, т.е. необходимость решения экологических и социальных проблем.

Закон о федеральной помощи автомобильным дорогам 1970 года признал возрастание значения автомобильных дорог в городских районах путем создания системы городских автомобильных дорог, поддерживаемых из федерального бюджета.

Законы, принятые в 70-х годах XX века, предусматривали, при определенных обстоятельствах, выделение средств из федерального бюджета для сооружения полос для движения только или преимущественно автобусов, устройств контроля за движением транспорта, различных мест для парковки большого объема общественного транспорта.

Закон 1970 года предусматривал, что министр транспорта будет опубликовывать основные направления для того, чтобы в ходе планирования и осуществления проектов строительства автомобильных дорог, пользующихся федеральной поддержкой, обеспечить тщательное рассмотрение всевозможных негативных экологических, экономических и социальных аспектов. Все это было направлено на то, чтобы обеспечить принятие таких решений по федеральным проектам, которые бы в наибольшей мере соответствовали интересам общества, принимая во внимание негативное влияние таких факторов, как загрязнение воздуха и воды, шум, переселение людей, перемещение хозяйств, истощение или разрушение природных ресурсов, общественных сооружений, разрушение уклада жизни общества, а также эстетический эффект.

Закон о федеральной помощи автомобильным дорогам 1973 года значительно расширил систему городских дорог, пользующихся федеральной поддержкой, а также предусматривал серьезную перепланировку дорог в рамках федеральной системы на основании прогноза их функционального использования в 1980 году. Закон 1973 года предоставил возможность представителям местных властей отказаться от использования средств Тростового фонда автомобильных дорог, используя вместо этого равное количество средств из государственного фонда помощи общего назначения. Законом оговорены условия, при которых средства тростовых фондов могут быть использованы для обеспечения массового транзита и перевозок, а также установлены ограничения суммы таких сделок. Закон 93-643, который называется «Поправки к закону о федеральной помощи автомобильным дорогам 1974», включает следующие основные положения:

– был увеличен максимальный допустимый вес, на основе которого штаты могли устанавливать ограничения для транспортных средств, использующих дороги между штатами. Максимальная нагрузка на одну ось была увеличена с 18000 (8,16 т) до 20000 (9,07 т) фунтов. Ограничение общего веса транспортного средства было изменено с 73280 (33,2 т) до 80000 (36,3 т) фунтов. Законом также была дана формула для пересчета допустимого общего веса для двух или более последовательных осей;

– на государственных автомобильных дорогах был установлен предел ограничения скорости в общенациональном масштабе – 55 миль в час (102 км/ч).

5. Законодательство в области автомобильных дорог в 1980-е годы. Закон 1982 года о помощи наземным видам транспорта был принят для того, чтобы обратить внимание на проблему разрушения инфраструктуры автомобильных дорог. Законом были расширены полномочия для программ строительства автомобильных дорог и переходных программ в период с 1983 по 1986 год, а также был увеличен налог на топливо для пользователей дорог с 4 до 9 центов за галлон (около 3,8л). Законом также была повышена плата пользователей магистралей.

Законом было установлено, что дополнительные средства должны использоваться для:

- ускорения окончания создания системы дорог между штатами;
- осуществления программы 4R (resurfacing, restoration, rehabilitation, reconstruction) – смены покрытия, восстановления, реконструкции и модернизации автомобильных дорог;
- расширения программы замены и реконструкции мостов;
- обеспечения большего объема финансирования для других проектов, как первоочередной важности, так и менее важных.

Пункты (2) и (3) показывают, что проблемы, с которыми столкнулась Беларусь в 1990-х годах, проявились в США 15 годами ранее.

Закон 1982 года о помощи наземным видам транспорта разрешил эксплуатацию большегрузных автомобилей на дорогах между штатами и других дорогах, пользующихся феде-

ральной поддержкой. Законом было установлено, что штаты обязаны разрешать использование двух прицепов грузовыми автомобилями, им нельзя устанавливать предельные размеры длины транспортного средства с полуприцепом или двумя прицепами. Закон требовал от штатов разрешить допуск на дороги между штатами для транспортных средств большей длины, а также на дороги, претендующие на федеральную помощь и определенные как пригодные для безопасной эксплуатации транспортных средств большой длины. Выполнение этого положения закона сопровождалось противоречиями и в середине 1980-х годов были проведены исследования, чтобы определить категории автомобильных дорог, пригодных для безопасной эксплуатации крупных грузовиков.

Закон о наземном транспорте и равном распределении помощи 1987 года предусматривал выделение 68,8 млрд. долларов на пятилетний период для осуществления программы федеральной помощи автодорогам. Сумма средств, в частности, свидетельствует о масштабах проектов по проведению восстановительных работ; было также заявлено, что в ряде мест высокий процент бетонных мостов, сооруженных на дорогах между штатами были на грани разрушения из-за коррозии арматуры и предварительно напряженных элементов. Закон разрешил штатам повысить скорость движения на автомобильных дорогах между штатами с 55 до 65 миль в час (с 102 до 120 км/ч), приблизив тем самым показатели США к западноевропейским, тем не менее, это ниже, чем в Великобритании, Франции или Германии (140 км/ч).

6. Законодательство в области автомобильных дорог в 1990-е годы. Закон об эффективности наземных видов транспорта 1991 года внес серьезные изменения в финансирование и управление автомобильными дорогами в США. На основании закона была одобрена шестилетняя программа федеральной помощи 151 млрд. долларов, что привело к общему увеличению финансирования автомобильных дорог на 63%, а транзитных дорог на 91%. По закону доля федеральных расходов на транспорт составляет 80%, из них 90% на строительство, ремонт и техническое обслуживание дорог между штатами.

Закон отменил деление на основные, вспомогательные и городские автомобильные дороги, создав Национальную Систему Автомобильных Дорог в 250000 км. Новая система включает в себя дороги между штатами и другие главные дороги, определенные штатами совместно с Министерством транспорта США.

Закон требует наличия в штатах процесса планирования, а также определяет различные элементы такого планирования. Так, 2% средств, получаемых штатом в рамках федеральной помощи автомобильным дорогам, должно быть выделено для дорожного планирования и программ исследований в этой области.

32.4. Основные принципы трассирования автомагистралей в зарубежных странах

Выбор местоположения крупной автомагистрали требует учета множества сложных и взаимосвязанных факторов (табл. 32.1). Как правило, целью процесса прокладки и выбора является отыскание такого местоположения новой дороги, которое привело бы к наименьшим общим строительным, земельным, транспортным, экологическим и эксплуатационным расходам.

Таблица 32.1. Факторы, влияющие на выбор местоположения автомагистрали

Воздействие 1	Свойства 2	Факторы 3
Инженерные и экономические вопросы	Строительные затраты	Топография, геология, геоморфология, почвы, материалы, растительность, дренаж, критерии проектирования, безопасность
	Затраты на содержание Затраты пользователей	Климат, транспорт, почвы, материалы, топография, дренаж, геоморфология
	Придорожные затраты	Транспорт, топография, время проезда, безопасность
	Потенциал развития	Стоимость земель, землепользование, стоимость замен, транспорт, критерии проектирования, коммунальные услуги, налоговая база
	Близлежащая местность	Сельское хозяйство, лесная промышленность, добыча полезных ископаемых, торговля и промышленность, туризм, подвижность населения, политическая стратегия

1	2	3
Социальные вопросы	Зоны отдыха и природоохраны	Население, культура, землепользование, ставки налогов, стоимость земель, учреждения, передвижение, исторические объекты, коммунальные службы и услуги, границы сообществ, транспорт, занятость, динамические изменения, налоговая база
Социальные/экологические проблемы	Загрязнение окружающей среды	Землепользование, растительность, рыбное хозяйство, ландшафт, дикая природа, дренаж, топография, эрозия, отложения
	Ландшафтная ценность	Достопримечательности
Экология		Шум, воздух, вода, утечки, тепло, химикаты, отходы
Эстетика		Ландшафтные зоны, виды с дороги, вид дороги, «соринка в глазу», топография, растительность, дренаж

Перед тем, как предпринять попытку выбора физического размещения проекта автомобильной магистрали, следует собрать данные:

- о потребностях и необходимости в транспорте;
- о перспективном планировании в пересекаемой зоне;
- сделать оценки будущих физических характеристик самой дорог.

Изыскания на местности позволяют собрать базовую информацию по структурному проектированию, а также по экономическим данным, которые оказывают значительное влияние на окончательный выбор местоположения дороги. Объединение самых современных компьютерных технологий с усовершенствованными методами получения данных дают гарантию того, что при выборе заключительных стоимостных решений и подготовке спецификаций, выбранная для дороги трасса будет обеспечивать максимальные социальные выгоды от вложенных средств и наилучшим образом примирять различные противоречивые интересы отдельных лиц и групп населения, которые окажутся в зоне влияния проекта.

Основные принципы размещения трассы автомагистрали, принятые в Великобритании, следующие:

- 1) она должна максимально удовлетворять основным транспортным маршрутам и быть как можно более прямой;
- 2) уклоны и кривизна дороги должны соответствовать минимально необходимым для удовлетворения эксплуатационных требований дороги;
- 3) должны отсутствовать резкие изменения дальности видимости, особенно вблизи примыканий;
- 4) отсутствие резких подъемов в конце или начале длинных горизонтальных отрезков, так как водители могут не успеть заметить такое изменение рельефа;
- 5) в городской местности следует прокладывать дорогу сквозь слаборазвитые или заброшенные зоны, по краю крупных парковых массивов и, как правило, вдалеке от сильно развитых, дорогих земельных участков;
- 6) в городских районах следует располагать магистраль как можно ближе к основным местам парковки;
- 7) вне городов следует располагать как можно большую часть новой дороги на существующих дорогах, чтобы свести к минимуму потери плодородной почвы и снизить общие расходы на строительство и содержание;
- 8) трасса магистрали должна проходить по краям владений, а не через их середину, чтобы минимально помешать ведению земельного хозяйства и исключить необходимость туннельных участков;
- 9) необходимо максимально удалять трассу подальше от кладбищ, культовых мест, больниц, школ и игровых площадок;
- 10) учитывать воздействие предлагаемой магистрали на существующие или перспективные коммунальные коммуникации над или под землей. Иногда выгоднее изменить трассу, чем нести расходы по их перекладке;
- 11) ее устраивать пересечений двух дорог вблизи изгиба, на вершине или у подножия холма;

12) при строительстве автомагистрали транспортные развязки должны располагаться под таким углом и на такой поверхности, которые обеспечивают наиболее экономичное их сооружение;

13) избегать пересечений с железнодорожными линиями на уклоне. Везде, где возможно, проходить дорогой над железнодорожным полотном в той точке, где оно входит в выемку;

14) выбирать наиболее благоприятные места для пересечения рек. Предпочтительно, чтобы трасса дороги располагалась под прямым углом к осевой линии потока;

15) не располагать мосты или туннели на или вблизи изгибов автотрассы;

16) избегать необходимости устройства глубоких выемок или строительства дорогих туннелей;

17) избегать мест, где скальные породы подходят близко к поверхности, поскольку это обычно требует больших затрат на земляные работы;

18) в холмистой местности следует снижать до максимума используемые уклоны;

19) для того, чтобы свести к минимуму проблемы, связанные с водоотводом, необходимо выбирать расположение по верху, а не в долинах. Если конкретное место потребует частых и дорогих работ по содержанию дренажной системы, предпочтительно выбрать такое место, где эти расходы можно экономически обоснованно снизить, например, за счет применения специальной конструкции;

20) обходить болота, трясины, а также прочие пониженные места, склонные к затоплению;

21) располагать дорожное полотно на таких почвах, которые потребуют минимальной толщины дорожной одежды;

22) располагать дороги как можно ближе к источникам строительных материалов;

23) после того, как учтены все прочие факторы, наилучшим расположением следует считать такое, при котором будет минимальная стоимость общих земляных работ;

24) в холмистых местностях дорога должна пересекать гребни в их самых низких точках. (Это обычно дает самый дешевый вариант строительства, а также обеспечивает более экономичную работу транспорта). Избегать резких разрывов в естественной линии горизонта;

25) избегать бесполезного и дорогого уничтожения лесных массивов. Если вторжение неизбежно, прокладывайте трассу дороги таким образом, чтобы максимально сохранить природный фон;

27) избегать грунтов, склонных к оползням или обвалам;

28) избегать располагать дорогу под прямыми углами к группе естественных дренажных каналов;

29) для того, чтобы избежать монотонности движения по длинным прямолинейным участкам, предпочтительно располагать дорогу таким образом, чтобы постоянно были видны какие-либо заметные объекты впереди.

Понятно, что учесть все эти рекомендации на практике довольно трудно, а временами невозможно. При этом некоторые пункты немного противоречат друг другу. Поэтому на практике трасса выбирается таким образом, чтобы служить компромиссом для множества возможных решений.

32.5. Особенности изысканий при трассировании автомагистралей в зарубежных странах

Процесс выбора трассы для длинной автомагистрали можно описать как «иерархически структурированный процесс принятия решений» (рис. 32.1):

– первый этап процесса предусматривает фиксацию конечных точек и определение района *A*, который будет включать все разумно возможные трассы между этими точками; как правило, такой район по ширине составляет 1/3 от длины;

– район *A* затем обследуется, и на нем выбирается несколько *широких полос B и C*, в рамках которых принимается решение сконцентрировать дальнейшие изыскания и выбор. Для основной схемы магистральных дорог ширина такой полосы может составлять 8-16 км;

– проведение изысканий в пределах этих полос может привести к выбору *коридоров D, E F*, каждый из них может иметь ширину около 3-8 км;

– сравнение этих коридоров приводит к выводу, что, например, коридор *E* является наилучшим, после чего внутри него намечается маршрут *G*; как правило, такой маршрут может иметь ширину 1,0-1,5 км;

– на следующем этапе производится обследование этой зоны и выделение внутри нее одной или более различных трасс, каждая из них шириной примерно 30 м и содержит лишь незначительные геометрические различия. Эти трассы сравниваются, после чего делается окончательный выбор, который используется для целей проектирования.

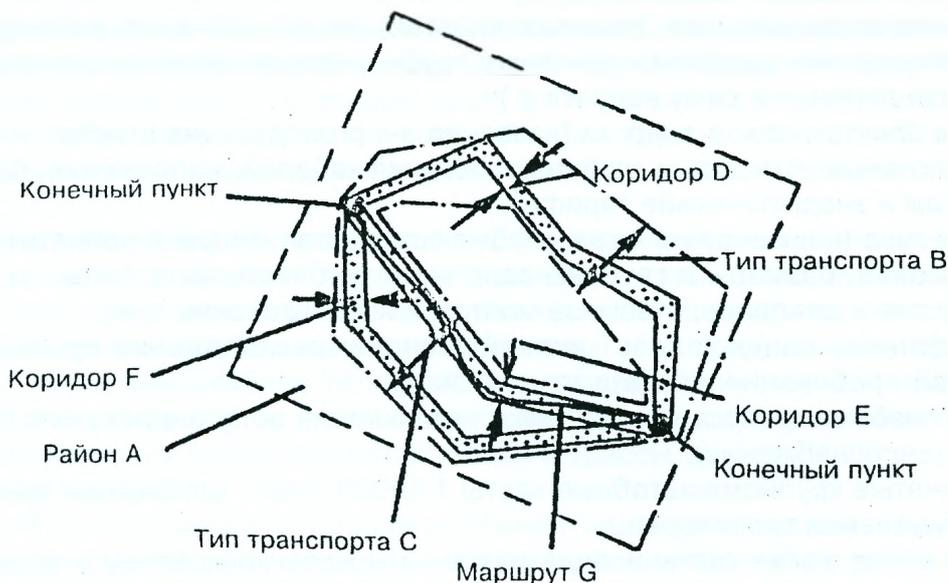


Рис. 32.1. Гипотетическое осложнение расположения маршрута транспорта, показывающее пространственные отношения между различными принятыми и оцененными мерами

Отметим, что описанный процесс предусматривает непрерывные изыскания и выбор, использование все более детальных знаний на каждом этапе принятия решений. Те факторы, которые влияют на процесс выбора в любой данный момент, включают не только такие «осязаемые» вещи, как топография, почвенные и геологические подробности, землепользование, распределение населения, потребности в поездках, затраты пользователей, затраты на строительство и содержание, безопасность, но также и такие «неосязаемые» соображения, как вопросы политического, социального и экологического характера, которые требуют многочисленных консультаций с общественностью перед тем, как будет принято окончательное решение.

Для облегчения процесса принятия решений был разработан классический концептуальный подход к сбору необходимых топографических и геотехнических данных об оцениваемых зонах. Эти мероприятия можно разделить на рекогносцировочную съемку, предварительный выбор местоположения и окончательный выбор трассы (проектная съемка).

Рекогносцировочная съемка. Целью такой съемки является оценка перспектив одного или более маршрутов в коридоре, проложенных между заданными точками, несмотря на то, что эти маршруты могут отстоять один от другого на многие километры.

Несмотря на то, что это в основном камеральная работа, хорошая рекогносцировка способна сэкономить столько средств при строительстве новой дороги, как ни один любой этап проекта. Поэтому инженеру следует выделить достаточные ресурсы с точки зрения времени и финансов на этот этап исследования местоположения дороги. Ниже дается общий контрольный перечень тех видов общей информации, которая необходима на первом этапе рекогносцировочной съемки при строительстве крупной автомагистрали:

1) общая ландшафтная съемка (размещение объекта на картах; аэрофотосъемка; границы объекта; контуры земельных участков и т.п.);

2) разрешенное применение и ограничения (плановые и законодательные ограничения в рамках Генерального плана; постановления местных властей по ограничениям планирования, принятое местное законодательство в области строительства; полоса дороги; туннели, шахтные разработки, памятники старины, места захоронений и т.п.);

- 3) подъезды и условия доступа (включая временные подъезды для целей строительства);
- 4) состояние почв (геологические карты; данные о наводнениях, эрозиях, оползнях и обвалах; данные о сейсмичности);
- 5) источники сырьевых материалов для строительства (природные ископаемые, вспомогательные и привозные материалы);
- 6) дренаж и канализация (расположение и уровни существующих мелиоративных систем, размеры труб и схемы ливневки и т.п.);
- 7) источники воды (местное законодательство; местоположение, размер и глубины залегания; характеристики давления основных трубопроводов; анализ состава воды; ставки оплаты за присоединения и саму воду и т.п.);
- 8) подача электрической энергии (названия энергоподающих властей и принятые правила; местоположение, емкость и глубина залегания кабелей; напряжение, фазы и частота; ставки за монтаж и энергетические тарифы);
- 9) подача газа (наименования газоснабжающих организаций и принятые местные правила; расположение, размеры и глубины залегания трубопроводов; типы газового топлива; тепловые свойства и давление; ставки за монтаж и использование газа);
- 10) телефонные линии (адрес местной станции; расположение существующих телефонных кабелей; требования и ставки за установку);
- 11) теплоснабжение (поставки топлива, ограничения по планированию (бездымная зона), районное теплоснабжение).

Общепринятые крупномасштабные карты 1:50000 очень удобны при генеральном планировании и выделении территории.

Решение о том, какие карты использовать на каждом конкретном этапе рекогносцировочной съемки, зависит от деталей той информации, которая нам необходима. Можно отметить, что местоположения многих памятников старины также отмечаются на данных съемки, при этом желательно получить наиболее свежие данные об этих объектах. С другой стороны, старые карты военно-топографической съемки также могут быть очень полезны для получения информации о заброшенных или исчезнувших шахтных стволах, штольнях и колодцах; местах снесенных зданий и возможных скрытых фундаментах и основаниях; заброшенные канализационные отстойники; засыпанные пруды, глиняные карьеры, каменоломни и песчаные и гравийные карьеры; изменения в зонах оползней и т.д.

Данные геологической съемки являются основным источником геологических данных; информация должна быть доступна в форме карт, геологических справочников, исторических записей и газет. Очень часто можно собрать информацию относительно состояния грунтовых вод в данном регионе, а также подробности о случаях бурения в конкретных точках. В целях наилучшего инженерного использования карты почвенной съемки следует сравнить с соответствующими геологическими картами, например, может быть выявлено, что почвенные карты дают лучшую картину залегания материалов, особенно, если геологические карты старые. Почвенные карты также могут дать лучшее представление о типе литологии и ее изменениях, а также новообразованиях в виде заболоченных мест по причине плохого стока.

Следует отметить, что в США использование почвенной съемки развилось до такой степени, что для всех типов почв выполнена корреляция карт со значениями Калифорнийского индекса несущей способности (CBR) для этих почв.

Землепользование, классификация земель и данные почвенной съемки всегда можно получить из соответствующих организаций, которые могут предоставить таким образом огромный объем полезной информации для инженера-дорожника.

Как видно из всего приведенного выше, *первым этапом рекогносцировочной съемки* является выявление и получение всех карт и записей, касающихся данного региона, а также наиболее подходящих данных аэрофотосъемки. Все это затем тщательно изучается; посещение района может также оказаться желательным на этом этапе. Как правило, особое внимание уделяется холмам, водным потокам и землепользованию, например, низким точкам или проходам в холмах, которые обычно являются фиксированными точками на местности, а также точкам перехода рек, которые дают возможность изучить топографию подъезда к мостам. Торфяники и другие болотистые местности, которые следует обойти, также могут быть выявлены на этом этапе. Можно выявить места для расположения необходимых вспо-

могательных сооружений вблизи пересечений дорог и железнодорожных линий, а также необходимые мероприятия по перекладке сетей коммуникаций, которых следует ожидать.

С применением современных топографических карт можно выполнить анализ приведенных выше сдерживающих факторов, а также провести предварительную оценку необходимых уклонов и горизонтальных трасс. **В Великобритании** существующие крупномасштабные карты, полученные с помощью аэрофотосъемки, могут оказаться чрезвычайно полезными в качестве дополнения к имеющимся топографическим и геологическим картам, например, за счет того, что они помогают выявить сооруженные человеком объекты, например, новые дороги, здания (сооружаемые или сносимые), подъездные дороги к карьерам и гравийным котлованам, изменения границ полей, трубопроводов и движение установок пробного бурения. Кроме того, с помощью таких фотографий можно выявить области с плохим дренажом и заболоченные участки, неустойчивые грунты, обвалы заброшенных шахт, покинутые водные потоки, вымоины и скальные выступы, которые не нанесены на обычные карты.

Результаты исследований представляются в виде *рекогносцировочного отчета*. В самом простом виде такой отчет содержит геометрические и эксплуатационные данные проекта, описывать предпочтительные маршруты и давать предварительную оценку затрат.

Предварительный выбор местоположения. Такая предварительная съемка представляет собой крупномасштабное исследование одного или нескольких наиболее целесообразных коридорных маршрутов, каждый из которых имеет ширину от 50 до 250 м. Результатом изысканий является выбор местоположения и трассы, которая впоследствии приведет к окончательному решению.

Существует два подхода к предварительной картографической съемке: аэрофотосъемка и наземная съемка, применяемые либо по отдельности, либо в различных сочетаниях. Выбор метода съемки решается на основании сравнения экономических затрат и необходимой точности получения топографических данных. Чаще аэрофотосъемка применяется при сильнопересеченной местности, проектировании крупных автомагистралей и транспортных развязок в нескольких уровнях. При этом детали уточняются с помощью наземной съемки.

Прокладка окончательной трассировки. Это исследование, значительная часть которого выполняется еще на этапе предварительных работ, служит двойной цели: фиксирование осевой линии будущей дороги и сбор дополнительной физической информации, которая служит для подготовки планов строительства. Крупномасштабные карты, подготовленные на этапе предварительных исследований, могут представлять большую часть информации, необходимой для принятия окончательного решения.

Компьютеры значительно повышают эффективность на этом этапе реализации дорожного проекта. В настоящее время каждый руководитель изыскательской бригады в Великобритании и США имеет ноутбук со специализированным программным обеспечением, который не только сокращает время, необходимое для расчетов, но и значительно снижает вероятность ошибки; отпадает необходимость инженеру брать с собой в поле тригонометрические и другие математические таблицы.

Очень значительной экономией времени и труда является введение съемочных данных в более крупные компьютеры, которые обладают способностью сравнивать альтернативные маршруты по осевой линии. Например, в Великобритании имеется ряд компьютерных программ, которые известны под общим названием **HOPS** (Highway optimization Program System), которые распространяются Министерством транспорта. Среди этих программ можно выбрать подходящие под различные почвенные условия, они могут значительно облегчить работу инженера-проектировщика по выбору оптимальной трассы, исходя из различных точек зрения. Аналогом в Беларуси выступает программный комплекс **Credo**.

Все вышесказанное может рассматриваться как идеализированный подход к выполнению изысканий перед принятием окончательного решения по осевой линии автомагистрали. *На практике*, безусловно, ситуация может быть сильно отличной, при которой проведение поверхностных и почвенных изысканий перед принятием окончательного решения по разработке проекта, может лежать в диапазоне от незначительного до чрезвычайно важного и сложного. Многие инженеры уверены в том, что окончательный выбор трассы в большинстве случаев диктуется соображениями вовсе не геотехническими, а, например, экономиче-

скими, транспортными, экологическими и социальными, а также соображениями политического и местного характера, в результате этого будет справедливо сказать, что существует тенденция на этапе предварительного проектирования к выполнению только минимально необходимого объема геотехнических изысканий, которые необходимы для соответствующей оценки возможных сложностей.

То, что является *наиболее реальным подходом* к выполнению соответствующих изысканий в Великобритании – это необходимость проводить основные поверхностные и приповерхностные исследования на заключительном интегральном этапе выбора и проектирования магистральной дороги. Другими словами, темпы и глубина детализации объектовых исследований возрастают по мере того, как местоположение и проект дороги становятся более реальными. Таким образом, можно свести к минимуму объемы и расходы на предпроектные исследовательские и изыскательские работы.

32.6. Анализ аварийности и затрат, связанных с ДТП

Обычно данные о травмах при авариях выражают в форме соотношения на млн. автомобиле-км, используя следующую формулу:

$(\text{Количество ДТП} \times 1000000) / (\text{AADT} \times 365 \times \text{Количество годовых данных} \times \text{Протяженность})$,
где AADT – интенсивность, авт/сут.

Рассматривая чертежи новых дорог и реконструкции существующих, обнаруживается разница между «новыми» и «существующими» показателями, которые являются одним из ключевых элементов, составляющих выгоду от снижения ДТП.

В ходе следующего этапа определяется степень серьезности ДТП для каждой категории дорог, подсчитывая количество случаев со смертельным исходом, тяжелых или легких повреждений, приходящихся на ДТП. Таблица 32.2 показывает уровень роста травм и степень тяжести ДТП на различных категориях дорог в Великобритании.

Таблица 32.2. Уровень роста травм (УРТ) и степень серьезности ДТП в Великобритании

Категория дороги	Эквивалент категории по СНиП 2.05.02	УРТ на млн. автомобиле-км	Повреждений / ДТП		
			Летальный исход	Тяжелые травмы	Легкие травмы
<i>Новая дорога</i>					
Автомостраль	I-a	0,10	0,050	0,295	1,300
С двойной проезжей частью	I-b	0,17	0,059	0,331	1,120
С одной проезжей частью	II, III, IV	0,17	0,060	0,462	1,140
<i>Существующая дорога</i>					
Автомостраль	I-a	0,10	0,050	0,295	1,300
Загородная дорога А	I-b или II	0,22	0,060	0,439	1,136
Загородная дорога Б	III или IV	0,34	0,032	0,387	1,067

Интересен тот факт, что английские консультанты-исследователи в 1992-94 годах проводили аналогичные исследования в Украине. Используя выбранные участки дорог категорий I-a, I-b, II и III, согласно СНиП, консультанты подсчитали уровень роста травм и степень серьезности ДТП для каждой категории. Для каждой дороги было подсчитано среднее количество ДТП на км, которое затем было использовано для получения уровня роста ДТП/млн. автомобиле-км, учитывая при этом потоки движения AADT для особых участков дорог (табл. 32.3).

Таблица 32.3. Уровень роста травм и степень серьезности ДТП в Украине

Категория дороги	УРТ на млн. автомобиле-км	Повреждений / ДТП		
		Летальный исход	Тяжелые травмы	Легкие травмы
I-b	0,201	0,38	0,99	2,56
II	0,233	0,33	1,16	3,00
По всем дорогам	0,100	0,32	0,67	2,95

Примечание. Результаты по категории дороги I-a основаны на выборке всего лишь 17км (М19 Киев-Борисполь), и поэтому не считаются статистически достоверными.

Учитывая уровень роста травм (УРТ) на миллион автомобиле-км, показатели аварийности для дорог I-b и II категорий схожи с показателями Великобритании. Автодороги Вели-

Великобритании имеют более низкие показатели аварийности, чем дороги категории I-б, при этом следует иметь в виду, что на автодорогах Великобритании установлены контрольные ограничения, не применяемые в Украине. Учитывая степень последствий ДТП, особенно количество смертельных случаев на ДТП, анализ показывает гораздо более высокую степень последствий ДТП в Украине, чем в Великобритании (смертельных случаев/ДТП в 5-6 раз больше на дорогах I-б и II категорий), этому вопросу должно уделяться особое внимание. Тяжелых травм/ДТП в 2-3 раза больше, чем в Великобритании.

Исходя из этого, для дальнейшего развития дорожной сети Украины важным является:

- расширение дорог категории I-б (до 3-4 полос в каждом направлении) и соответствие автомагистральной сети Украины западноевропейским стандартам (включая контрольные ограничения);

- категория I-а не совсем соответствует автомагистралям Великобритании, следовательно, временная оценка уровня ДТП и степень серьезности ДТП на новых автомагистралях основывалась на показателе ДТП Великобритании;

- если на новых автодорогах Украины будут введены средства организации движения западноевропейского образца, то в этом случае можно ожидать определенно более низких показателей аварийности.

32.6.1. Затраты по ДТП в бывшем СССР

Основываясь на исследованиях бывшего Советского Союза, Минавтодор РСФСР в Москве издал «Инструкцию по экономическому расчету затрат по ДТП при проектировании дорог» (1982). Документ включает методы анализа прямых и косвенных затрат по ДТП. Расчетные формулы затрат по ДТП для 4 степеней тяжести травм включают:

- а) легкие повреждения (когда период болезни не превышает 7 дней);

- б) тяжелые повреждения без потери работоспособности (когда период болезни превышает 7 дней);

- в) тяжелые повреждения, приводящие к потере работоспособности;

- г) летальный исход.

По существующей методологии определения потерь для народного хозяйства вследствие ДТП в СССР в 1990 году были следующие показатели:

- легкие повреждения – 53 руб. (30 US \$);

- тяжелые повреждения – 765 руб. (430 US \$);

- тяжелые травмы с потерей трудоспособности – 18 740 руб. (10 600 US \$);

- смертельные случаи – 30 100 руб. (17 000 US \$).

Данные по затратам должны обрабатываться с некоторой осторожностью, принимая во внимание значительные экономические преобразования и, следовательно, изменение цен. Например, в США приведенные показатели выросли приблизительно в 1,8 раза за период с 1990 по 2003 год. С помощью сравнительного анализа можно получить более реальные цифры путем перерасчета компонентов, составляющих затраты, которые использовались в формулах вначале. Однако представляется целесообразным сравнить результаты указанного выше анализа с исследованиями затрат по ДТП в европейских странах.

32.6.2. Затраты по ДТП в европейских странах

Генеральный Директорат Комиссии ЕС подал отчет в 2003 году о результатах европейского исследования социально-экономических затрат по ДТП в 14 странах Европы. Затраты были представлены в евро по ценам 2003 года, а затем переведены в американские доллары по ценам третьего квартала 2003 года.

Сравнение затрат по ДТП в странах с одинаковыми доходами и культурой продемонстрировало четкие различия в методах расчета затрат по ДТП. Соотношение затрат при тяжелых травмах и при смертельных случаях колеблется от 2 до 20%. Средний уровень затрат, выраженный в американских долларах (USD \$) составил:

- смертельные случаи – 1 021 000;

- тяжелые травмы – 68 000;

- легкие повреждения – 4 000.

При этом минимальные значения показателей были отмечены в Нидерландах, максимальные – в Швейцарии.

Затраты, связанные с летальным исходом состоят из трех компонентов: прямые потери, «моральный ущерб» (боль, чувство горя, страдания) и остальные издержки. В среднем «моральный ущерб» составляет 45% от общих затрат при смертельных случаях, а в пяти странах (Дания, Великобритания, Финляндия, Швеция и Швейцария) это составляет от 54 до 71%.

Многие страны практикуют метод включения «морального ущерба», подсчитывая затраты при смертельных случаях. Например, Великобритания изменила свой метод подсчета в 1993 году, что сильно повысило показатель морального ущерба и сейчас многие европейские страны применяют высокие показатели «морального ущерба».

32.6.3. Затраты по ДТП в Украине

Сравнение первоначальных показателей ДТП в Украине с показателями других европейских стран показало, что вначале оцененные затраты при смертельном случае гораздо ниже, чем в любой другой стране Европы. Это не является неожиданным при низком уровне заработной платы в Украине, это можно объяснить и тем, что «моральный ущерб», обсуждавшийся выше, не включался. Как было сказано выше, диапазон «морального ущерба» в других европейских странах составляет от 45 до 70% затрат в случае смерти. Применяя крайние значения этого диапазона к первоначальным оценкам затрат в случае смерти, получаем высокий и низкий показатели общих затрат:

- низкий показатель:
 - прямые потери и другие затраты – US \$ 17,000 (55%);
 - «моральный ущерб – US \$ 14,000 (45%);
 - общие затраты в случае смерти – US \$ 31,000;
- высокий показатель:
 - прямые потери и другие затраты – US \$ 17,000 (30%);
 - «моральный ущерб» – US \$ – 40,000 (70%);
 - общие затраты в случае смерти – US \$ 57,000.

Взяв среднее от высокого и низкого показателей, стоимость человеческой жизни оценивается в US\$ 44,000, что в 23 раза ниже, чем в Европе.

Ссылаясь на исследования в других европейских странах, затраты при тяжелых травмах составляют от до 20% от затрат при смертельных случаях, а среднее соотношение затрат составляет 6,6%. Если затраты при несчастных случаях в Украине определены как US \$ 44000, то затраты при тяжелых травмах составят US\$ 3000 (округленно).

Европейские исследования также показали, что средний уровень затрат при легких повреждениях составляет 5,6% от затрат при тяжелых травмах. Применяя это соотношение к вышеуказанной оценке затрат при тяжелых травмах, получаем US\$ 170 (округленно).

Это выше, чем значение, полученное в ходе первоначальной оценки для бывшего СССР (US \$30), однако более правдоподобно.

На основе вышеуказанных анализов, окончательные оценки затрат по каждому виду ДТП в Украине следующие:

- смертельные случаи – US\$ 44000;
- тяжелые травмы – US\$ 3000;
- легкие повреждения – US\$ 170.

Статистические данные по ДТП в Украине показали, что в 2003 году зарегистрировано 7560 смертельных случаев и 45881 случай тяжелых травм. Что касается Беларуси, то число смертельных случаев в результате ДТП составило около 1700 за 2003 год.

Применяя указанные выше оценки к этим статистическим данным, предполагается, что для украинской экономики в целом затраты по ДТП составят US \$500 млн. в год. Исходя из этого, вполне понятно, что эффективная программа обеспечения безопасности на дорогах должна принести ощутимые сбережения для экономики Украины.

32.7. Экономические потери от снижения пропускной способности

Если взять Великобританию в качестве примера западноевропейских стандартов, то обнаружится, что в целом методология оценки экономических потерь от снижения пропускной способности бывшего СССР подобна той, что использовалась до 80-х годов в Великобритании.

Расчетные рекомендации Министерства транспорта Великобритании относительно проектной пропускной способности загородных дорог претерпели значительные изменения за последние 40 лет (тот период, когда была создана дорожная сеть). Эти преобразования явились как результатом характера движения, уширения дорог, повышения мастерства водителей, так и, что важно, лучшего понимания «поведения» транспортного потока.

В 1950-е годы проектные рекомендации для дорог общего пользования в Великобритании выражались в следующих требованиях – двухсторонние 16-часовые транспортные потоки, обеспечивающие свободное прохождение транспорта (3000 транспортных в день для двухполосной односторонней проезжей части и 15000 транспортных средств в день для двойной двухполосной проезжей части).

В 1961 году были приняты рекомендации, учитывающие транспортные потоки на основе эквивалента единиц пассажирских автомобилей в день (*па*) для комбинированных потоков (6000*па* в день для двухполосной односторонней проезжей части и 15000 транспортных средств в день для двойной двухполосной проезжей части).

Рекомендации 1969 года (положенные в основу проектирования магистралей в 70-е годы), содержащиеся в «Плане дорожной сети общего пользования» продолжали использовать эквивалент единиц пассажирских автомобилей, но незначительно увеличили проектную пропускную способность (9000*па* в день для двухполосной односторонней проезжей части и 33000*па* средств в день для двойной двухполосной проезжей части).

Текущие рекомендации значительно изменились следующим образом:

– проектные потоки выражаются теперь не в единицах пассажирского транспорта, а в транспортных средствах, причиной тому стало то, что показатели *па* меняются при различных дорожно-транспортных условиях; условные показатели недостаточно обоснованы экспериментально и, даже если движение выражалось бы в *па*, средняя скорость движения все равно выводилась бы по показателям тяжелых транспортных средств, поэтому показатели *па* не выражают полностью состав движения;

– в качестве уровня транспортного потока взяты показатели среднегодовой среднесуточной интенсивности движения (ССИД) для участков (звеньев) через 15 лет после ввода в эксплуатацию. Они не имеют никакой другой важности, кроме как служат удобной отправной точкой для оценки и не нацелены на то, чтобы показывать окончательные потоки, которые дорога может пропускать. Они скорее, основаны на экономическом и эксплуатационном анализе, который отражает затраты и доходы в зависимости от ширины дорожного полотна как при нормальных эксплуатационных условиях, так и при проведении обслуживания. Таким образом, они просто предоставляют отправную точку, которая помогает принять решение, какая ширина окажется наиболее оправдана экономически и в эксплуатации при нормальных условиях для любого данного транспортного потока;

– перевод дороги в категорию магистрали рассматривается только при условии предполагаемого увеличения среднегодовой среднесуточной интенсивности движения более 28000 после 15 лет с момента ввода в эксплуатацию и, если есть намерения соединить ее с действующей национальной дорожной сетью или сделать ее частью новой магистрали длиной не менее 20 км.

Проектные потоки, рекомендованные для оценки дорог общего пользования, при выборе альтернативных конфигураций новой дороги таковы:

<i>Тип дороги</i>	<i>ССИД (трансп. средств)</i>
Обычная односторонняя проезжая часть (S2)	до 13,000
Широкая односторонняя проезжая часть (WS2)	10,000-18,000
Двойная двухполосная проезжая часть (D2AP)	11,000-30,000 (развязки в 1 уровне) 30,000-46,000 (развязки в разных уровнях)
Двойная трехрядная проезжая часть широкого назначения (D3AP)	40,000 и более
Двойная двухполосная магистраль (D2M)	28,000-54,000
Двойная трехполосная магистраль (D3M)	50,000-79,000

На первый взгляд, стандарты СНиП 2.05.02 обеспечивают расширение дороги при более низких транспортных потоках, чем нормы Великобритании, однако можно руководствоваться обоими при разработке норм строительства новых дорог в случае принятия решения

о строительстве новой дороги. Решение, тем не менее, где расширять или строить вторую проезжую часть, само по себе носит экономический характер. Оно включает оценку затрат и доходов по времени и расчет окупаемости. Великобритания, как один из примеров в Западной Европе, разработала для этого процедуру.

Решающим в определении, на каком уровне необходимо расширение, является падение скорости транспортных средств вследствие пробок. Дело не только в ширине проезжей части, но и в характере движения и мастерстве водителей. В Великобритании были проведены обширные исследования установления соотношений скорость – транспортный поток, которые наиболее соответствуют парку транспортных средств и поведению водителей.

Всемирный Банк финансировал углубленное изучение экономического анализа проектов дорог, перегруженных транспортом, которое особенно нацелено на рассмотрение того факта, что HDM-III не учитывает перегруженность движения и его влияние на скорость. Последние исследования с акцентом на соотношение «скорость – поток» приведены ниже.

Для анализа последствий перегруженности транспортом и ее влияния на скорость движения, время в пути и эксплуатационных транспортных затрат использовалась модель, известная как **HDM-Q**. Данная модель стала теперь частью системы **HDM** (Highway Design and Maintenance Model) 2000 года и предназначена для формирования основы при моделировании транспортной перегруженности в HDM-4.

Предполагается, что стандартизированные входные данные модели принимают во внимание местные условия стран СНГ в расчете на определение соответствующего порога транспортных потоков при расширении проезжей части с III до II категории и из II до категории I-б.

Одиночные транспортные средства, движущиеся по определенной дороге, принимают «свободную скорость», которая зависит от характеристик дороги и выбранной водителем скорости. По мере возрастания потока транспортные средства взаимодействуют, задерживая друг друга, снижая среднюю скорость, что влияет на расход топлива, время в пути и другие составляющие себестоимости для пользователя.

Модель Всемирного Банка использует *транспортный поток, выраженный скорее в эквивалентах пространства, занимаемого легковыми автомобилями (ЭПЛА)*, а не эквивалентными легковыми автомобилями. Это происходит потому, что различия в скорости и мощности транспортного средства рассматриваются отдельно и подстраиваются под различные условия отдельно по типу транспортного средства. Результат состоит в том, что факторы ЭПЛА ниже факторов ЭПЛА, используемых во многих исследованиях пропускной способности (такие как нормы СНиП). Получение данных ЭПЛА принимает в расчет как среднюю длину транспортного средства, так и среднюю дистанцию перед машиной и за ней при движении в потоке. Вдобавок, более громоздкие транспортные средства стремятся прижиматься к примыкающим полосам и, таким образом, базовые показатели ЭПЛА подстраиваются к верхнему показателю, чтобы учесть это. Рекомендуемые показатели ЭПЛА, применимые к автомобильному парку СНГ, приведены в табл. 32.4.

Таблица 32.4. Примерные показатели ЭПЛА для автомобильного парка СНГ

Тип транспортного средства	Средняя длина, м	Дистанция перед автомобилем, м	Общая занимаемая длина, м	Основной ЭПЛА	Рекомендованные уточненные данные
Легковой автомобиль СНГ	4,0	32,0	36,0	1,0	1,0
Западный легковой автомобиль	4,0	32,0	36,0	1,0	1,0
Микроавтобус	4,5	36,0	40,5	1,0	1,0
Автобус	12,0	44,0	56,0	1,6	1,8
2-осный грузовик	7,0	44,0	51,0	1,4	1,5
3-осный грузовик	7,5	48,0	55,5	1,6	1,8
Грузовик с прицепом	15,0	50,0	65,0	1,8	2,2
Седельный тягач СНГ	13,0	50,0	63,0	1,8	2,2
Западный седельный тягач	15,0	50,0	65,0	1,8	2,2

Кроме того, модель HDM-Q не учитывает следующие факторы, которые имеют отношение к перегруженности дороги:

- возможности обгона;
- варьирование скоростью на протяжении дороги;

- сдвиги режима эксплуатации дорог;
- немоторизованные пользователи дороги.

СНиП 2.05.02-85 обычно допускают больше возможностей для обгона на дороге с односторонней проезжей частью, чем сравниваемые с ними дороги Западной Европы. Модель не учитывает местные изменения скорости на протяжении всей дороги, целью здесь является пересмотр обобщенных норм, при которых нужно дорогу расширять и, поэтому, локальные изменения скорости здесь не важны. Эффект сдвигов в использовании дорог значительнее, особенно эффект распределения пиковых нагрузок или изменения времени поездок при достижении дорогой своей пропускной способности, однако он здесь не учтен.

Воздействие немоторизованных пользователей дорог, медленно движущихся сельскохозяйственных машин, а также фактор поломок на дороге не включены в модель, но их эффект может быть значительным для снижения категории дороги с односторонней проезжей частью. Чтобы учесть все это, применяется поправка (фактор вмешательства обслуживания) для дорог с односторонней проезжей частью: 0,60 от скорости самого медленного транспортного средства для категории III и 0,70 от скорости самого медленного транспортного средства для категории II.

В итоге, разработана обобщенная модель для анализа предложений по расширению дорог в СНГ. Эта модель выполнена в формате Microsoft Excel.

Модель анализирует три направления затрат:

- 1) затраты, вызванные потерей времени;
- 2) дополнительные затраты, вызванные сменой скоростного режима;
- 3) затраты по ДТП.

В качестве выходного документа используется протокол со всеми исходными данными, рассчитанными тремя направлениями затрат (приведены выше) и примерным составом транспортного потока. Можно отметить, что модель разрабатывалась в обобщенном виде. Тем не менее, параметры модели могут легко адаптироваться для любого конкретного проекта.

Расчеты, проведенные с использованием предлагаемой модели показали, что экономические потери на снижение пропускной способности для стран СНГ приблизительно составляют от 3,65\$ для легкового автомобиля до 13,84\$ для автобусов и седельных тягачей на 1км протяженности. Сюда включены все три направления затрат, которые анализирует модель.

32.8. Анализ покрытия расходов по расширению дорог

Цель этого анализа – необходимость пересмотреть существовавшие в бывшем Советском Союзе стандарты для определения граничных уровней в контексте текущей стоимости функционирования транспорта и ущерба от аварий.

Были рассмотрены два случая:

- расширение с категории III (7 м проезжей части, 8 м «дороги для передвижения») до категории II (7,5 м проезжей части, 9 м «дороги для передвижения»);
- расширение с категории II до категории I-б (2x7,5 м двойной проезжей части).

Модель HDM-Q использовалась для анализа трех направлений стоимости (стоимость простоя транспорта, дополнительные расходы из-за периодических эффектов изменения скорости и ущерба от дорожных происшествий) для интенсивности в диапазоне 2000-20000 транспортных единиц в день. Стоимостные направления для «схемы улучшения дорог» затем сравнивались с «минимальными» существующими стандартами проезжей части для определения чистой прибыли первого года. Эту чистую прибыль потом можно сравнить со стоимостью улучшения, чтобы определить переходную интенсивность транспорта, при котором улучшение дороги может быть оправдано.

Экономический анализ включает в себя сравнительную стоимость и прибыль для каждого года существования проекта с тем, чтобы определить, оправдан ли проект. Для того, чтобы провести реальное сравнение, принимающее во внимание временной элемент, необходимо привести направления будущей стоимости и прибыли проекта к общему знаменателю. Это делается путем дисконта двух направлений до подходящего уровня. С целью проведения этого обобщенного анализа использовалась основная ставка дисконта – 10%.

Была принята следующая стоимость сооружений:

- расширение с категории III до категории II: US \$ 300 000/км;
- расширение с категории III до категории I-б: US \$ 900 000/км.

В результате этого экономического анализа получены следующие результаты. В первом случае, относящемся к расширению с категории III до категории II, уровень рентабельности первого года – 10% показан при интенсивности намного превышающем 13000 транспортных единиц в сутки. Внутренний уровень рентабельности 10% достигается при 10860 единиц транспорта в сутки в начальный период и, с учетом 4 лет на планирование, проектирование и строительство, равно транспортному потоку примерно в 9300 единиц в сутки.

Во втором случае, относящемся к расширению с категории II до категории I-б, уровень прибыльности первого года 10% показан при интенсивности, немногим превышающем 18000 авт/сут в сутки. Внутренний уровень рентабельности в 10% достигается при 14550 единиц транспорта в сутки в начальный год и, с учетом 4 лет на планирование, проектирование и строительство, равно транспортному потоку примерно в 12400 единиц в сутки.

Сравнивая эти граничные транспортные потоки с рекомендациями, включенными в стандарты СНиП 2.05.02-85, оказывается, что сейчас уже нельзя экономически оправдать продолжающееся использование бывших стандартов в контексте текущей ситуации в СНГ.

Стандарты СНиП 2.05.02-85 показывают, что существующие дороги категории II могут быть расширены до двойной проезжей части при действительном, сегодняшнем потоке чуть меньше, чем 5000 транспортных средств в сутки и, используя подобные предположения, существующие дороги категории III могут быть расширены до категории II при действительных, сегодняшних потоках около 2000 единиц транспорта в сутки.

Можно выделить *два фактора*, которые оказали наибольшее влияние на это. Во-первых, значение времени, связанное с транспортными средствами и их пассажирами, значительно уменьшилось за последнее время, и, во-вторых, это последствия уменьшения субсидий (особенно на топливо и транспорт), что означает, что теперь расходы на строительство значительно выше, чем в прошлом.

Выводы, основанные на вышеуказанном анализе, сводятся к тому, что в контексте существующей экономической ситуации в СНГ, вероятнее всего, экономически неоправданно продолжать использование бывших стандартов СНиП в отношении расширения дорог и сводятся к следующим основным положениям:

1) нужно рассматривать необходимость расширения существующих дорог категории III до категории II при текущих потоках примерно в 9000 транспортных единиц в день, а расширение существующих дорог категории II до категории I-б нужно рассматривать при текущих потоках примерно в 12000 единиц в день;

2) испытания по чувствительности ясно показывают эффект от возросшего значения времени на экономическое оправдание проектов по расширению дорог. В будущем, когда экономика стран СНГ возродится и общая экономическая активность возрастет, значение времени, скорее всего, возрастет, и поэтому можно будет оправдать и расширение дорог при более низких транспортных потоках;

3) когда это случится, ущерб от дорожных происшествий тоже, скорее всего, возрастет, что, в свою очередь, увеличит потенциальную выгоду от схем расширения дорог;

4) после того, как строительство дорог начнет определяться действием рыночных законов и конкурсным тендером, цена строительства дороги, по-видимому, упадет.

Каждое из этих изменений будет означать, что в будущем проекты расширения дорог, скорее всего, будут оправданы и при более низком уровне транспортного потока.

В контексте этого исследования не было намерения переопределить действующие стандарты на предписывающей основе. Скорее, этот анализ был призван определить, почему существует необходимость пересмотреть стандарты, и есть надежда, что представленная обобщенная модель будет являться ценным инструментом для того, чтобы это сделать. Определение расширения дорог не просто техническая проблема, она включает в себя и политическое рассмотрение. Например, Дорожная Корпорация может решить, что она готова допустить уровень рентабельности ниже 10% на инвестиции в проекты расширения дорог. Главный вопрос состоит в том, что тот, кто принимает такое решение, должен знать о последствиях выполнения этого решения, особенно в свете более высокой потенциальной прибыли, которую можно получить в результате инвестиций в другие проекты.

Программа по содержанию основных дорог и инвестициям (июль 1995 года, Украина), включающая период с 1995 по 2000 год, предусматривает более US\$ 20 миллионов для

продолжения выполнения работ по реконструкции, большинство из которых состоит в улучшении существующих участков дорог категории II до стандарта двойной проезжей части категории I-б.

На основе анализа, проведенного выше, достижение внутреннего уровня рентабельности в 10% на эти инвестиции предполагает интенсивность движения по улучшенной дороге более чем в 12000 авт./сут. В Украине участки дорог, через которые проходят такие транспортные потоки, уже расширены.

При анализе экономической эффективности от строительства новых магистральных дорог в Украине, западные консультанты полагают, что 10% внутренний уровень рентабельности будет достигнут, если реализация этих проектов будет осуществлена примерно в 2013 году.

Из этого анализа также ясно, что экономия расстояния особенно важна при определении потенциальной выгоды от этого или других проектов автодороги. С тем, чтобы достичь максимальной выгоды, необходимо, чтобы автодорога проходила как можно ближе к желаемому маршруту.

32.9. Характеристики транспортного потока

При транспортном планировании необходимо правильно прогнозировать интенсивность движения автотранспорта, которую следует ожидать на дороге или в дорожной сети, которая подвергается оценке.

Интенсивность транспорта, однако, сильно возрастает в определенные времена года и в определенные часы суток. Поэтому при транспортном планировании должно учитываться поведение автотранспорта в целом, которое должно анализироваться на основании следующих факторов.

1. Интенсивность движения. Существуют три циклических колебания интенсивности движения, представляющие особый интерес для транспортного планирования:

- способ, которым интенсивность изменяется на протяжении суток;
- суточные колебания на протяжении недели;
- сезонные колебания на протяжении года.

Кроме этого, должно быть известно распределение транспорта по направлениям и то, как меняется его состав. Глубокое понимание всех этих вопросов является основным требованием к любой программе планирования развития транспортной сети.

2. Почасовые режимы. На основании данных, собранных в городских и загородных контрольных точках, были разработаны типовые *почасовые режимы транспортного потока по всей Великобритании*. Эти типовые почасовые режимы транспортного потока включают некоторые характеристики, представляющие особый интерес. Первым и наиболее важным является то, что режим в рабочие дни недели остается практически неизменным и летом, и зимой. Наблюдается утренний пик около 8.30 утра, после которого следует снижение интенсивности до и после полудня, после чего наблюдается нарастание вплоть до вечернего пика около 5.30 дня, после чего интенсивность движения снова начинает снижаться и достигает своего минимума примерно в 4 часа утра.

Несмотря на то, что режим с понедельника по пятницу остается относительно устойчивым, во время дней отдыха он может колебаться значительно. Режимы различны не только между субботой и воскресеньем, но и между выходными в различные времена года.

Наиболее существенными колебаниями являются:

- отсутствие утреннего пика, как такового, по выходным;
- более выраженный пик по воскресеньям в зимнее время;
- существенный сдвиг и распределение вечерних выходных пиков между зимой и летом.

Эти режимы являются усредненными обобщенными данными, полученными в 50 общенациональных точках наблюдения в Великобритании в июле и январе соответственно.

Однако реальный режим на конкретной дороге может существенно отличаться от приведенных данных. Например, интенсивность транспорта не только выше на городских дорогах, чем на загородных, но он также более сконцентрирован в пиковые часы суток.

Интенсивность в пиковые часы более выражена и направлена на городских радиальных улицах. Городские кольцевые дороги, однако, не имеют таких острых пиков. Длитель-

ность пиковых потоков также колеблется значительно; некоторые дороги имеют высокие острые пики, в то время как на других пики могут быть не столь высоки, но более критичны по причине своей длительности.

Данные, которые собирались в тех же городах позднее, отражали те же общие тенденции. Поэтому, несмотря на то, что интенсивность движения может нарастать, относительный ее процент в различные часы суток, например, в июле будет оставаться довольно устойчивым из года в год.

3. Суточные режимы. Проезжаемые расстояния колеблются значительно в зависимости от времени года. В Великобритании потоки в будни проявляют удивительное постоянство, как и субботные потоки, в то время, как движение по воскресеньям колеблется значительно от одной недели к другой.

Зимой интенсивность движения по выходным в целом и по воскресеньям, в особенности, ниже, чем в будни. Однако, по мере улучшения погодных условий интенсивность движения по выходным возрастает, особенно по воскресеньям.

Интенсивность движения транспорта по праздничным дням в Великобритании всегда выше, чем в любой другой день недели в обоих направлениях. Более того, интенсивность движения по праздничным субботам и воскресеньям выше, чем в предшествующие и последующие субботы и воскресенья. Кроме того, рабочие дни, предшествующие праздничным выходным и следующие после них, также имеют более интенсивное движение, чем обычные рабочие дни в это время года.

Режим движения на любой конкретной автомагистрали может отличаться значительно в зависимости от местоположения и назначения. Например, приморский курорт или туристический центр будут соединяться дорогами, по которым наблюдается интенсивное движение транспорта по выходным, причем объемы будут существенно различны летом и зимой.

Кроме того, загородная дорога, которая служит в основном вспомогательной для фермерского региона, может демонстрировать меньшие колебания интенсивности в различные дни недели и месяцы года, чем, например, дорога общего пользования, которая регулярно используется дальнебойным транспортом.

4. Месячные и годовые режимы. В Великобритании также собирается информация по месячным и годовым колебаниям интенсивности движения легковых автомобилей и легких грузовиков. Эти данные демонстрируют устойчивые сезонные тенденции по отношению к легковым автомобилям, в то время как грузовой транспорт малой и большой грузоподъемности имеет гораздо менее выраженные тенденции. *Основным выводом* из собранной информации является то, что похожие месячные и годовые режимы можно надежно использовать для целей прогнозирования интенсивности.

5. Зависимость от цен на топливо. Следует ожидать, что уровень реальных цен на нефть будет возрастать, поэтому полезно проанализировать то влияние, которое цены на топливо, уплачиваемые пользователем автомобиля, оказывают на характер его поездок.

Значительные колебания в ценах на топливо наблюдались с 1973 года, поэтому сейчас можно получить надежные оценки гибкости запросов на передвижение по отношению к ценам на бензин.

После того, как мы примем во внимание такие факторы, как изменения в реальных тарифах на общественный транспорт, индекс промышленного производства, реальный индекс заработной платы, внутренний валовой продукт на душу населения, безработицу среди взрослого населения и изменения погодных условий, наш анализ приведет к выводу, что когда реальные цены на бензин увеличивались на 1%, наблюдалось снижение машино-километров в диапазоне от 0,10 до 0,17%. Изменчивость по отношению к ценам на дизельное топливо для большегрузных транспортных автомобилей оказалась близкой к нулю.

6. Зависимость от погодных условий. Погода также оказывает влияние на интенсивность движения транспорта. В летние месяцы длина поездок велика, в то время как зимой она сокращается. Это имеет особое значение для стран с более суровым континентальным климатом, например, для Беларуси.

Исследования, проведенные в Великобритании, также показывают, что в любое время года в месяцы, которые влажнее обычного, интенсивность движения также ниже обычного. Эта разница, как было обнаружено, является статистически значимой, но не очень большой.

7. Распределение в зависимости от направления. Другим важным фактором в дорожном планировании является распределением транспортного потока по направлениям.

Рассмотрим случай двухполосной проезжей части, рассчитанной на пропускную способность в 4000 авт./час. Если распределение транспорта по направлениям составляет 50/50, то двух полос движения в каждом направлении достаточно, чтобы пропустить указанную интенсивность. Если, однако, в каком-либо направлении в любое данное время интенсивность оказывается равной 70%, то может потребоваться организация трех полос в каждом направлении для обеспечения эквивалентного уровня услуг для транспорта на данной автомагистрали.

Этот пример распределения 70/30 может показаться экстремальным, однако существуют реальные примеры дорог с устойчивым распределением движения 70/30 во время утреннего пика и 40/60 – во время вечерних пиковых часов.

Реальное распределение, которое закладывается в проект, может быть определено только на месте в результате полевых измерений. Если реконструкции подлежит существующая дорога, то полевые исследования можно выполнить на ней предварительно. Если предстоит строить совершенно новую магистраль, измерения должны выполняться на соседних дорогах, откуда мы рассчитываем перенаправить транспорт на новую.

Наиболее важным свойством распределения по направлению является то, что оно также относительно устойчиво и не изменяется существенно из года в год. Поэтому соотношения, установленные на основе имеющегося транспорта, обычно можно применять для прогнозных оценок.

8. Структура транспорта. Легковые автомобили, автобусы, грузовики, мотоциклы и велосипеды имеют различные эксплуатационные характеристики, поэтому, для целей сравнения им может быть придана различная весомость, чтобы оценить различный вклад каждого из видов в общий транспортный поток при его движении. Для оценки проектной пропускной способности дороги необходимо определить процент, который будут составлять различные типы транспортных средств в расчетный период эксплуатации дороги.

Общенациональная статистика числа зарегистрированных автомобилей может стать хорошей отправной точкой для такого анализа. Однако следует проявлять осторожность, поскольку такие цифры не включают незарегистрированные (незаконные) транспортные средства, число которых может оказаться значительным.

В любом случае общенациональное пропорциональное распределение транспортных средств по типам можно принять как отражающее реальный состав транспортного потока в любом конкретном месте или в любое конкретное время суток.

Общее правило состоит в том, что состав транспортного потока изменяется в зависимости от обслуживаемой им местности. Промышленные районы имеют относительно большое число грузовых транспортных средств, в то время как в жилых районах их число будет относительно невелико.

В любом случае процент грузовых транспортных средств в общем потоке будет меньше в пиковые часы, чем в другие часы суток, поскольку количество легковых автомобилей на дороге является наивысшим в эти периоды суток.

Реальные величины, необходимые для целей планирования и проектирования, лучше всего определить в процессе полевых исследований. Как правило, структура транспортного потока, определенная из текущих цифр, может считаться устойчивой и пригодной для целей проектирования в будущем.

32.10. Измерения интенсивности транспортного потока на дорогах

При планировании новой или реконструированной дороги необходимо знать распределение и характеристики транспортного потока на существующих дорогах. Это нужно не только для прогнозирования поведения транспортного потока в будущем, но и для оценки того, обоснованы ли вносимые изменения, а также, какие приоритеты должны быть при модернизации дорог. Измерения потока автотранспортных средств и его скоростей необходимо проводить практически при любых исследованиях по планированию на всех автомагистралях.

Термины «*транспортный поток*» и «*интенсивность движения*» используются равнозначно для определения количества транспортных средств, которые проходят через данную точку на дороге за данный отрезок времени. Это, пожалуй, наиболее важный статистический показатель для дорожного планирования.

Если исследования проводятся в сочетании с классификацией типов транспортных средств, они могут оказаться особенно полезными для определения пропускной способности дорог в экономических исследованиях автомагистралей. Они также могут использоваться для определения коэффициентов коррекции, которые могут применяться к автоматическому счету транспортных средств и к определению геометрических параметров проекта, это касается как примыканий, так и пересечений.

Как уже указывалось ранее, характер поведения интенсивности транспорта и режимов на протяжении года и из года в год являются предсказуемыми для аналогичных типов автомагистралей. Так, данные о потоке транспорта, собранные за относительно короткий период времени на отдельных автомагистралях, можно часто масштабировать с целью получения суточных, недельных, ежемесячных, сезонных или годовых колебаний.

Существует множество различных методов получения данных об интенсивности. В общем, они разделяются на *две категории*:

- процедуры автоматического счета;
- процедуры подсчета вручную.

Процедуры автоматического счета заключаются в использовании постоянных или полупостоянных приборов, которые автоматически подсчитывают и фиксируют информацию.

Самый значительный объем транспортного счета, особенно, когда требуются данные за длинные периоды времени, выполняется с использованием автоматических счетных процедур. Как правило, такое оборудование состоит из приборов, которые определяют прохождение транспортного средства, и счетного механизма, который записывает поступившие импульсы обнаружения.

Существуют следующие типы приборов обнаружения транспорта.

1. *Пневматическая труба* в виде шланга, которая используется, в основном, для кратковременного подсчета транспортных средств, представляет собой отрезок резинового шланга, протянутый поперек проезжей части и прикрепленный к ней шпильками через каждый метр. Один конец шланга заварен (оставлено только маленькое отверстие для воздуха, задачей которого является снижение силы воздушных волн в трубе), а другой конец прикреплен к диафрагменному счетчику, который работает от давления воздуха. При проезде колес образуется воздушный импульс, который проходит по шлангу и выгибает диафрагму наружу до точки контакта, чем замыкается электрическая цепь, приводящая в действие самописец, установленный на обочине дороги.

2. *Электронная контактная лента* постоянного применения представляет собой устройство, состоящее из стальной плиты основания под контактной площадкой из вулканизированной резины, включающей ленту подпружиненной стали, удерживаемой с зазором, которая заглубляется в дорожное покрытие проезжей части. Зазор между двумя металлическими контактами заполняется сухим инертным газом на этапе сборки, который герметизируется в процессе вулканизации. В момент, когда каждая ось транспортного средства проезжает по площадке, возникает положительное замыкание электрического контакта, включающее самописец. Такой контактный ленточный детектор имеет то преимущество, что является самостоятельным прибором, который можно установить на каждой полосе движения, что позволяет подсчитывать интенсивность по полосам.

3. *Индуктивные контурные детекторы* очень широко используются в Великобритании, особенно на пунктах постоянного счета на дорогах с высокой интенсивностью движения, таких как автомагистрали. Они предназначены для счета транспортных средств, а не осей, поэтому, в отличие от данных, полученных на ранее указанных детекторах, получаемая в этой системе информация не требует дальнейшей корректировки по осевому фактору.

Такие детекторы имеют очень длительный срок службы (как правило, около 6 миллионов транспортных средств, перед тем как происходит отказ компонента или настройки). Проблема учета транспортных средств в момент обгона также решается при использовании такого детектора, то есть, когда два или более контура вмонтированы в различные полосы одной и той же проезжей части, ошибка подсчета из-за одновременного прохождения двух или нескольких транспортных средств исключается за счет использования «логико-последовательного модуля», установленного между детектором (к которому присоединен контур) и счетчиком, расположенным у дороги.

4. *Прочие типы приборов обнаружения транспортных средств.* Другими менее распространенными типами приборов обнаружения транспортных средств являются:

– *магнитные детекторы*, состоящие из катушки, намотанной на магнитный сердечник, расположенный в полотне проезжей части, которая обнаруживает остаточное магнитное поле, переносимое движущимся транспортным средством в результате его перемещения внутри магнитного поля земли;

– *детекторы на основе неподвижного радара*, который подвешен над проезжей частью и постоянно передает/принимает радиосигналы. Всякий раз, когда частота отраженной волны отличается от частоты передаваемой, происходит обнаружение транспортного средства на той полосе, которая охвачена детектором;

– *ультразвуковые детекторы.*

Существуют следующие типы счетных механизмов, которые используются в совокупности с приборами обнаружения, описанными выше. Они включают:

– *простой суммирующий счетчик*, который считывается непосредственно и по мере необходимости наблюдателем. Он не дает распечаток, за исключением накопленной суммы за установленный конкретный промежуток времени;

– *усовершенствованный накопительный счетчик*, который по срабатывании временного механизма выдает распечатку результатов на бумажной ленте через установленные интервалы, например, каждые 15 минут каждого часа;

– *счетчик, использующий круговой шкальный самописец*, который может зафиксировать интенсивность транспорта до 1000 единиц, используя интервалы отсчета в 5, 10, 15, 20, 30 и 60 минут в течение 24 часов все семь дней недели. Принцип такого счетчика очень прост: круглая шкала с миллиметровой бумагой вращается с постоянной скоростью и, по мере прохождения транспортных средств мимо детектора, перо самописца перемещается на одно деление и записывает, таким образом, интенсивность;

– *самописец с перфолентой* обеспечивает автоматическую перфорацию бумажной ленты, установленной у дороги и проходящей через транслятор, который, будучи присоединен к дыропробивной машине, создает перфоленту, которая позднее может быть введена в компьютер для анализа. Такой счетчик состоит из памяти входных импульсов, интервального таймера и механизма перфорации и сброса;

– *электронный самописец с микропроцессором*, такой тип самописца является современным вариантом перфоленты, который запоминает информацию и обеспечивает ее прямую перегрузку в компьютер в форме файла ASCII.

Операции автоматического счета дают только ограниченную информацию о числе транспортных средств, которые проходят мимо самописцев. Может потребоваться более подробная информация, например, точное число транспортных средств, классифицированных по типам. В этом случае можно использовать ***ручные процедуры счета с классификацией.***

Применение ручного счета с классификацией подразумевает использование полевого персонала, который записывает требуемые данные в предварительно заготовленные учетные таблицы или с помощью счетчиков ручного действия. Преимущества ручного счета заключаются в том, что цифры получаются более точными, данные – более конкретны и, в общем, упрощается процесс дальнейшей камеральной обработки.

Однако обычно получение информации таким образом обходится дороже, поэтому применение ручного счета обычно ограничивают короткими отрезками времени. Как правило, наблюдатели могут сосчитать до 1200 транспортных средств в час интервалами по 15 минут при уровне ошибки счета менее 2%.

Исследования, выполняемые ***перемещающимся наблюдателем***, также могут быть чрезвычайно полезными для сбора классифицированной транспортной информации. Такой наблюдатель записывает информацию в заранее приготовленные бланки наблюдений, перемещаясь в исследовательском автомобиле. Базовый метод требует, чтобы автомобиль исследователя двигался вверх и вниз по тестовому участку автомагистрали заданное число раз, двигаясь на заданной средней скорости и отмечая время проезда и число транспортных средств обгоняемых и, которые обгоняют его.

Если необходимо выразить интенсивность движения транспортных средств в час, то она задается следующей формулой

$$q = \frac{60 \cdot (x + y)}{t_a + t_w}, \quad (32.1)$$

где q – интенсивность движения в одном направлении (транспортных единиц в час); x – число транспортных единиц, встреченных во время проезда навстречу оцениваемому потоку; y – число транспортных средств, обогнавших наблюдателя, минус число транспортных средств, которые он обогнал, двигаясь с наблюдаемым потоком; t_a – время проезда против оцениваемого потока, мин.; t_w – время проезда в оцениваемом потоке, мин.

В Великобритании министерство транспорта выполняет различные переписи и исследования в области транспорта, большинство которых выполняется по стандартным процедурам в течение многих лет. Основная программа непрерывных работ преследует три основные цели.

1. *Статистическая цель* – дать численное описание транспортных характеристик на общенациональной сети дорог.

2. *Техническая цель* – предоставить информацию о транспортном потоке.

3. *Функциональная цель* – получение определенных непрерывных круглогодичных измерений транспортного потока на автомагистралях различного типа, чтобы определить режимы почасового движения и сезонные колебания.

Генеральная перепись транспорта предусматривает сбор данных о транспортных средствах, которые записываются вручную и предусматривают классификацию по различным классам, в частности, мотоциклы, легковые автомобили, легкие грузовики, микроавтобусы и автобусы, несколько подклассов большегрузных автомобилей (двухосные, трехосные с жесткой рамой, четырехосные с жесткой рамой, трехосные с ломающейся рамой, четырех- и более осные с ломающейся рамой), а также (возможно) данные о педальных велосипедах или автомобилях с трейлерами. Это представляет собой «ежегодную» перепись, которая охватывает автотрассы, основные автомагистрали и главные дороги, при этом реальные точки подсчета выбираются так, чтобы представлять всю дорожную сеть общенациональной системы.

В настоящее время замеры делаются в 6250 точках, при этом происходит ротация точек таким образом, что в каждой из них подсчеты выполняются один раз в 4-5 лет. Подсчеты обычно проводятся в воскресенье и понедельник в течение 16 часов, чаще всего в августе; однако, 25% точек подвергаются пересчету с целью сезонной проверки в апреле или мае следующего года.

200-точечная перепись аналогична генеральной переписи транспорта за исключением того, что педальные велосипеды подсчитываются всегда, а мопеды и мотороллеры подсчитываются отдельно от мотоциклов. Важной особенностью этой ручной переписи является то, что она производится ежемесячно на произвольно выбранном множестве точек. Ее основная цель заключается в анализе тенденций к дальности поездок в общенациональном масштабе, хотя собранные данные также используются для оценки сезонных колебаний интенсивности по различным классам транспортных средств.

50-точечная автоматическая перепись является единственной непрерывной общенациональной переписью, в которой использованы магнитные контуры, заложенные в проезжую часть, или в пневматические трубки, укрепленные на поверхности дорожного полотна и предназначенные для автоматического транспортного счета. Такая перепись является стандартным источником информации по транспортным потокам, которые не разделяются по часам, суткам и месяцам на протяжении всего года.

В настоящее время наблюдается нарастающая тенденция к использованию и анализу данных посредством автоматических средств. Ключевым моментом здесь является *использование микропроцессоров* как составной части инструментария, применяемого на объекте.

Системы управления от микропроцессоров имеют то преимущество, что отличаются чрезвычайной гибкостью, например, могут одновременно принимать входные сигналы от множества датчиков, производить соответствующие вычисления и выдавать данные в совместимой с другими компьютерами форме в целях дальнейшего анализа по необходимости. Каждая единица такого оборудования может использоваться для решения множества задач просто путем соответствующих изменений в управляющей программе. Форма, содержание и время выдачи информации могут постоянно находиться под контролем пользователя так, что можно собирать только те данные, которые необходимы для непосредственных

исследований. Хранить данные можно на магнитной ленте, в памяти или на терминальном принтере. Принтер особенно удобен для выполнения калибровок на объекте; он может также рационально использоваться для краткосрочного сбора информации, а также для подтверждения записей на магнитной ленте. Процессор также может выдавать данные в телекоммуникационную линию для передачи на центральный компьютер.

32.11. Исследования скорости

Термин «скорость движения» часто используется достаточно широко при описании скорости движения транспорта. Для инженера-дорожника существует много различных типов скоростей, каждая из которых описывает скорость перемещения транспорта в конкретных условиях и для конкретных целей. Скорости автотранспортного средства, представляющие наибольший интерес, таковы:

- мгновенные скорости;
- скорости пробега (рабочие скорости);
- скорости сообщения.

32.11.1. Способы и анализ результатов измерения мгновенной скорости

Мгновенная скорость представляет собой точечную скорость транспортного средства в конкретном месте. Она может быть использована как свидетельство воздействия конкретных ограничений транспортного потока, например, перекрестков или мостов. Поскольку мгновенные скорости на идеальном участке автомагистрали являются показателем тех скоростей, которые желательны для водителей, они могут использоваться в целях геометрического проектирования на модернизируемых или новых дорогах. Мгновенные скорости можно также использовать для определения вводимых ограничений скорости.

Места, в которых производятся замеры мгновенной скорости, выбираются в зависимости от целей измерения, но в любом случае они должны проводиться таким образом, чтобы снизить до минимума влияние наблюдателя и измерительного оборудования на получаемые значения. Поэтому важно, чтобы и наблюдатель, и оборудование были как можно лучше замаскированы.

В случае, если нет возможности измерить скорости всех транспортных средств, они должны выбираться произвольно из транспортного потока для того, чтобы избежать пристрастности в результатах. Так, например, каждый десятый автомобиль из тех, регистрационные номера которых оканчиваются на выбранную цифру, должны быть подвергнуты измерению мгновенной скорости; не следует оставлять на выбор наблюдателя определение тех автомобилей, скорость которых он будет измерять.

Существует шесть основных методов измерения мгновенных скоростей.

1. Метод прямого секундометрирования. Это самый простой метод ручного определения мгновенной скорости, который заключается в измерении времени, которое необходимо транспортному средству, чтобы проехать короткий отрезок дороги. Две базовые точки располагаются на проезжей части на определенном расстоянии одна от другой, а наблюдатель запускает и останавливает секундомер в момент, когда транспортное средство въезжает и выезжает из тестового участка.

Хотя это самый простой метод сбора информации о мгновенной скорости, он имеет очевидный недостаток, поскольку подвержен эффекту параллакса. Такая ошибка приобретает особое значение в длительных измерениях, когда наблюдатель может неизбежно поменять точку наблюдения.

2. Метод контактной полосы давления. В этом методе используются две контактные полосы, как правило, два пневматических шланга (каждый с внутренним диаметром 12,7 мм и наружным диаметром 25,4 мм), уложенных поперек проезжей части на фиксированном расстоянии друг от друга. Когда транспортное средство проезжает по первому шлангу воздушный импульс мгновенно посылается вдоль шланга и приводит в действие времяизмерительный прибор в руках наблюдателя. Когда происходит нажатие на второй шланг теми же самыми колесами транспортного средства, секундомер автоматически останавливается, после чего отмеченное время можно считать либо визуально, либо с помощью автоматического самописца данных. В таких приспособлениях обычно предусматривается возможность переключения направления от старта до финиша, поэтому можно измерять

скорость в обоих направлениях. Во избежание неверных измерений по причине обгона, совершаемого на контактных полосках, наблюдатель может иметь возможность блокировки, которая не дает возможность записывать потенциально неверные данные.

Этот метод относительно дешев, портативен, не требует специально подготовленного персонала и обслуживания, дает достаточно точные результаты измерения скорости и может иметь относительно долгий срок службы на дорогах с невысокой интенсивностью. Однако контактные полоски подвержены износу и разрыву от движущегося транспорта, а также дорожного очистного оборудования и снегоочистительных щитов, а также вандализму. Установка контактных полос также требует приостановки движения транспорта на достаточно длительный период времени, так как необходимо предпринять соответствующие меры безопасности.

3. Использование детекторов с индуктивным контуром. Два проволочных контура вделываются в покрытие проезжей части, на известном расстоянии один от другого, а энергия в радиочастотном диапазоне на 85-115кГц подается в эти контура и настраивается таким образом, чтобы избежать помех от электрических цепей, которые питают контура. Когда транспортное средство проходит над контуром, это вызывает изменения его индуктивности, которое в свою очередь вызывает либо амплитудный (частотный), либо фазовый сдвиг, чем записывается присутствие транспортного средства. После этого можно измерить скорость транспортного средства, определив временной зазор между последовательными выходными импульсами двух детекторов.

Преимущество системы с индуктивными контурами заключается в том, что их очень легко устанавливать, они не подвержены износу, поскольку заложены внутрь дорожной одежды, и они способны обнаруживать самые малые транспортные средства. Еще одним преимуществом является то, что можно относительно просто оставить заложённые контуры на месте и использовать усилитель в новой точке измерения.

Недостатки включают относительно высокую стоимость монтажа контуров и тот факт, что по соображениям безопасности необходимо перекрывать движение транспорта на момент монтажа.

4. Использование радарных спидометров. Когда он приведен в действие, пучок чрезвычайно высокой частоты направляется из радарного спидометра на движущийся объект. Волны отражаются от транспортного средства, но по причине «эффекта Доплера» эти отраженные волны имеют несколько отличную частоту от испускаемых. Это различие, которое можно измерить непосредственно, пропорционально скорости, на которой движется данное транспортное средство. При условии, что пучок передатчика удерживается в пределах конуса расходимости около 20 градусов относительно оси перемещения транспортного средства, мгновенная скорость может обычно измеряться с точностью около 2 процентов при использовании радарного спидометра обычного типа.

Радарный спидометр может быть стационарным (например, установленным на столбе над проезжей частью) или портативным, при этом с ним работают с обочины проезжей части на высоте около 1 м над уровнем земли. Его зона действия обычно составляет расстояние около 45 м, при этом он может измерять любые скорости в пределах этой зоны, вне зависимости от того, приближается объект или удаляется.

Недостаток, свойственный такому спидометру, заключается в том, что очень трудно получить скорость отдельных транспортных средств в насыщенном транспортном потоке, где отдельные транспортные средства обгоняют (заслоняют) друг друга. Подсчитано, что работать с таким спидометром становится очень трудно на двухполосных дорогах, когда интенсивность движения превышает 500 единиц в час. Американский опыт показывает, что положительное распознавание всех индивидуальных скоростей становится невозможным тогда, когда интенсивность транспорта превышает примерно 1000 единиц в час на многополосных магистралях.

Основными преимуществами радарного спидометра являются его простота в обращении, мобильность (для портативных типов), отсутствие повреждений от движущегося транспорта и невосприимчивость к электромагнитным помехам. Недостатками являются относительно высокая стоимость и необходимость наличия опытного персонала для монтажа (стационарного типа) и содержания оборудования.

5. Использование звуковых детекторов. Звуковые (сонарные) детекторы также используются для измерения мгновенных скоростей. По аналогии с радарными спидометрами

они работают на принципе направления пучка ультразвуковой энергии на частоте 18-20 кГц в направлении проезжей части и восприятия частотного сдвига ультразвукового тона, когда волны отражаются от движущегося объекта. Выходом прибора является напряжение постоянного тока, которое пропорционально скорости транспортного средства. Преимущества и недостатки этого типа детекторов такие же, как и у радарного спидометра.

6. Использование замедленной киносъемки. На сильно насыщенных автомагистралях, таких как автотрассы, мгновенные скорости можно измерить с высокой точностью посредством фотографий (кадров), полученных кинокамерой замедленной съемки. Такая камера делает фотографии через фиксированные интервалы времени, в результате чего получается постоянная запись всех перемещений транспортных средств в пределах поля зрения камеры. После того как пленка проявлена, скорость любого типа транспортного средства, которое присутствовало в транспортном потоке, может быть определена путем сравнения его позиции на проезжей полосе на последовательных кадрах экспонирования.

Основные недостатки, связанные с использованием метода кинокамеры, заключаются в относительно большом времени, которое требуется, и в расходах, которые необходимы для проявления пленки и анализа данных (если только не используется самое современное оборудование анализа). Основным преимуществом такой системы, безусловно, является то, что мы получаем постоянную визуальную запись поведения всего транспорта на наблюдаемом объекте. Указанные недостатки частично нивелируются применением цифровых камер и автоматизированной передачей в центр управления, но их стоимость все еще остается высокой.

Мгновенные скорости, измеренные в конкретном месте, будут значительно различаться, а степень отличия будет зависеть от количества, типов транспортных средств и состояния дорожного полотна. Поэтому при анализе данных необходимо предварительно тщательно уяснить, какая информация необходима. Некоторые из желаемых величин могут быть легче всего получены методом графической интерпретации, в то время как другие можно легко вычислить непосредственно из данных полевых измерений. Полученные измерения мгновенной скорости обрабатываются с применением графического и математического анализа.

Графический анализ. Применяемыми методами графической интерпретации мгновенных скоростей являются частотный график, гистограмма и кумулятивный график распределения мгновенных скоростей.

Частотный график является чрезвычайно полезным предварительным средством определения статистической нормальности данных. Если измерения распределяются по нормальному закону, частотный график будет иметь форму колокола. Типовая скорость, которая представляет собой мгновенную скорость, наблюдаемую чаще всего, легко может быть получена в верхней части частотного графика.

Кумулятивный график распределения мгновенных скоростей получается путем вычерчивания накопленного процента в зависимости от скорости с последующей прорисовкой плавного S-образного графика через полученные точки. Такой график наиболее полезен при определении скоростей, выше или ниже которых перемещается определенный процент транспортных средств.

Медианной скоростью является скорость 50-процентной обеспеченности. Это такая скорость, относительно которой количество транспортных средств, которые едут быстрее, равно количеству транспортных средств, которые едут медленнее. Скорость 85-процентной обеспеченности на конкретной автомагистрали также используется как мера проектной скорости, которая может быть выбрана для аналогичных новых автомагистралей. Скорость 15-процентной обеспеченности обычно рассматривается как величина скорости, которая должна быть использована как нижний предел скорости на крупных автомагистралях, таких как автотрассы. Транспортные средства, которые едут медленнее этой величины на высокоскоростных дорогах, представляют собой потенциальную аварийную угрозу и помеху транспортному потоку.

Математический анализ. В исследованиях мгновенной скорости, вероятно, наиболее часто используемой статистической величиной является арифметическая средняя или усредненная мгновенная скорость. Она представляет собой сумму всех переменных значе-

ний скорости, деленную на число наблюдений. Математически это выражается в следующем виде

$$x = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}, \quad (32.2)$$

где x – средняя мгновенная скорость; x_j – j -тая мгновенная скорость, n – число наблюдений.

Обычно весь массив данных группируется по интервалам классов скоростей. Соответствующий размер интервала класса может быть получен из следующего уравнения

$$C_i = \frac{R}{1 + 3,32 \cdot \log n}, \quad (32.3)$$

где: C_i – интервал класса скорости; R – диапазон между наибольшей и наименьшей скоростями, n – количество измерений.

Когда данные сгруппированы в интервалы классов скоростей, усредненное значение можно получить из следующего уравнения

$$x = \frac{\sum f_i \cdot x_i}{n}, \quad (32.4)$$

где x – усредненная мгновенная скорость; x_i – усредненная скорость в i -том интервале скоростей, f_i – частотность в i -той группе.

Статистической мерой дисперсии мгновенных скоростей является вычисление стандартного отклонения из множества наблюдений. Такую оценку можно получить после предварительного определения отклонения в выборке с последующим извлечением положительного квадратного корня из отклонения. Математически это можно выразить следующим образом:

$$s^2 = \frac{(x_j - x)^2}{n}, \quad s = \sqrt{s^2}, \quad (32.5)$$

где s – стандартное отклонение распределения; s^2 – дисперсия выборки; x_j – j -тая мгновенная скорость; x – усредненная мгновенная скорость.

В качестве индикатора дисперсии при наблюдении мгновенных скоростей можно анализировать процент данных, которые находятся в пределах диапазона арифметического среднего плюс-минус одно стандартное отклонение, плюс-минус два стандартных отклонения и плюс-минус три стандартных отклонения.

Статистическая величина, которая обозначает достоверность, с которой арифметическая средняя выборки может рассматриваться в качестве реального среднего всех зафиксированных скоростей транспортного потока, является стандартной погрешностью среднего. Она определяется путем вычисления отклонений среднего с последующим извлечением квадратного корня, т.е.

$$s_x^2 = \frac{s^2}{n}, \quad s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (32.6)$$

где: s_x – стандартная погрешность среднего, s_x^2 – дисперсия среднего.

Обычно выделяют процент достоверности того, что реальная средняя из всех мгновенных скоростей лежит в интервале между средней величиной плюс-минус две стандартные погрешности среднего.

Исследование мгновенных скоростей с помощью радара было выполнено в ноябре 1995 года на шоссе М17 на расстоянии около 27 км от Киева. Исследование проводилось в период, равный примерно 4 часам от 9.20 до 15.40. Погодные условия были прохладными (+3°C), но воздух и поверхность дорожного полотна были сухими. Отдельные измерения мгновенной скорости проводились на 10 категориях транспортных средств.

Оборудование, которое использовалось в исследованиях, представляло собой радарный спидометр «Барьер-2» с диапазоном измерения скоростей от 20 до 199 км/час. Ошибка измерения скорости составляла ± 1 км/час, а расстояние, на котором определялась скорость, составляло 300 м. Оборудование питалось от автомобильного аккумулятора напряжением

12 В, которое выводилось из гнезда зажигалки легкового автомобиля. Оборудование было предварительно откалибровано и сертифицировано на соответствие ГОСТам.

Место для исследований было выбрано таким образом, чтобы свести к минимуму отрицательные влияния как вертикальной, так и горизонтальной трассировки (участок был плоским и прямым) при сравнительно низкой шероховатости. Поэтому зафиксированные скорости представляли собой скорости «свободной езды» и не ограничивались геометрическими параметрами автомагистралей. Транспортные средства в состоянии торможения или разгона, а также такие, которые испытывали помеху со стороны других транспортных средств, не фиксировались. Автомобиль, из которого велось наблюдение, был замаскирован как можно тщательнее позади крупного дорожного знака, чтобы свести к минимуму восприятие водителями радарного спидометра. Консультант был в курсе того, что возрастающее количество импортируемых с Запада автомобилей теперь снабжено оборудованием для обнаружения радарного спидометра, поэтому могли наблюдаться такие случаи, когда некоторые из этих автомобилей будут намеренно замедлять ход, обнаружив наличие контрольного оборудования. Тем не менее, три автомобиля были зафиксированы на скоростях 140 км/час и выше, но это обстоятельство не повлияло существенно на результаты обследования.

Результаты были проанализированы в соответствии со стандартной статистической практикой и приведены в таблице 32.5. Эта таблица включает среднюю скорость для каждой категории транспортных средств, дисперсию, стандартное отклонение и стандартную погрешность среднего. Процент достоверности того, что реальная средняя всех мгновенных скоростей лежит в диапазоне среднего плюс-минус две стандартных погрешности среднего, также приводится в таблице.

Рис. 32.2 показывает пример анализа результатов для западного легкового автомобиля, которые изображены графически в виде гистограммы для данных, сгруппированных в классы скорости и кумулятивного (накопленного) графика распределения мгновенных скоростей.

Таблица 32.5. Обобщенные результаты исследований мгновенной скорости на М17

Категория транспорта	Описание	Типичное транспортное средство	Количество исследований	Средняя скорость, км/ч	Максимальная скорость, км/ч	Минимальная скорость км/ч	Вариация (s^2)	Среднее квадр. отклонение (s)	Вариация среднего значения	Стандартная погрешность среднего СПС	Среднее минус 2 СПС км/ч	Среднее плюс 2 СПС км/ч	Вероятность, %
1	Легк. авт. СНГ	ВАЗ 2108	368	82,8	122	50	154,1	12,41	0,419	0,647	81,5	84,1	97,0
2	Зап. легк. авт.	Пежо 306	166	103,7	142	58	233,6	15,28	1,408	1,186	101,3	1061	92,2
3	Микроавтобус	Раф 2203	90	77,5	122	54	170,4	13,05	1,894	1,376	74,7	80,2	96,7
4	Автобус	Икарус 250	69	67,9	115	50	120,1	10,96	1,741	1,319	65,3	706	97,1
5	Легк. грузовик	ЛАЗ 3503	85	63,2	87	50	51,9	7,20	0,611	0,781	61,7	64,8	98,8
6	Средн. грузов.	ЗИЛ 130	103	65,1	83	52	45,9	6,77	0,446	0,668	63,7	66,4	98,1
7	Тяжелый грузовик	КАМАЗ 5320	100	65,5	95	50	57,8	7,60	0,578	0,760	63,9	67,0	97,0
8	Грузовик с прицепом СНГ	КАМАЗ 5320+ОДА3 937	60	65,6	82	52	56,9	7,54	0,948	0,974	63,6	67,5	96,7
9	Седелный тягач СНГ	КАМАЗ 5410	103	66,3	86	50	53,6	7,32	0,521	0,722	64,9	67,8	96,1
10	Зап. седелный тягач	Мерседес Бенц OM442	43	75,1	93	56	84,1	9,17	1,956	1,399	72,3	77,9	97,7

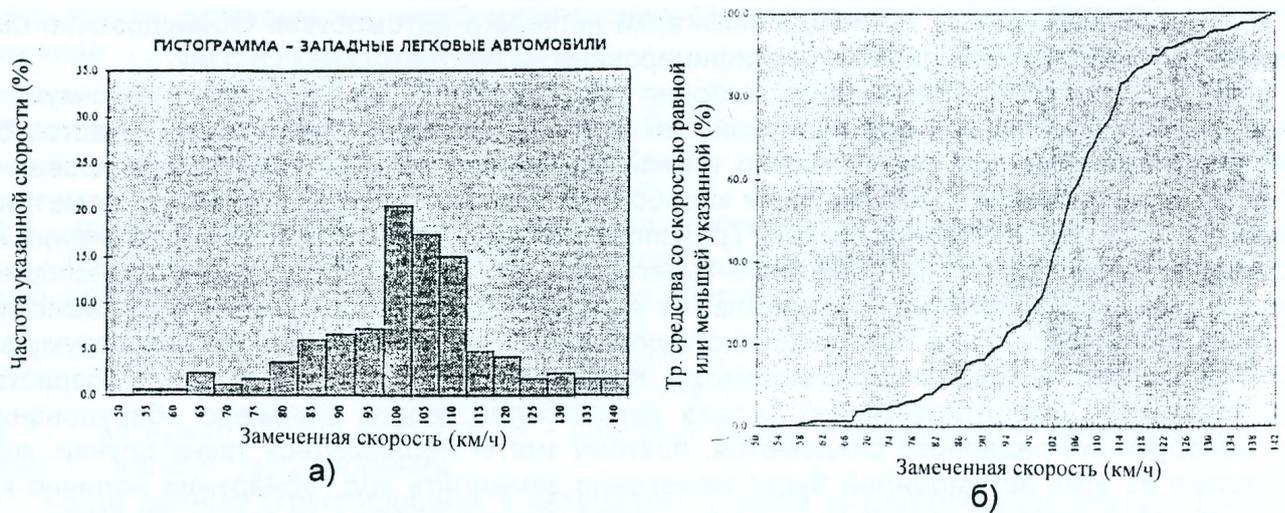


Рис. 32.2. Результаты анализа радарного исследования мгновенных скоростей на М17: а – гистограмма классов скоростей; б – кумулятивный график

32.11.2. Скорости пробега и скорости сообщения

Мгновенные скорости полезны при измерении колебаний скорости в конкретных местах, однако они не дают информации касательно колебаний скорости на маршруте в целом. Статистическими параметрами, которые имеют значения в этой ситуации, являются скорости пробега и скорости сообщения.

Скорость пробега (рабочая скорость) определяется как средняя скорость, поддерживаемая на данном маршруте все время, пока транспортное средство находится в движении. Таким образом, при определении скорости пробега то время на маршруте, когда транспортное средство стоит, не принимается во внимание в расчетах. Обычно определяемыми параметрами является средняя скорость пробега и стандартное отклонение.

Скорость пробега является полезной мерой того уровня сервиса, который предоставляется на участке автомагистрали в течение длительного периода времени.

Пассажиры автомобиля больше всего заинтересованы в том времени, за которое они могут совершить свою поездку. Это выражается посредством *скорости сообщения*. Средняя скорость сообщения включает как скорость пробега, так и все то время, которое автомобиль стоит (у сигналов светофора и т.д.).

Знание скорости сообщения и времени сообщения является прямой мерой уровня дорожных пробок и общего соответствия или несоответствия данной дороги или системы дорог. Время сообщения также используется в качестве критерия, на котором основываются решения относительно перенаправления и переназначения транспортного потока на новые и модернизированные автодорожные магистрали.

Для определения скорости пробега и (или) сообщения транспортного потока используются два метода.

1. Метод регистрации номеров подразумевает, что наблюдатели с синхронизированными секундомерами располагаются в обоих концах обследуемого участка автомагистрали. Когда каждое транспортное средство проходит мимо наблюдателя, он фиксирует его регистрационный номер и время прохождения. Позднее регистрационные номера сравниваются и определяется индивидуальное время прохождения для каждого транспортного средства. Зная пройденное расстояние, можно определить среднюю скорость пробега данного транспортного средства.

Если движение не слишком интенсивное, обычно достаточно двух наблюдателей для каждого направления движения; первый наблюдатель регистрирует номера и время, а второй наблюдатель записывает их. Два наблюдателя могут достаточно точно записывать интенсивность около 300 транспортных средств в час.

Указанный способ трудоемок и требует много времени, кроме этого, он может использоваться только на участках автомагистралей без пересечений, в противном случае транспортные средства могут покидать исследуемый участок или останавливаться на маршруте без ведома наблюдателей.

2. Метод поверхностного наблюдения предусматривает наличие обычно одного или более наблюдателей, расположенных на возвышении, которое примыкает к исследуемому участку дороги. Эти наблюдатели выбирают произвольно автотранспортные средства из транспортного потока и наблюдают за ними, фиксируя то время, которое у них уходит на прохождение тестового участка. Такой способ можно использовать только в тех местах, где имеются возвышенные точки, и на коротких отрезках трассы так, чтобы выбранные транспортные средства постоянно оставались в поле видимости наблюдателей.

Современные технологии, позволяющие использовать видеокамеру вместо наблюдателей, в настоящее время также используются для учета, как регистрационных номеров, так и в методе поверхностного наблюдения.

32.12. Изучение нагрузок на ось

Затраты на строительство и обслуживание дорожных покрытий в большой степени зависят от типа и веса автомобилей, которые будут по ним ездить. Каждый тип автомобиля оказывает различное разрушающее воздействие на каждый тип структуры дорожного покрытия. Деформация покрытия быстро увеличивается с увеличением нагрузки, вызываемой автомобилями. Поэтому с технической точки зрения важно знать размеры потенциального разрушающего воздействия автомобилей на дорожное покрытие, по которым они ездят, чтобы оптимизировать расчеты новых дорожных покрытий и программы обслуживания дорог.

Раньше разрешенные пределы осевых нагрузок и общего веса автомобилей были изложены в нормативе ГОСТ 9314-59 «Весовые параметры и габариты автомобилей и автопоездов». В этом нормативном документе автомобили делились на две группы, к одной из которых относились главные и городские дороги (группа А), а к другой – все остальные (группа Б). В 1975 году действие этого документа было приостановлено, а в 1979 он был отменен.

Отсутствие нормативных документов означало, что правилом и нормой становились максимальные нагрузки на ось и общий вес автомобилей, указанные в технических условиях для автомобилей заводов-изготовителей. Таким образом, категория автомобилей для дорог группы Б была упразднена. В начале самые большие новые грузовики соответствовали нормативам ГОСТа 9314-59, но в дальнейшем – и в особенности в конце 1980-х годов – выяснилось, что новые грузовики выходят за разрешенные ГОСТом пределы. Наиболее яркий тому пример – КАМАЗ 5325, двухосный грузовик с задней осью, максимум 13 т (против 10 т), и весом брутто – 19 т (17,5 т); некоторые транспортные средства с несколькими осями превзошли старые установленные пределы и их максимальная нагрузка достигла 30 т (против 18 т).

Как видно из таблицы 32.6, существенного различия между максимальными пределами норматива старого ГОСТа 9314-59 и принятых в ЕС нет. Пределы ЕС являются минимальными для стран-членов (хотя также являются общей нормой). В некоторых странах действует более высокий максимум, например, нагрузка на одну ось во Франции 13 т, которая, по-видимому, будет возрастать. В Великобритании действует более низкий абсолютный максимум (вес брутто – 38 т), но он был введен на промежуточный, заранее определенный период, который близится к концу, после чего будет принят максимум 40 т, действующий в ЕС.

Таблица 32.6. Максимальный общий вес автомобилей (т) в бывшем СССР и ЕС

Параметры	Бывший СССР	ЕС
Нагрузка на ось:		
одинарная ось (ведущая ось)	10,0 (автобусы 11,5)	11,5
одинарная ось (другие оси)	10,0 (автобусы 11,5)	10,0
сдвоенная ось (максимум)	18,0 (9,0+9,0 свыше 1,39м)	18,0 (>1,3м и <1,8м)
Вес брутто:		
2-осный жесткий;	17,5	18,0
3-осный жесткий;	25,0	25,0
4-осный жесткий;	33,0	36,0
5-осный седельный тягач и максимум	40,0	40,0

Самое главное различие между ограничениями ГОСТ 9314-59 и нормативами ЕС заключается в нагрузке на одиночную ось, которая составляет 11,5 т для ведущей оси (10,0 т для других одиночных осей) против 10 т в бывшем СССР для всех одиночных осей грузовых

автомобилей (11,5 т для автобусов). Надо заметить, что близкое сходство с двухосными грузовиками с жесткими осями является иллюзорным, поскольку нагрузка на переднюю ось в 7,5 т в соединении с нагрузкой 10 т на заднюю ось является редкостью.

В СНГ до сих пор нет замены нормативу ГОСТа 9314-59, несмотря на то, что новые нормативы обсуждались. Частично они были включены в СНиП 2.05.02-85, но специальных нормативных документов до сих пор нет.

В правилах дорожного движения 2005 года (Беларусь) указываются допустимые габариты автомобилей с оговоркой, что для проезда автомобилей, чьи габариты превышают указанные, требуется специальное разрешение, однако не было специальных правил, касающихся веса автомобилей. Единственный случай регулирования веса автомобилей в правилах дорожного движения заключался в том, что не допускалось превышать веса нетто и нагрузок на ось, указанных в технических условиях завода-изготовителя.

Действующие правила, дополняемые время от времени новыми положениями, содержат 4 максимума – 36 т по общему весу и соответственно 10, 16 и 22 т для одиночных, сдвоенных и строенных осей. Они используются для определения понятия «тяжелый груз» и иностранный собственник должен вносить дополнительную плату за каждый километр пробега, если автомобиль превышает какой-либо из этих пределов.

Таким образом, существующие ограничения по весу значительно более строгие, чем предусмотренные нормативом ГОСТ 9314-59 и действующие в ЕС. В таблице 32.7 в сводной форме представлены ограничения, действующие в Украине и в ЕС.

Таблица 32.7. Ограничения по весу автомобилей, действующие в Украине и в ЕС, т

Параметр	Украина	ЕС
Нагрузка на ось:		
одинарная ось (ведущая ось)	10,0	11,5
одинарная ось (другие оси)	10,0	10,0
сдвоенная ось	16,0	18,0
тройная ось	22,0	24,0
Общий вес (максимальный)	36,0	40,0

Примечание. Можно получить разрешение на превышение пределов при уплате положенного сбора.

Похоже, что главной технической причиной существующих номинально строгих ограничений в Украине является защита мостов. Однако ограничения для мостов являются менее строгими, чем по бывшему СССР, где максимально разрешенный общий вес составляет для мостов 30 т, по сравнению с действующим в Украине максимумом 36 т.

В настоящее время масштабы перегрузок невелики, что показано в табл. 32.8, за исключением седельных тягачей и автобусов.

Таблица 32.8. Средний процент перегрузки

Тип автомобиля	Процент перегрузки	
	В Украине	в ЕС
2-осный грузовик	2,4	0,8
3-осный грузовик	6,8	2,7
Грузовик с прицепом	8,6	4,9
Седельный тягач	22,7	9,6
Автобус	19,5	6,1

По количеству перегруженных автомобилей и по общему числу нарушений преобладают седельные тягачи – во втором случае – 67% в Украине и 69% – в ЕС. На иностранные грузовые автомобили (т.е. с пунктами отправки или назначения за пределами Украины) приходится большая часть – более 60% нарушений от общего числа.

На практике в настоящее время почти отсутствует контроль за соблюдением ограничений по весу автомобилей. Отсутствуют мостовые (платформенные) весы общего пользования или другие сходного типа, используемые во многих странах для проверки на практике для соблюдения весовых ограничений, и создалось впечатление, что грузовики не взвешиваются вообще.

Иностранные грузовики въезжают в страну и проходят транзитом, руководствуясь лишь иностранными нормами и правилами. В случае перегрузки с них требовалась уплата дополнительных сборов, но, в общем, их появление приветствовалось, так как они представляли собой источник дополнительных доходов в государственную казну.

Принимая во внимание медленные изменения в экономике, можно предположить, что, при продолжающемся отсутствии принуждения к соблюдению ограничений, будет происходить постепенный рост числа перегруженных автомобилей.

32.13. Изучение пунктов отправки и назначения

При планировании новых или реконструкции существующих дорожных трасс и сооружений необходимо определить их место нахождения с учетом привлечения или оживления движения большинства транспортных средств, а также количество транспорта, которое будет по ним проходить после завершения строительства.

Чтобы это сделать правильно, необходимо определить направление (схему) маршрутов, по которым совершают поездки люди. Базовое исследование пунктов отправки-назначения (О-Н) показывает, какое количество поездок совершается между различными населенными пунктами. Это исследование, обычно, дает много информации о реальных маршрутах, по которым совершаются поездки между конкретными пунктами отправки и назначения; оно делает упор скорее на желательные, чем на реальные маршруты. Объем исследования пунктов отправки-назначения может ограничиваться одним конкретным маршрутом в городской и сельской местности или же он может охватывать город в целом или даже всю страну.

Если исследования типа О-Н можно проводить на существующих объектах и в существующих городах, то очевидно, что они не годятся при планировании новых городов. Вместо этого необходим какой-либо метод прогнозирования транспортного потенциала домов, заводов и фабрик, торговых предприятий и других форм землевладения. Более того, если эта информация имеется в распоряжении, ее также можно применять к существующим городским и сельским районам. Поэтому другая большая задача всесторонних исследований О-Н - определение взаимозависимости, существующей между количеством и типом рейсов и порождающими транспортное движение факторами.

Крупнейшее исследование в Великобритании проводилось между 1975 и 1979 годами и было известно под названием «Региональный проект моделирования дорожного движения на автомагистралях» (*RHTM* – Regional Highway Traffic Model). Специфической задачей исследования RHTM является разработка модели направлений поездок для Англии в целом на 1976 год, которую можно было бы использовать при прогнозировании по зонам частных пассажирского и дорожного грузового транспортного потоков, усредненных для всех будничных дней (24-часовые периоды) на 1981; 1986; 1991, 2001 и 2010 года.

В рамках исследований Великобритания была разделена на 3613 «региональных зон», соответствующих местным административным единицам (эквивалентным областям и районам).

Для сбора информации о направлении поездок в обычные будничные дни была использована методика опросов на дому и на дорогах. Поскольку получаемая информация должна быть показательной для всей страны, было проведено 50869 опросов на дому в 21 наиболее типичном регионе, где были представлены 6 типов населенных пунктов, от крупных и средних городов, больших и малых поселков до сельских районов.

Собранная по домам информация включала число людей в семье, их возраст и пол, наличие водительских прав, число работающих, число имеющих автомобили, а также доход семьи. Людей также спрашивали обо всех поездках, совершенных ими в течение предыдущих суток, в том числе о пунктах отправления, назначения и цели каждой поездки.

Опросы, проведенные на дорогах, также дали информацию о пунктах назначения и отправления водителей, о количестве совершаемых ими поездок в обычный день между каждыми двумя из 3613 зон. Была использована 1021 наблюдательная площадка, где были установлены устройства регистрации и кордоны, которые фиксировали 70% из 13 миллионов возможных поездок между зонами.

На каждой наблюдаемой площадке вручную подсчитывалось количество автомобилей различных типов, проходящих каждые полчаса, примерно один из десяти был остановлен по произвольному выбору, и водитель был опрошен на предмет пунктов отправления/назначения и цели поездки. Всего было опрошено около 1 миллиона водителей.

Для привязки каждого пункта отправления и назначения к его району отделения связи, а затем, при помощи компьютера к соответствующей зоне RHTM, была использована на-

циональная система почтовых индексов. Для этого Министерство связи разделило страну на 1,5 млн. районов отделения связи и опубликовало справочники с указанием соответствующего индекса районного отделения связи для каждого адреса в Великобритании.

База данных RHTM также включает основные данные по национальной сети дорог общего пользования – вся сеть для Англии включает 12 266 отдельных участков автомобильных дорог общей протяженностью 42705 км автомагистралей и главных дорог. Сюда также включены 6034 км автомобильных дорог Шотландии и Уэльса, входящих в дорожную сеть Англии с внешней стороны ее национальных границ. Для каждого участка дороги в файлах с данными содержатся его номер и национальная классификация, длина, количество полос и проезжих частей, вычисленная средняя скорость движения транспорта. Кроме того, каждый отрезок шоссейной дороги отнесен к определенной группе (т.е. загородная, пригородная или городская) по своему характеру «холмистости» или «извилистости».

Любое исследование пунктов отправления/назначения начинается с определения наблюдаемого района. Было бы желательно проанализировать каждый рейс отдельно, хотя на практике это неосуществимо, следовательно пункты отправления назначения группируются по зонам.

Предполагается, что все поездки, совершаемые из конкретной зоны, имеют пункты отправления в центре тяжести зоны, в то время как все поездки, направленные в ту же самую зону, имеют пункты назначения также в центре тяжести.

Для определения границ отдельных зон была также использована Национальная сеть координат, обычно масштаба 1 км достаточно для городского или регионального исследования. Для более подробных исследований городских или сельских районов может потребоваться масштаб с более мелкой 100 метровой сеткой координат.

Трудно переоценить значение данных, собранных в Регистре всеобщей переписи населения Великобритании для проведения транспортных исследований. Всеобщая перепись проводится один раз в 10 лет, в течение первого года каждого десятилетия, т.е. в 1971, 1981, 1991 и т.д., и обновляется на 6 году десятилетия посредством 10% выборки. Собранные данные включают информацию о составе семьи с указанием пола, возраста, семейного положения, а также рода занятий и места работы. Собирается также информация, каким образом лица добираются на работу, а также о наличии автомобиля. Очевидная ценность этих данных переписи при подготовке транспортных исследований и проверке данных наблюдений явилась причиной того, что в последние годы появилась тенденция выбирать зоны, границы которых совпадают с регистрационными округами, по которым проводится перепись населения. Так или иначе, зоны определены, поездки в них и из них проводятся по сетям автомобильных дорог и общественного транспорта. Сети дорог обычно состоят из крупных транспортных артерий; они делятся на участки, которые, в свою очередь, ограничены узлами.

Все участки определяются по коду узлов на любом из двух концов. Узел обычно является точкой на транспортной артерии, где существенно меняется характер маршрута, например, на крупных пересечениях дорог или там, где дорога с одной проезжей частью превращается в дорогу с двумя проезжими частями. В сети общественного транспорта узлы обычно находятся в местах большого скопления пассажиров, например, пункты пересадки или большие автобусные остановки.

Путь «в» и «из» центра тяжести лежит через линию, связывающую центры тяжести, которая связана с участками и узлами в транспортной сети. Путевые характеристики линии, связывающей центры тяжести, обычно отражают среднее значение по поездкам, начинающимся/заканчивающимся внутри зоны.

На сегодняшний день существует несколько базовых методов исследования пунктов отправления/назначения.

1. Метод опроса на дорогах является методом непосредственных опросов, при котором водителей останавливают на дороге и задают вопросы об их пунктах отправления и назначения, а также получают другую интересующую информацию о поездке. Обычно такой опрос проводится на автомагистрали, когда автомобиль останавливают на пути к пункту назначения, опрос адресован к водителю, и обычно не дают подробной информации о пассажирах. Этот метод дает подробную и точную информацию, поскольку она поступает непосредственно от водителя и нет необходимости делать какие-либо выводы на основе его по-

ведения. В Украине и Беларуси идеальными местами для проведения опросов на дороге являются контрольные пункты ДПС на границах между областями.

Исследования обычно проводятся в течение периода, когда структура дорожного движения считается наиболее характерной для всего года. Они обычно проводятся в течение лишь части суток, обычно с 6 утра до 10 вечера. Более того, обычно нет необходимости проводить обследование на всех пунктах в один и тот же день. Вместо этого, можно работать на 2-3 пунктах в один день на 2-3 других в такие же дни и т.д.

2. Корреспондентский метод исследования. Существует два основных метода проведения исследований типа О-Н с использованием рассылаемых по почте анкет. Оба метода можно сочетать отдельно или в сочетании друг с другом.

Первый метод заключается в рассылке анкет с маркой и обратным адресом для пересылки после заполнения всем зарегистрированным владельцам автомобилей в пределах обследуемого района. Каждого получателя обычно просят зафиксировать все рейсы его автомобиля, совершенные на следующий день после получения анкеты; выбранный день обычно является будничным днем.

Второй метод заключается в раздаче вопросников автомобилистам, когда они проезжают на малой скорости мимо выбранных для этого площадок.

В любом из обоих случаев успех анкетного исследования в очень большой степени зависит от желания автомобилистов заполнять и возвращать анкеты. Высокий процент возврата анкет может быть достигнут с помощью активной рекламной кампании до и во время обследования, чтобы автомобилисты осознали всю важность возврата заполненных анкет, но даже в этом случае возвраты составят не более 50%, обычно полученные ответы составляют порядка 33% от высланных анкет.

Хотя эти методы обследований не мешают движению транспорта на перегруженных дорогах и позволяют задействовать необученный персонал, трудно гарантировать, что респонденты составят объективную выборку обследуемого населения.

3. Метод изучения регистрационных номеров автомобиля. Этот метод похож на метод изучения скорости и времени поездок. В конце обследования сравниваются записи со всех наблюдательных постов, и прослеживается путь каждого автомобиля через обследуемый район.

В интересах исследования за пункт отправления автомобиля принимается место, где он наблюдался впервые, а за пункт назначения – последний пройденный им наблюдательный пункт. Отмечая время въезда и выезда, можно определить время поездки каждого автомобиля; если его сравнить с известным временем нахождения в пути в такой же поездке, можно определить, останавливался ли такой автомобиль в пределах наблюдаемого района.

Главное преимущество данного метода заключается в том, что его можно использовать при интенсивном движении транспорта, когда нежелательно останавливать автомобили для опроса водителей. Кроме того, поскольку автомобилист не знает, что является объектом тщательного обследования, полученные результаты не будут зависеть от его желания или нежелания сотрудничать.

У метода есть недостаток, так как требуется большое количество персонала и поэтому его применение ограничивается дорогами с одной полосой движения или небольшими обследуемыми районами с небольшим количеством въездов и выездов. На всех наблюдательных точках в один и тот же день должен находиться привлекаемый персонал, а наблюдение должно вестись непрерывно во всех точках въезда и выезда.

4. Метод наклеек или бирок. Обычный порядок действий при этом методе заключается в том, что наблюдатель ненадолго останавливает каждый автомобиль на въезде в обследуемый район и помещает предварительно закодированную наклейку или бирку под стеклоочиститель ветрового стекла. При выезде автомобиля из наблюдаемого района бирку просят вернуть, и на ней записывают время, номер поста, направление движения и любую другую нужную информацию.

Главное преимущество данного метода заключается в том, что путь автомобиля через обследуемый район можно проследить, поставив промежуточных наблюдателей отмечать цвет и/или форму бирки на каждом автомобиле.

5. Метод опросов на дому. В городских районах больших городов многие факторы влияют на выбор людьми вида транспорта и маршрута для поездки к месту назначения, поэтому путем одного лишь наблюдения за существующими транспортными потоками невоз-

можно определить, в каких местах следует улучшать автомобильные дороги. Даже если бы это было возможно, сбор данных в районах с интенсивным движением путем остановки автомобилей на улицах обычно не практикуется. Поэтому нужно использовать более тонкий метод сбора данных для получения всесторонней подробной информации, необходимой при планировании новых или реконструкции существующих автомобильных дорог.

Непосредственный опрос на дому является важнейшей частью исследования. Опросы проводятся в выбранных домах, а опросы обычно касаются каждого члена семьи старше 5 лет в день накануне опроса. Поскольку точность обследования в большой степени зависит от получения нужной информации в заранее выбранных домах, большинство опросов проводятся вечером, когда больше шансов застать людей дома. Во время опросов на дому обычно получают *два вида информации*: данные о составе семьи и данные о поездках членов семьи.

Обычно обследования рейсов грузовых автомобилей проводятся совместно с опросами на дому. Выборки автомобилей обычно делаются наугад по регистрационным числовым или алфавитным спискам; обычно размер выборки для грузовиков или аналогичных тяжелых автомобилей превышает, по крайней мере вдвое, выборку при обследовании с помощью опросов на дому. Обычно для достижения цели стремятся привлечь к сотрудничеству работников парка грузовых автомобилей, чтобы те убедили водителей вести рабочие журналы всех поездок, совершенных в наблюдаемый день (т.е. поездкой считается путь, пройденный от одной длительной остановки до другой).

Выбор метода ведения исследования О-Н в данной ситуации в первую очередь зависит от вида требуемой информации, а часто и размеров имеющихся в наличии средств.

Обследования по методу отслеживания регистрационных номеров и методу наклеек или бирок на автомобилях легко организовать и осуществить, но эти методы больше подходят для локализованных и ограниченных участков, таких как объездная дорога вокруг небольшого городка.

Если требуется более подробная информация, например, для определения наиболее подходящего места будущей речной переправы, в таком случае применяют базовый метод прямых опросов на действующих мостах, в туннелях и на паромных переправах.

В городских районах и на крупных загородных дорогах требуется более полная оценка потребностей водителей, и наиболее подходящим методом для этой цели являются опросы на дорогах, возможно в сочетании с корреспондентским методом или опросами на дому.

32.14. Основы прогнозирования транспортных потоков

Конечный этап в анализе дорожного движения, предшествующий проектированию автомагистрали или системы автомобильных дорог, – это определение интенсивности движения транспорта по будущей дороге. Одной из первоочередных проблем, с которой сталкиваются при планировании автомагистрали, является решение, какой год в будущем следует использовать в качестве *опорного года* в целях планирования. В Великобритании политика министерства транспорта направлена на то, чтобы автострада обладала достаточной пропускной способностью через 15 лет после начала эксплуатации. К этому следует добавить тот факт, что от решения построить дорогу до ее открытия для движения транспорта обычно проходит 10-15 лет.

В городских районах проблема выбора такого года гораздо сложнее. Как только в пределах города появляется крупная автострада, вдоль нее сразу же начинается интенсивная застройка, поэтому изменить ее геометрическую конструкцию в будущем будет намного сложнее.

Расчетная интенсивность движения для какого-либо периода в будущем выводится на основе знания существующего движения и предварительных расчетов будущего движения.

Существующий транспортный поток – это количество транспорта, которое будет использовать новую дорогу, как если бы она была открыта во время исследования интенсивности движения. Существующий транспортный поток состоит переведенного транспорта и перераспределенного транспорта.

Переведенный транспорт – это количество существующего транспорта, которое сразу будет переброшено с существующих дорог на новую.

Перераспределенный транспорт – это количество существующего транспорта, которое уже участвует в движении на других дорогах региональной сети, но который перейдет на новую автомагистраль из-за перемены пунктов назначения, вызванной привлекательностью новой дороги.

Существующий транспортный поток, находящейся в зависимости от типа и месторасположения новой автомагистрали, можно определить путем подсчета количества транспорта на существующих дорогах, которое, вероятно, зависит от привлекательности дороги и берется из материалов исследований О-Н методом опроса на дорогах. В крупных городских районах требуется более глубокое изучение потребностей в транспортных перевозках.

На загородных дорогах с низкой интенсивностью движения для определения интенсивности дорожного движения часто бывает достаточно использовать систематизированные данные подсчета единиц транспорта.

На загородных дорогах с интенсивным движением или дорогах, проходящих через небольшие городские районы, для получения данных, необходимых для расчетов существующей интенсивности дорожного движения, требуется, по меньшей мере, сочетание систематизированных данных подсчета единиц транспорта и опросов на дорогах. Однако на практике обычно требуется дополнительная информация о продолжительности поездок, чтобы определить количество транспорта, которое может быть привлечено на крупный новый или модернизированный объект.

Рост интенсивности движения – это увеличение интенсивности дорожного движения вследствие общего среднего увеличения количества и частоты использования автомобилей. Однако следует с осторожностью использовать цифры государственного планирования для конкретных расчетов, так как они могут не отражать темпов роста в изучаемом районе.

Другой важный фактор, который следует учесть – это возможный рост числа использования автомобилей. Например, между 1974 и 1984 годами среднее расстояние, преодолеваемое легковыми автомобилями и такси в Великобритании, выросло с 12000 до 14000 км в год, тогда как для тяжелых грузовых автомобилей этот показатель вырос с 2800 до 3600 км в год. В результате непрерывного роста уровня жизни, подкрепляемого тенденцией к сокращению продолжительности рабочей недели и увеличению отпусков, ожидается непрерывный рост числа случаев пользования автомобилями.

Созданный транспортный поток относится к будущим автомобильным рейсам, которые будут совершены впервые как непосредственный результат появления новой автострады. Созданный транспортный поток имеет *три составные компоненты*, каждая из которых теоретически должна определяться отдельно:

– *тип созданного транспортного потока* – это стимулированное движение, которого ранее не было вообще и которое возникло исключительно в результате открытия новой автострады;

– *преобразованное движение* возникает в результате перемены обычного способа передвижения. Строительство автострады может сделать маршрут до такой степени привлекательным, что люди, ранее совершавшие такую же поездку на автобусе, поезде и даже самолете, могут теперь совершить ее на автомобиле. Интенсивность преобразованного движения зависит от относительной длительности поездки и соображений удобства и экономии;

– *движение развития* – это часть будущего объема транспортного потока, которая появится благодаря дополнительному благоустройству прилегающей к автостраде территории, чего не произошло бы, если бы новая дорога не была бы построена. Увеличение интенсивности дорожного движения благодаря плановому развитию прилегающей территории является частью обычного роста интенсивности движения и поэтому не рассматривается как часть этого движения развития.

32.15. Оценка способов и частоты поездок

Фундаментальное предположение, лежащее в основе всех исследований в области транспортного планирования, состоит в том, что в поведении путешествующих людей есть некая закономерность, которая может быть измерена и описана, и что для формулировки этих измерений и описаний можно использовать современные данные опросных листов.

В обычном исследовании прогнозируется наиболее вероятная схема строительства дорог с ориентировкой на опорный год, а модели маршрутов строятся на основе существ-

вующей сети дорог и землепользования, описывающие поездки зависимости, полученных из базовых данных опросных листов, затем использованные при прогнозировании потребностей в транспорте, порожденных строительством дорог. Поэтому обычно второй этап исследования в области транспортного планирования включает *четыре основных момента*.

1. Возникновение поездок. Поездка – это одностороннее движение, совершаемое между двумя населенными пунктами. Для разработки моделей возникновения маршрутов поездок используются два метода – зональный множественный регрессионный анализ и перекрестно систематизирующий анализ по категориям.

Пример использования в Великобритании зонального множественного регрессионного анализа для вычисления зональных рабочих поездок выглядит так

$$Y_w = 0,097X_1 - 351X_2 + 0,773X_3 + 0,504X_4 - 43,6, \quad (32.7)$$

где X_1 – население зоны; X_2 – количество семей в зоне; X_3 – количество работающих жителей в зоне; X_4 – количество собственных автомобилей.

Наиболее часто зональные регрессивные модели использовались до 70-х годов XX века. Впоследствии предпочтение отдавалось моделям, основанным на методе перекрестной систематизации, более известном как анализ по категориям. В общем представлении данный метод рассматривает семью как базовую аналитическую единицу, а количество поездок членов семьи является функцией трех главных параметров: доход семьи, наличие автомобиля, состав семьи.

Основным недостатком анализа по категориям является необходимость гарантии достаточности данных, собранных в ходе первоначального исследования для определения значимых средних норм поездок для каждой из выбранных категорий семей.

2. Распределение поездок – это метод, посредством которого поездки, начинающиеся или заканчивающиеся в каждой зоне, распределяются по отношению к любой другой зоне.

Отправной точкой при анализе распределения поездок является серия таблиц маршрутов (рейсов), каждая для поездок с определенной целью, в которую сведено количество поездок между всеми парами зон. Самыми распространенными типами моделей распределения, используемых при анализе таких поездок, являются:

– *методы коэффициента роста*. Простейший из этих методов – *метод одинаковых коэффициентов*, который заключается в определении одного коэффициента роста для всего обследуемого района. Затем число всех совершаемых между зонами поездок умножается на этот коэффициент, чтобы в результате получить будущие транспортные потоки между зонами (межзональные). Используемый коэффициент расширения является соотношением общего числа будущих концов поездок к общему числу концов поездок, совершаемых в настоящее время;

– *метод среднего коэффициента* – это повторяющаяся процедура, при которой делается попытка в упрощенном виде учитывать факт, что темпы развития по зонам обычно отличаются от темпов развития по обследуемому району в целом, и это можно отразить в виде различных показателей темпов роста числа поездок между зонами. Поэтому при этом методе используется отличный коэффициент (темпов) роста для каждого передвижения между зонами, и средний коэффициент представляет собой среднее значение ожидаемого роста числа поездок внутри каждой пары зон с пунктами отправления и назначения.

Несмотря на то, что методы коэффициента роста относительно легкие для понимания, они в настоящее время редко используются при прогнозировании распределения внутренних поездок в наблюдаемой зоне на длительные периоды времени.

Главный недостаток такого подхода заключается в том, что при нем совершенно недооценивается рост числа совершаемых в настоящее время поездок, почти сведенный при этом методе к нулю (даже если характер застройки может значительно измениться в растущем городе), в то же время предполагается, что противодействие совершению поездок между зонами остается постоянным в будущем;

– *модель притяжения*, используемая в транспортных исследованиях, позаимствована из Ньютоновского закона молекулярной гравитации, объясняющего силу притяжения и последовательное движение звезд и планет Вселенной. Модель притяжения была приспособлена для изучения распределения поездок в 60-е годы и основана на предположении, что все поездки, начинающиеся в зоне, притягиваются различными источниками дорожного движе-

ния и объектами, и степень притяжения каждого «магнита» изменяется в прямой зависимости от формы источника и в обратной зависимости от расстояния (или времени нахождения в пути), через которое порождается притяжение.

Общая форма гравитационной модели распределения в том виде, в котором она используется в настоящее время, выглядит так

$$T_{ij} = \frac{P_i \cdot A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij}}{\sum_j (A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij})}, \quad (32.8)$$

где T_{ij} – количество поездок из зоны (i) в зону (j) с определенной целью; P_i – общее количество поездок, начинающихся в зоне (i) с этой целью; A_j – общее количество поездок, заканчивающихся в зоне (j) с этой целью; F_{ij} – эмпирически выводимый коэффициент трения, являющийся обратной функцией разделения (т.е. время нахождения в пути, расстояние и обобщенная стоимость) между зонами (i) и (j); K_{ij} – эмпирически выводимый межзональный поправочный коэффициент, учитывающий влияние социально-экономических факторов, не включенных в модель другим образом; n – общее число (количество) зон в обследуемом районе.

Эта модель показывает, что доля поездок, P_j , начинающихся в зоне (i), которая распределяется в зоне назначения (j) A_j , так и сдерживающего разделения F_{ij} между зоной (i) и (j), относящейся к тем же самым характеристикам всех других притягивающих зон. Таким образом, зона, доступ к которой значительно улучшился в результате, скажем, появления новой автомагистрали (уменьшающееся трение), впоследствии увеличит свою относительную привлекательность как место начала поездок.

Гравитационная модель является самым распространенным методом изучения распределения поездок. Признавая гравитационное притяжение объектов с различной степенью привлекательности и последствия (влияние) изменения, скажем, времени нахождения в пути, она в то же время учитывает влияние различных целей поездок. Главный ее недостаток - относительная сложность процесса повторяющихся проверок, осуществляемых на основе данных опросных листов, - в настоящее время преодолевается посредством разработки надежных стандартных компьютерных программ.

3. Разбивка по способу передвижения. Целью анализа с использованием разбивки по способам передвижения является определение доли поездок, совершаемых на частных автомобилях, по сравнению с числом поездок на общественном транспорте. В ходе всех подобных анализов делается допущение, что пассажиры делают рациональный выбор между доступными способами передвижения, и что этот выбор частью основан на свойствах разных видов транспорта, а частью на их личных пристрастиях.

Существует два типа моделей разбивки по способам передвижения, а именно: *модели отправной и конечной точки поездок* и *модели поездок с пересадками*. Главное различие между этими типами моделей заключается в том, что первые строятся до начала этапа изучения распределения поездок (таким образом, чтобы распределение поездок было связано с локализацией автомобильных маршрутов (рейсов)), в то время как модели поездок с пересадками привязывают человеко-рейсы к различным видам транспорта после завершения процесса распределения поездок.

Основным недостатком существующих моделей разбивки по способам передвижения является то, что они основаны на существующих в настоящее время уровнях обслуживания, а они обычно обладают неотъемлемым свойством подталкивать к выбору в пользу частного автомобиля. Таким образом, расчеты по будущему использованию общественного транспорта могут значительно отклоняться в сторону занижения, в то время как необходимо, например, значительно улучшить автобусное сообщение путем предоставления дополнительных полос для движения в сочетании с установкой на строгое соблюдение правил парковки. Обратная картина складывается в обследованных районах Украины, где выбор способа передвижения склоняется в пользу общественного транспорта, несмотря на то, что может быть принято решение основательно модернизировать систему автодорог.

4. Распределение по маршрутам дорожного движения и выбор маршрута движения. Конечным этапом процесса оценки пользования транспортом является распределение разделенных по видам транспорта потоков, т.е. общественного транспорта (вынужден-

ным и произвольным пользованием) частных автомобилей, такси и грузовых автомобилей, по различным автодорожным маршрутам в пределах наблюдаемого района. Поэтому результат анализа выражается в виде количества автомобилей, приходящихся на каждое звено как общественных, так и частных транспортных сетей.

В реальной жизни автомобилист выбирает маршрут поездки, руководствуясь множеством соображений, например, времени, расстояния, денежной стоимости, удобства, комфорта и безопасности. Поэтому теоретически в каждой ситуации существует оптимальный маршрут, предлагающий водителю наилучшее сочетание всех вышеперечисленных факторов. На практике большинство методов распределения по маршрутам допускают, что оптимальный маршрут предполагает либо минимальное время нахождения в пути, либо самый дешевый маршрут (с минимальными затратами).

В транспортных исследованиях, проведенных в 1950-х годах и начале 1960-х годов, был разработан метод, при котором все автомобильные рейсы между центрами тяжести любых двух зон были сосредоточены на одном маршруте сети или «дерева» с минимальным сопротивлением передвижению, обычно выраженным временем нахождения в пути. Смысл, лежащий в основе такого распределения типа «все или ничего», заключался в том, что такая интенсивность движения представляла максимальную потребность в транспорте в условиях свободных транспортных потоков, и для этого надо обеспечить средства.

Другой хорошо известный метод основан на *эмпирическом построении кривых (графиков) отклонений от маршрутов* для распределения транспорта по маршрутам. Он аналогичен методу распределения «все или ничего», за исключением того, что дорожное движение распределяется по двум или более маршрутам между двумя зонами с самым низким сопротивлением передвижению.

Однако со временем в области транспортных исследований было признано нереалистичным допущение о том, что все звенья дорожных сетей можно модернизировать до стандарта, необходимого для создания условий свободного транспортного потока и что, если на не отвечающем требованиям звене создать слишком интенсивное движение, то неизбежно скорость на этом звене должна быть снижена, и транспорт, возможно, будет отведен на другие звенья.

Впоследствии, при исследованиях было принято без доказательств, что дорожное движение по сети само распределяется таким образом, что стоимость поездки по всем маршрутам от любого пункта отправления до любого пункта назначения одинакова, тогда как все неиспользованные маршруты имеют одинаковую или большую стоимость проезда. Или, говоря другими словами, дорожное движение продолжает распределяться само до тех пор, пока ни один водитель не может уменьшить стоимость своей поездки посредством изменения маршрута.

Примерные *факторы*, обычно включаемые в действующие модели «ограничения пропускной способности» – это время нахождения в пути (длительность поездки), стоимость, комфорт, пропускная способность, уровень обслуживания, т.е. данные по поездкам, уже имеющиеся в распоряжении с этапа опросов транспортного исследования. Были созданы стандартные компьютерные программы, принимающие в расчет эти факторы в ходе анализа. Говоря практическим языком, если задачей является создание стратегической дорожной сети, удовлетворяющие все будущие потребности в дорожном движении транспорта, тогда лучше использовать модель типа «все или ничего».

Однако в случаях, когда идеальная неперегруженная сеть автодорог является явно неосуществимой, тогда лучше применять метод распределения «ограничение пропускной способности».

Инженеры-транспортники давно стремятся к максимальному реализму в оценке передвижений. Как и в решении других инженерных вопросов, достижение идеала стало более осуществимым с появлением компьютеров достаточной мощности, чтобы обрабатывать большие объемы данных, полученных в процессе транспортных исследований.

Однако нельзя сказать, что идеал близок к осуществлению. Ниже перечислены некоторые из *основных недостатков* существующего метода (способа) оценки передвижений:

- метод дорогой, так как связан со сбором огромной массы данных;
- он основывается на отношениях (связях), определенных в конкретный момент, и допускает, что они останутся неизменными в будущем;

– существует много произвольных упрощающих допущений и эмпирических коэффициентов, включаемых в анализы и создающих иллюзию точности и объективности, которыми метод просто не обладает. Более того, анализы, проводимые разными организациями, могут дать значительно различающиеся оценки передвижений;

– процесс прогнозирования недоступен широкой общественности, которая в настоящее время стремится участвовать в принятии решений, влияющих на повседневную жизнь людей.

Несмотря на недостатки, вышеназванные четыре базовые модели представляют собой лучший из имеющихся способов прогнозирования передвижений. Они позволяют осуществлять планирование, основанное на гораздо лучшем представлении о взаимодействии систем, о размещении дефицитных ресурсов, об отдаленных последствиях, принимаемых в настоящий момент решений, чем было до этого в области транспортных исследований.

В настоящее время в исследованиях существует три главных метода к устранению недостатков транспортного планирования:

– совершенствование существующих способов (методов) моделирования для получения немедленной отдачи;

– разработка эконометрических моделей, в которых одновременно моделируются варианты выбора способов передвижений;

– разработка поведенческих моделей, таких как расчлененная модель, модель отношения и недавняя группа исследований, касающихся схем поездок на уровне членов семьи.

Расчлененные модели развились из потребительского выбора и в качестве основных строительных блоков используются скорее индивидуальные данные о поездках, чем совокупность наблюдений.

В *модели восприятия* также используются индивидуальные данные о поездках, и эти модели дают представление о понимании альтернативного выбора людьми с их собственных слов (высказывание рекомендаций) в целях определения схем маршрутов (структуры) поездок.

32.16. Предложения западных консультантов по оптимизации технических нормативов Беларуси

1. Классификация дорог должна быть приведена в соответствие с действительной (реальной) интенсивностью движения, как это практикуется в ЕС.

2. Расчетные скорости должны быть пересмотрены и приведены в соответствие с западноевропейскими стандартами, основанными на расчетах для чистой и влажной поверхности (в Беларуси – для чистой и сухой) и направленными на снижение стоимости строительства.

3. Радиусы вертикальных кривых также могут быть изменены, однако при этом следует принимать во внимание норматив видимости.

4. Длина переходных кривых должна определяться для автомагистралей и дорог республиканского значения соответственно на основе формулы $L=12R^{0.4}$ и $L=6R^{0.4}$ – для других дорог.

5. Требования к уширению проезжей части на кривых следует также пересмотреть с целью снизить издержки строительства, уширение следует исключить для радиусов более 200м. Нет смысла оставлять уширения на вертикальных кривых.

6. Требования к длине тормозного пути (видимости) несколько выше из-за различий в технических характеристиках легковых автомобилей в странах бывшего СССР и ЕС, однако в настоящее время нет необходимости для их пересмотра.

7. Длина переходно-скоростных полос, особенно разгона, слишком малая и требуют пересмотра, принимая во внимание, что вопросы безопасности являются важным фактором для участников дорожного движения.

8. Поперечный уклон проезжей части для основных типовых профилей должен быть увеличен до 25‰ для дорог с асфальтобетонным покрытием.

9. Поперечный уклон виража должен быть увеличен в соответствии со стандартами стран ЕС.

32.17. Основы проектирования нежестких дорожных одежд за рубежом

Процесс проектирования дорожных одежд является довольно сложным и структурированным. В странах ЕС и США он складывается из нескольких основных блоков, характеризующих основные виды деятельности и вспомогательных, более детально освещающих процесс реализации этой деятельности (табл. 32.9).

Таблица 32.9. Краткая структура процесса проектирования дорожных одежд за рубежом

Номер блока	Основные этапы деятельности	Вспомогательные виды деятельности
1	Исследовать возможные маршруты движения	Оценить геотехнические проблемы
		Найти источники материалов
		Выбрать маршрут
2	Оценить транспортный поток	Измерить интенсивность транспорта по категориям
		Измерить осевую нагрузку
		Выбрать расчетный срок службы
		Вычислить общую интенсивность транспорта
3	Измерить прочность грунтового основания	Определить климатические условия
		Проверить грунты
		Определить однородные участки
		Сделать расчеты по земляным работам
4	Выбрать материалы для дорожной одежды	Определить местонахождение ресурсов
		Проверить свойства
		Принять, отказаться или изменить
		Оценить площадки с неблагоприятными условиями
5	Выбрать структуру	Анализ затрат
		Ознакомится с местным опытом
		Анализ рисков (или полная оценка)
		Расчет дренажа
6	Построить	

32.17.1. Концепции проектирования дорожных одежд нежесткого типа

Деление дорожных одежд на жесткие и нежесткие характерно для стран СНГ, так и стран ЕС и США. При этом практически никаких различий по структуре не наблюдается. Основные отличия заключаются в методах расчета нежестких дорожных одежд.

Расчетный срок службы дорожного покрытия – это период, в течение которого дорожное покрытие начинает ухудшаться с момента завершения строительства и продолжает разрушаться с течением времени. Через несколько лет его поверхность начинает растрескиваться, и трещины постепенно становятся шире и многочисленнее. Дорога начнет деформироваться с появлением колейности и выбоин, коробления, расползания покрытия и т.д. и будет продолжать разрушаться, если ее не обновлять. Поверхность дороги постепенно станет более неровной, пока автомобили не начнут двигаться по ней с большим трудом.

В одних странах сроком эксплуатации дороги считают период, в течение которого дорога доходит до состояния разрушения, когда как в других определяют конец службы дорожной одежды тем моментом, когда водители отказываются по ней ездить. Например, в Великобритании дорога считается разрушенной при появлении на ней выбоин 20мм и более или больших трещин и расщелин, или когда она нуждается в укреплении верхнего покрытия или частичной реконструкции. В США срок службы определяется в руководстве по проектированию **AASHTO** (Американское общество дорожных администраторов) в виде индекса эксплуатационной надежности, который является самым низким допустимым уровнем, по достижении которого необходимы обновление покрытия или реконструкция. Первоначально индекс срока службы определяется тем, насколько хорошо покрытие служит пользователю с точки зрения удобства и качество проезда, которое выражалось в виде субъективной оценки по 5-балльной шкале. Состояние дороги измеряется в виде индекса существующего (на момент измерения) индекса эксплуатационной надежности (**PSI** – Present Serviceability Index). В ходе дорожного теста AASHTO, проведенного в 50-е годы, когда эксплуатационные качества дороги были оценены в виде предполагаемого PSI, этот коэффициент относится к физическому состоянию и неровности дорожного покрытия. Окончательный индекс эксплуатационной надежности выбирается проектировщиком в соответствии с рейтинговым значением дороги.

В обсуждение этой проблемы включились транспортные экономисты, высказав мнение, что руководство проектированием и эксплуатацией должно в результате дать дорогу, которая будет иметь минимальную общую стоимость срока службы. Теперь это считается ведущим принципом, хотя и не всегда реализуется на практике. Принцип заключается в том, что общая стоимость дороги, т.е. затраты на строительство, содержание и эксплуатацию должна быть сведена к минимуму. Конечно, это касается далеко не только проектирования дорожных покрытий, но дает инженерам-проектировщикам экономический ориентир.

При распространенном одобрении и поддержке систем управления проектирования и эксплуатации дорожных покрытий (и мостов) проектирование дорожных покрытий могло бы стать составной частью системы управления, с тем, чтобы проектные стандарты и расчетный срок службы могли бы учитываться при обслуживании, и была принята самая экономичная стратегия. Такая политика еще не получила широкого применения, но важно к ней стремиться как к конечной цели.

Существуют два взаимодополняющих подхода к разработке методов проектирования дорожных одежд. Один заключается в применении *структурного анализа*, в ходе которого за основу берутся идеальные свойства грунта и материалов слоев дорожного покрытия, чтобы разработать теорию проектирования, наиболее близкую к практике. Другой подход основан на *наблюдениях и эксперименте*, в результате которых рождается метод, основанный на эксплуатационных свойствах реальных дорожных покрытий под воздействием транспорта. Первый подход дает понимание поведения идеальных дорожных покрытий и определяет места приложения критических нагрузок. Изучение последствий влияния переходного прогиба и уровней нагрузки при использовании сочетаний различных материалов в слоях с разной относительной толщиной и жесткостью стало возможным в последние годы благодаря компьютерам и программному обеспечению. Такое изучение позволило распознать важнейшие критерии проектирования.

Первое понимание функций дорожного покрытия пришло тогда, когда уравнения Бусинеска (1885) были интегрированы в уравнения, позволявшие игнорировать нагрузки в полубесконечном гомогенном (однородном) изотропическом эластичном массиве породы (модуль E), к плоской поверхности которого приложено равномерное давление p (Па), действующее на круглую площадь радиусом r (м). Вертикальные и горизонтальные нагрузки уменьшаются от максимума на поверхности до относительно небольших величин на глубине, равной двум диаметрам под центром подвергнувшейся нагрузке площади. Максимальное сдвигающее напряжение достигает максимального значения на глубине $0,71r$. Пластичные материалы с низкой прочностью в этой зоне имеют тенденцию к разрушению в виде сдвига, когда поверхностные нагрузки достигают критических величин. При замене материала близко к поверхности слоем более прочного материала можно получить структуру с лучшим сопротивлением прилагаемым нагрузкам.

Прогиб поверхности покрытия в центре подвергнутой нагрузке площади равен

$$l = \frac{2 \cdot p \cdot r \cdot (1 - \nu)}{E}, \quad (32.9)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

В 1943 году Бурмистр выдвинул теорию, рассмотрев распределение нагрузки и смещения в случае, когда для распределения напряжения от приложенной нагрузки был использован слой (как, например, дорожное покрытие) с величиной E , отличной от полубесконечного материала под ним. Прогиб двухслойной равномерно нагруженной системы находится как

$$l = F_2 \cdot \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{E_2}, \quad (32.10)$$

где F_2 – безразмерный коэффициент, зависящий от соотношения модулей упругости слоев дорожной одежды и отношения толщины слоя к радиусу приложенной нагрузки; E_2 – общий модуль упругости системы основание – земляное полотно, МПа.

Реальное покрытие, конечно, это не одиночный эластичный изотропический однородный слой. Таблицы теоретических решений для нагрузок, растяжений и деформаций в трехслойных системах, допускающих полное сцепление без каких-либо зазоров или смещений на поверхностях раздела слоев, были даны Джеральдом и Уордлом в 1976 году. Эти реше-

ния позволяют принимать во внимание большинство первичных переменных при проектировании нежесткого покрытия. Рассмотренные нагрузки представляют собой поверхностные силы, которые могут быть приложены к поверхности дороги колесом автомобиля, включающие вертикальную нагрузку, внутренний и однонаправленный сдвиг, приложенные к круглой площади. Они представляют собой вертикальный сдвиг шины, сцепление и тормозящие/ускоряющие силы.

Применение этих таблиц для трехслойного покрытия, подвергнутого колесной нагрузке 40 кН с радиусом контакта 100 мм, показало, что нагрузка растяжения на дне поверхностного слоя равна 2,3 МПа, а напряжение на дне основания равно 70 кПа, тогда как прогиб поверхности под нагрузкой равен 0,7 мм. Наверху грунтового основания (уровень земляного полотна (породы)) вертикальное усилие в грунтовом основании равно 28 кПа, а прогиб уровня породы непосредственно под нагруженной площадью равен 0,4 мм. Заметьте, что дорожное покрытие уменьшило давление колеса с 1270 кПа на поверхности покрытия до 28 кПа на грунтовом покрытии, на уровне породы.

Исходя из вышесказанного, за рубежом выработаны следующие **основные критерии проектирования дорожных одежд нежесткого типа**:

- грунтовое покрытие должно выдерживать нагрузки транспорта без чрезмерной деформации; для этого определяется вертикальное напряжение при сжатии или деформация на уровне породы;

- битумные поверхностные слои не должны давать трещин под воздействием многократных транспортных нагрузок; для этого проверяется горизонтальная нагрузка на растяжение или деформация на дне поверхностных слоев;

- битумные материалы (или материалы, связанные цементом), используемые в дорожных основаниях, рассчитанных на длительный срок службы, не должны растрескиваться под воздействием многократных транспортных нагрузок; для поверхностных слоев проверяется горизонтальная нагрузка на растяжение или деформация на дне дорожного основания;

- в покрытии, содержащем значительный слой битумных материалов, должна быть ограничена внутренняя деформация эти материалов; их деформация является показателем их текучести;

- способность распределения нагрузки гранулированных подстилающих грунтов и дополнительных слоев должны обеспечивать удовлетворительную платформу для строительства.

Хотя метод анализа нагрузок очень полезен для достижения понимания характеристик взаимодействия слоев покрытия, важно иметь в виду, что реальные материалы, из которых делают дорожные покрытия, ведут себя не так как совершенные эластичные материалы. Анализ нагрузок лишь помогает оценить величину нагрузок в идеальной эластичной структуре, но не рассматривает пластичных деформаций и не определяет нагрузок и напряжений, при которых начинается пластичная деформация.

Ниже дается краткое описание некоторых главных ограничений допущений, принимаемых при расчетах дорожных одежд.

1. Хотя битумные материалы при переходных нагрузках ведут себя так же как и эластичные материалы (в действительности вязкоупругие), они обладают упругим модулем в большей степени подверженным воздействию температур и зависящим от длительности и частоты нагрузки.

2. Битум подвержен твердению с возрастом из-за окисления, которое происходит на поверхности очень быстро. Эта хрупкость в сочетании с химическими нагрузками часто ведет к появлению на поверхности трещин, которые затем расширяются вглубь. Эта такая же распространенная форма разрушения, как и усталостное разрушение, которое вызывает появление трещин внизу асфальтобетонного покрытия.

3. Если в каком либо из слоев образовались трещины, дальше этот процесс не идет. В отличие от напряжения сжатия, которое может передаваться, растягивающие напряжения не передаются. Поэтому слои, в которых есть трещины, значительно меняют распределение нагрузок. Точно так же вязкие деформации влияют на распределение нагрузок, нагрузка в этом случае передается на другие элементы, которые в свою очередь оказываются перегруженными.

4. Несвязанные гранулированные основания не могут выдерживать растягивающих напряжений, хотя анализ на эластичность может показать, что нижняя граница слоя основания находится под растягивающим напряжением.

32.17.2. Расчетный срок службы нежестких дорожных одежд

Для большинства новых дорог рекомендуемый расчетный срок службы составляет около 20 лет. В 1984 году были опубликованы результаты экономического исследования о влиянии первоначального расчетного срока службы на стоимость. В этом анализе, где учтены расходы за период 40 лет, рассмотрено разнообразие эксплуатационных характеристик дорожного покрытия, стоимость путевых задержек (перерывов) движения транспорта и расходы, связанные с реконструкцией. Расходы падают довольно быстро с 5 до 15 лет расчетного срока службы, но после 20 лет расходы снова начинают расти, хотя и не очень стремительно. Из этого можно сделать вывод о том, что расчетный срок службы 20 лет близок к оптимальному, что если и после него эксплуатация дороги продолжается, расходы ненамного выше.

Также западными исследователями был проведен анализ последствий изменения темпа роста движения транспорта и учетной ставки. Результат показывает, что темп роста движения транспорта не меняет оптимума, при более высокой учетной ставке оптимальный расчетный срок службы уменьшается. Однако уменьшение расходов между 15 и 20 годами очень незначительно и не меняет заключения о том, что расчетный период, примерно, в 20 лет подходит для проектирования новых автомобильных дорог.

32.17.3. Транспортные нагрузки на дорожные одежды

Одной из главных целей *дорожного теста AASHTO*, проведенного между 1957 и 1961 годами на автомобильных дорогах общего пользования в США, было изучение разрушающего воздействия грузовых автомобилей и автобусов по отношению к их осевой нагрузке.

Тест проводился так. На участке новой автомагистрали в Иллинойсе были построены полномасштабные опытные петли. Каждая петля состояла из опытных секций с нежестким и жестким покрытием, и в течение 24 часов в сутки по каждой петле ездили автомобили одного из 6-ти типов. Это были автомобили от двухосных грузовиков с максимальной нагрузкой на ось 0,9-2,7 т и максимальным весом брутто 3,6 т до пятиосных грузовиков с максимальной нагрузкой на ось 10,7 т и максимальным весом брутто 48 т. Толщина дорожного покрытия на каждой петле варьировалась между величинами, которые инженер-проектировщик считал менее чем достаточными для автомобилей, прикрепленных к данной петле.

Отрезок с наиболее мощной дорожной одеждой на одной петле был воспроизведен как самый маломощный на следующей петле, с более интенсивным движением транспорта. Таким образом, можно было оценить относительные эксплуатационные характеристики отрезков и сделать выводы о реально необходимой толщине дорожной одежды. Нежесткие отрезки включали основания из дробленого камня, не связанные и связанные битумом и цементом.

Ось, несущая нагрузку 8,16 т, была в тесте произвольно определена как эталонная ось с единицей разрушающего эффекта. Разрушающие эффекты с более легкими и более тяжелыми нагрузками были выражены в виде эквивалентных коэффициентов. Например, эквивалентный коэффициент 0,0002 при осевой нагрузке 910 кг означает, что требуется 5000 проходов такой оси, чтобы нанести такое же разрушение, как один проход единичной эталонной оси, а эквивалентный коэффициент 22,8 при осевой нагрузке 18140 кг означает, что один проход такой же оси причинит такой же ущерб, как 23 прохода эталонной оси.

На основе этого теста были разработаны главные положительные методы проектирования дорожных покрытий AASHTO, а эталонная ось с нагрузкой 8,16 т стала широко применяться в международной практике. Все осевые нагрузки приводятся к эквивалентному числу эталонных осей, и тогда дорожные покрытия проектируются с таким расчетом, чтобы выдерживать определенное количество эквивалентных эталонных осей (*ESA* – Equivalent Standard Axles), проходящих на полосе с самым интенсивным движением транспорта.

Необходимо признать *ограничения этого дорожного теста* и принять во внимание, что для развития методик проектирования дорожных одежд в применении к современным условиям были сделаны довольно большие и сомнительные экстраполяции его результа-

тов. Тест не был полным в том смысле, что не все осевые нагрузки прилагались ко всем толщинам дорожных одежд. Максимально примененная осевая нагрузка составила 10 т, но AASHTO и другие решили, закон экстраполяции 4-ой степени действует до 18 т. С очевидностью можно утверждать, что при увеличенной осевой нагрузке индекс степенного закона может увеличиваться до 5 или даже 6, особенно для относительно тонких покрытий. Поэтому Британская лаборатория исследований в области транспорта (*BTRL* – British Transport Research Laboratory) недавно приняла индекс 4,5 для проектирования дорожных одежд в развивающихся странах. Хотя метод, используемый в бывшем СССР для расчета нагрузок, отличен от Западного, представляется интересным, что индекс 4,5 здесь также был одобрен.

До начала проектирования дорожных одежд необходимо определить *транспортные нагрузки в виде ESA на одну полосу*. Для этого надо провести классифицирующий подсчет движения транспорта, чтобы определить среднегодовое ежедневное движение транспорта (*AADT* – Average Annual Daily Traffic) на существующих дорогах и подсчитать перспективное AADT (движение в обоих направлениях) на будущей новой или реконструируемой дороге. Подсчет должен быть выражен в виде количеств автомобилей каждого типа, а не просто общим числом.

Решив вопрос о расчетном сроке службы будущей дороги, необходимо сделать прогноз вероятного будущего роста движения транспорта за весь этот срок. Некоторые типы автомобилей по количеству растут быстрее, чем другие, что меняет состав автомобильного парка. На главных дорогах Беларуси, например, из-за роста торговли с западными странами, вероятно увеличение количества автомобилей западных марок, которые, обычно, загружены больше, чем местные автомобили.

Необходимо также иметь надежные данные по распределению нагрузок на оси автомобилей каждого типа. Это лучше всего сделать путем наблюдения за осевыми нагрузками на существующей аналогичной дороге, по которой ездят автомобили с тем же грузом, что и автомобили, которые будут использовать будущую новую дорогу. Такие наблюдения редко проводят только для одного проекта, и, возможно, будет лучше проводить весовые наблюдения в нескольких стратегических точках страны, а затем использовать модифицированные в случае необходимости результаты для всех дорог наблюдаемого типа. Конечно, можно ожидать, что на главные дороги с международным движением распределение осевых нагрузок будет иным, чем на дорогах с движением местного транспорта. Также второстепенные дороги будут отличаться от главных. Это необходимо учитывать при наблюдении за осевыми нагрузками в любой стране.

Исследовательская компания «Инжерут» («Ingeroute») недавно провела на Украине наблюдение за осевыми нагрузками в трех точках страны, используя два портативных прибора для измерения колесных нагрузок. Легковые автомобили и легкие грузовики не принимались во внимание, потому что их разрушающее воздействие незначительно. Заметьте, что для каждого типа тяжелого грузовика (более трех мостов) отдельно наблюдались автомобили бывшего СССР и западные грузовики. Это было необходимо, так как их осевые нагрузки отличаются. Результаты исследований показали, что многие местные грузовики ездят порожняком, а оси западных грузовиков несут большие нагрузки, чем грузовики бывшего СССР.

Осевая нагрузка для каждого автомобиля была введена в базу данных, и для каждой оси был вычислен ESA по формуле

$$ESA = \left(\frac{N_i}{8,16} \right)^4, \quad (32.11)$$

где N_i – осевая нагрузка, т.

Суммируя ESA всех осей каждого грузовика, был вычислен средний ESA для типа автомобиля. Так, например, для седельных тягачей из общего количества измеренных нагрузок (410 автомобиля), незагруженными оказались 128. При этом средняя эквивалентная нагрузка на ось (ESA) для загруженных седельных тягачей составила 2,7, т.е. около 10,5 т.

Для проектирования дорожного покрытия необходимо вычислить общее число проходов грузовиков каждого типа по проектируемой полосе за весь расчетный срок службы дороги. Эти числа затем умножаются на соответствующий средний ESA для типа автомобиля, и сумма этих слагаемых дает кумулятивный расчет ESA.

Вообще говоря, для двухполосной однопутной проезжей части движение по расчетной полосе рассчитывается простым делением AADT (оба направления) на 2. На 4-полосной двухпутной автостраде доля тяжелых грузовиков, двигающихся по внешней полосе, обычно выше, чем на внутренней полосе, поэтому она будет считаться расчетной полосой. Доля будет меняться вместе с AADT. На дорогах сельскохозяйственного значения на внешнюю полосу может приходиться 90% тяжелого транспорта, когда как на дороге, загруженной почти на всю пропускную способность, только 60% тяжелых автомобилей могут двигаться по внешней полосе. В этом случае движение по расчетной полосе будет таким – $(AADT/2) \times 60/100$. На однополосной дороге, поскольку весь транспорт проходит по одной колее в одном потоке, расчетное движение часто находится умножением AADT на 2.

32.17.4. Оценка прочности грунтового основания

Тип грунта основания в большей степени определяется местностью, по которой проходит дорога, но в местах, где грунты вдоль трассы дороги значительно различаются по прочности, от точки к точке, желательно устраивать дорожную одежду поверх более прочных грунтов, если это не противоречит другим ограничениям. При исследовании (изучении) площадки надо определить места залеганий наиболее подходящих материалов, и технические условия должны быть составлены таким образом, чтобы строитель был обязан тщательно выбирать цифры при строительстве насыпи.

Прочность дорожных грунтовых оснований обычно определяется в виде CBR (California Bearing Ratio) или по упругому модулю (часто вычисляемому по CBR), которые зависят от типа грунта, его плотности и влагосодержания.

При проектировании толщины дорожной одежды прочность грунта должна рассчитываться с учетом максимального влагосодержания, которая может быть в грунтовом основании после пуска дороги в эксплуатацию. Самый легкий метод определения расчетного влагосодержания – это измерение влагосодержания в грунтовых основаниях под существующими битумными покрытиями в аналогичных условиях во время года, когда водное зеркало достигает самого высокого уровня. Образцы надо брать не из-под обочины, а из-под покрытия минимум 0,5 м от края. Выбранные отрезки дороги не должны быть чрезмерно расстрескавшимися. Допуск на изменение грунта можно сделать путем измерения предела пластичности или влагосодержания. Отношение влагосодержания к пределу эластичности должно быть, примерно, одинаковым в одинаковых условиях. Во время строительства есть вероятность повышения влажности грунта основания до того, как его покроют влагонепроницаемым слоем дорожного покрытия. В случае, когда грунт основания – тяжелая глина, при проектировании надо предусматривать более высокое влагосодержание.

Другой метод основан на помещении образцов уплотненного грунта на всасывающую пластину (плиту) – устройства, на котором можно имитировать давление перегрузки дорожного покрытия и отрицательное водяное поровое давление на площадке. Этот метод дает самое точное измерение влагосодержания испытываемого грунта.

При уровне грунтовых вод ниже уровня земляного полотна более чем на 3 м, даже в сезон их наивысшего уровня, можно допустить, что влагосодержание в этом месте приближается к оптимальному, полученному в результате теста на уплотнение по легкому стандарту (Проктора).

Там, где существует вероятность сезонного затопления дороги паводком или поднявшимся уровнем грунтовых вод, которые не могут быть выпущены через дренаж, за основу расчета нужно брать условия максимальной влажности.

Рассчитав наихудшее вероятное влагосодержание, можно определить соответствующее расчетное значение CBR при определении плотности. Обычно рекомендуется уплотнить, примерно, 250 мм верхней части грунтового основания до относительной плотности 100% от максимальной сухой плотности, достигнутой в ходе теста на легкое уплотнение (для непластичного гранулированного материала плотность лучше всего измерять при проведении тестов на уплотнение вибрацией, т.к. они дают плотности, сравнимые с полевыми).

Тесты CBR выполняются с грунтом, уплотненным в формах CBR при расчетном влагосодержании, до нужной полевой плотности. В других случаях, более полную картину соотношения между плотностью, влагосодержанием и CBR в грунтовом основании можно получить путем измерения CBR образцов, уплотненных при разных влагосодержаниях и при двух

уровнях уплотнения. Расчетный CBR получают затем путем интерполяции. Этот метод предпочтительнее, так как позволяет сделать расчет CBR грунтового основания при различных плотностях и вычислить воздействие разных уровней сжатия при строительном проектировании.

Получив все полевые и лабораторные измерения соответствующих значений CBR, целесообразно нанести их на график рядом с сетью участков дороги, если это возможно. Используя визуальный осмотр или нанося на график перемещающиеся средние величины, можно выбрать явно однородные отрезки. Для каждого однородного отрезка можно вычислить среднее CBR. Однако если бы проектирование основывалось на средних величинах без какого-либо применения коэффициента безопасности, то к концу расчетного срока службы можно было бы ожидать разрушения 50% дорожного покрытия. Отбросив все вероятно низкие и высокие значения, которые по данным экспертизы являются посторонними, рекомендуется при проектировании брать значение 10-процентной обеспеченности, т.е. значение, превышенное на 90% данных.

В руководстве по проектированию дорожных одежд AASHTO используются средние значения прочности грунтовых оснований, но затем в расчетах применяется коэффициент безопасности путем введения коэффициента надежности.

32.17.5. Оценка воздействия температуры на дорожную одежду

Эластичность, вязкость, деформация и усталость битумных материалов зависят от температуры. Модуль упругости уменьшается с увеличением температуры, и, как следствие, нагрузки, прилагаемые к материалам под битумным покрытием, будут расти с ростом температуры. Также под влиянием больших поверхностных нагрузок битумные материалы имеют тенденцию к вязкой текучести, и эта тенденция растет с увеличением температуры. Именно в эти периоды обычно появляются выбоины. При всех прочих постоянных факторах во время высокой температуры на поверхности покрытие подвергается большему разрушению из-за увеличившихся нагрузок, чем в другое время. Это температурное воздействие учитывается в *методе проектирования покрытий «Шелл»* при использовании средневзвешенной температуры воздуха.

Было также выявлено, что при теплом воздухе скорость твердения битумного раствора с возрастом из-за окисления увеличивается. Наоборот, при низких температурах битумные растворы становятся все более вязкими и крепкими. При минусовых температурах битум превращается в ломкое (хрупкое) эластичное (упругое) твердое тело и при, примерно, -20°C он достигает так называемой «температуры превращения в стекло».

Неудивительно, что при таком климате, как в Беларуси, где температуры поверхности дорог колеблются в течение года от $+60^{\circ}\text{C}$ до -30°C , могут возникать очень высокие термические нагрузки, которые в сочетании с горизонтальными нагрузками транспорта, с большой долей вероятности могут привести к растрескиванию покрытий. В связи с этим возникает необходимость создания универсального материала покрытия дорожных одежд.

В идеальном случае битум должен:

- быть текучим и легким в обработке во время строительства;
- иметь хорошее сцепление с заполнителями;
- быть вязким при высокой температуре покрытия;
- быть достаточно текучим при низких температурах во избежание трещин;
- сопротивляться возрастному затвердеванию.

Некоторые из этих требований противоречат друг другу, и в странах с большими колебаниями температуры трудно производить асфальтобетонную смесь, которая достаточно крепка при высоких температурах для сопротивления возникновению выбоин; достаточно гибкая (эластичная) и текучая, чтобы не потрескаться под воздействием низких температур, и содержащая достаточно битума, чтобы сопротивляться возрастному затвердению.

Смеси могут быть такими, но, очевидно, что допуск может быть таким незначительным, что это бы потребовало применение самых строгих процедур по обеспечению качества не только на строительной площадке, но также и при производстве битума. Были попытки изготовить битумные смеси, менее подверженные воздействию температур, и повысить пластичность, изменяя ее путем добавления небольшого процента (3-5%) стирен-бутадиена-стирена (SBS) (*синтетическая резина*), который создает в битуме длинные цепные молеку-

лярные структуры. Предварительные результаты в этой области кажутся успешными на примере румынского битума, но необходимо подождать еще несколько лет, прежде чем сделать окончательные выводы.

Исследования показали, что большая часть трещин, как на старых, так и на новых покрытиях начинается на самой поверхности, а не внизу пограничного слоя в колесной колее, как думали раньше. Только сейчас приходит понимание, что именно возрастное затверждение, которое происходит очень быстро в нескольких верхних миллиметрах, является главной причиной растрескивания вглубь от поверхности.

Результаты измерения вязкости битума, взятого из нескольких уровней под асфальтовыми покрытиями в Кении Лабораторией Транспортных Исследований (TRL) показали, что старение, вызванное окислением, происходит быстрее в пористой асфальтовой смеси. Похоже, что применения пористых заполнителей надо избегать, и что смеси, содержащие больше битума, менее подвержены растрескиванию и, возможно, возрастному затвердеванию. Процесс затвердевания может быть замедлен путем восстановления поверхности с помощью масел и битума с высокой проникающей способностью. TRL предложила через небольшое время после укладки асфальтобетона произвести разовое уплотнение (заделку) поверхности или поверхностную обработку для пропитки поверхности битумом, чтобы задержать возрастное затверждение. Было показано, что такие обогащенные битумом поверхности стареют намного медленнее, чем заранее приготовленные смеси. Поскольку это влечет за собой дополнительные расходы, всеобщее одобрение этой идеи пока не достигнуто.

Как известно, влажность в Беларуси во время весенней оттепели достигает пиковой отметки, и степень разрушения дорог наиболее велика в это время года (вспучивание). Интересно заметить, что дорожный тест AASHTO проводился в Иллинойсе, где почти такие же суровые зимы, как и в Беларуси. Из этого делается вывод, что наиболее подходящее время для измерения влагосодержания грунтового основания – период, следующий сразу за оттепелью. Не следует игнорировать разрушение покрытия в остальное время года, и руководство AASHTO рекомендует применение средневзвешенного модуля упругости грунтового основания, который учитывает изменения прочности всех времен года.

32.17.6. Метод AASHTO для расчета дорожных одежд (1993 год)

Этот метод оценки прочности дорожной одежды является самой последней версией разработанного в США, начиная с 1961 года, и в значительной степени зависит от результатов наблюдаемых характеристик при испытаниях дорожных одежд по тестовому методу AASHTO.

Концепции, использованные в этом пособии, были разработаны в связи с дорожными испытаниями по методу AASHTO, результаты которых были опубликованы в 1962 году. Во время этих испытаний непригодность дороги оценивалась субъективно в зависимости от качества проезда, которое ощущает «средний» пользователь дорогой, определенное в виде рейтинга текущей пригодности (РТП), при этом результаты определяются группой дорожных пользователей с использованием шкалы оценок от 1 до 5. Далее в обязанности инженера-дорожника входит количественная интерпретация РТП с точки зрения таких разнообразных факторов, как деформация, растрескивание, ямочные дефекты и ровность поверхности. Преобразованные таким образом величины выражаются в форме показателя текущей пригодности (ПТП), при этом соотношение показателя с инженерными величинами выражается следующим уравнением

$$ПТП = 5,03 - 1,91 \cdot \log(1 + SV_m) - 1,38 \cdot RD_m^2 - 0,01 \cdot \sqrt{(C + P)}, \quad (32.12)$$

где RD_m – средняя глубина колеи в двухколесных следах, футов; SV_m – колебания уклонов умноженные на 10^6 (усредненное по двухколесному следу); C – растрескивание, которое выражается как площадь дорожного покрытия в квадратных футах, испытывающая дефект в виде сетки трещин или других трещин, которые приводят к разрушению битумного верхнего слоя, измеренная на общей площади в 1000 кв. футов.

Из уравнения 32.12 видно, что колебания уклона оказывают самое сильное влияние на величину ПТП, а колееобразование и растрескивание оказываются наименее важными факторами. Колебания уклона являются мерой шероховатости дороги.

Показатель текущей пригодности (*ПТП*) для новой дороги должен быть в районе 4,5, при этом проектировщик должен выбрать конечную величину ПТП. Она обычно берется от 2 до 2,5, при этом 2,5 используется для магистральных дорог.

Базовое уравнение проекта, которое используется в руководстве для расчета гибкого дорожного покрытия AASHTO, следующее

$$\log w_{18} = Z_R \cdot S_o + 9,36 \cdot \log(SN + 1) + \frac{\log\left(\frac{\Delta ПТП}{2,7}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log M_R - 8,27, \quad (32.13)$$

где w_{18} – прогнозируемое количество проездов эквивалентной стандартной осевой нагрузки в 8,16 т по проектируемой полосе; Z_R – стандартное нормальное отклонение; S_o – совокупная стандартная ошибка в прогнозах транспортной нагрузки и дорожных характеристик; $\Delta ПТП$ – разность между исходным проектным показателем пригодности p_o и проектным конечным показателем пригодности p_i ; M_R – модуль упругости основания (в Паскалях на кв. дюйм); SN – структурное число, характеризующее совокупную прочность всех слоев предлагаемой новой дорожной одежды, лежащей поверх основания.

При этом число SN является искомым в данном уравнении. Как можно заметить, прямое решение уравнения 39.5 невозможно, поэтому используется метод постепенного приближения или построенные предварительно номограммы.

Каждый слой дорожной одежды вносит свой вклад в прочность и в распределение нагрузки на покрытие, но различные материалы слоев имеют различную прочность и жесткость. В результате анализа, проведенного с применением дорожного теста AASHTO, относительный вклад различных слоев материала был определен, после чего были введены коэффициенты прочности слоев в следующем виде

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3, \quad (32.14)$$

где a_1 – a_3 – прочностные коэффициенты слоев для верхнего, нижнего слоев покрытия и слоя основания, соответственно; D_1 – D_3 – мощности этих слоев, м.

Несмотря на то, что модуль упругости (модуль Юнга) берется в качестве стандартной меры качества материала, необходимо, тем не менее, определить *соответствующие коэффициенты слоев*, которые необходимы при структурном подходе к проектированию. Важно понимать, что введение коэффициентов слоев является упрощенной концепцией, и что, хотя такие коэффициенты берутся как постоянные, в действительности они могут изменяться в определенном диапазоне в зависимости от толщины слоев, типа нижележащего основания, положения в структуре дорожной одежды и коэффициентов жесткости различных слоев.

Полученные из испытаний AASHTO коэффициенты можно использовать с уверенностью только тогда, когда пропорции дорожного покрытия равны примерно тем, которые участвовали в тестах AASHTO. Если это не так, появляется риск того, что экстраполяция приведет к серьезной ошибке.

Структурные коэффициенты слоев для асфальтобетона можно получить с помощью специальной номограммы в зависимости от модуля упругости асфальтобетона E_{ac} (фунты/кв. дюйм) при температуре около 20°C. Так, например при $E_{ac}=20000 \text{ f/d}^2$ значение структурного коэффициента составляет $a=0,3$. Важно выбрать такую величину, которая соответствует спецификациям и может быть применена к тем температурным условиям, которые являются определяющими в то критическое время года, когда покрытие наиболее слабое. Для Беларуси таким критическим периодом может считаться время сразу же после таяния снегов. Однако летом 2003 года, когда температура поверхности достигала своего пика, битумные верхние слои имели свой наименьший показатель жесткости, хотя основание и гранулированные слои были в наиболее сухом и, естественно, прочном состоянии. Поэтому лучше всего вычислять структурное число исходя из обоих критических значений, а затем выбирать время года, которое дает самую низкую величину.

Коэффициенты слоев для других материалов колеблются от 0,06 для песка крупнозернистого до 0,32 для песчано-гравийной смеси, укрепленной вяжущим. Поскольку все коэффициенты слоев в американском методе приводятся на дюйм толщины слоя, то при работе в миллиметрах следует разделить все коэффициенты на 25,4.

Как известно, прочность и жесткость гранулированных слоев сильно зависят от их водонасыщения. Инструкция AASHTO предлагает *величины дренажных коэффициентов m_i* , в соответствии с дренажным состоянием предлагаемого дорожного покрытия. Качество дренажной системы зависит от скорости отвода воды. Если она отводится за одну неделю (ситуация с тестом AASHTO), то качество следует признать удовлетворительным, если один месяц – плохим, если год – очень плохим. И наоборот, если вода может отводиться за одни сутки – дренаж хороший, если за два часа – очень хороший. При этом значение m_i может быть как больше единицы (для хороших 1,20, очень хороших – 1,05), так и меньше (для удовлетворительных – 0,8, плохих – 0,6, очень плохих – 0,4). Следует отметить, что величины дренажных коэффициентов изменяются еще и в зависимости от процента водонасыщенности слоев дорожной одежды.

Дренажные коэффициенты применяются вместе с коэффициентами слоев таким образом, что структурное число каждого гранулированного слоя вычисляется следующим образом

$$SN = m_i \cdot a_i \cdot D_i. \quad (32.15)$$

Эта формула уменьшает или увеличивает коэффициент слоя ниже или выше того значения, которое было получено в результате дорожных испытаний AASHTO.

Вне всякого сомнения, лучше всего определять *модуль упругости грунтового основания M_R* путем выполнения ряда лабораторных повторяющихся испытаний нагрузочной способности в специально разработанном трехосевом приборе, испытывая на нем пробы почв, взятые из близлежащих котлованов, из которых планируется брать грунт при сооружении дорожного полотна. Такие испытания удобно выполнять на тех пробах, для которых известны величины *Калифорнийского нагрузочного теста (CBR – California Bearing Ratio)*. Однако, если это невозможно, модуль упругости можно приближенно оценивать из проектного значения CBR на месте, как это предлагает Инструкция AASHTO на основе уравнения

$$M_R = 1500 \text{ CBR (в фунтах на кв. дюйм) или } 10 \text{ CBR (МПа)}. \quad (32.16)$$

Поскольку формула, предлагаемая AASHTO, требует использования единиц в фунтах на кв. дюйм, рекомендуется выполнять все вычисления также в этих единицах.

Было доказано, что жесткость гранулированного материала не пропорциональна величине CBR и что более подходящим соотношением будет

$$M_R = 17,6 \text{ CBR}^{0,64} \text{ (МПа)}. \quad (32.17)$$

Эта формула была предложена лабораторией транспортных исследований (TRL) Великобритании и подтверждена последующими испытаниями.

Обычно существуют сезонные колебания в уровнях влаги, поэтому инструкция AASHTO предлагает способ определения эффективного модуля упругости почвы M_R для случая гибких дорожных покрытий, который заключается в том, чтобы определять M_R для основания дорожной одежды в каждый из месяцев года. После этого вычисляется относительный коэффициент дефектов, и все значения суммируются за год в целом. *Средний относительный коэффициент дефекта* вычисляется с использованием этой средней величины, после чего из номограммы или с помощью вычислений, определяется эффективный модуль упругости дорожного основания. Именно эту величину следует использовать при проектировании.

На протяжении зимнего времени года в Беларуси грунт и дорожные сооружения обычно промерзают, в основание дороги проникает лишь незначительное количество влаги. Во время таяния можно предположить, что модуль упругости составляет около 40000 фунтов/кв. дюйм. После таяния, когда все внутренние массивы льда растаяли, а талый снег проник в грунт, уровень влаги в подповерхностном слое достигает своего максимума. Исследования грунта должны быть направлены на то, чтобы определить типичные условия по влажности в основании дорожного полотна на существующих дорогах в это критическое время года. Если это невозможно, то остается предположить, что самое низкое значение модуля после таяния будет составлять примерно от 20 до 30% от нормальной величины в летний период. Рекомендуется выполнять испытания на прогиб на существующих дорогах во время таяния и позднее – летом, что позволит определить те изменения, которые имеют

место в модуле упругости. Для этой цели необходимо тщательно измерять величину «чаши прогиба».

Если обнаружено, что грунт основания дороги подвержен *промерзанию*, а водоносный слой находится неглубоко (менее 1,0 м), то необходимо запроектировать слой из морозостойкого материала под дорожные одежды, который будет действовать в качестве изолятора. Рекомендации по толщине такого слоя не приводятся в Инструкции AASHTO, поэтому необходимо руководствоваться местным опытом. Для полной защиты от разрушительного воздействия мороза, необходимо устраивать дорожную одежду и морозозащитный слой по толщине прогнозируемой средней глубине промерзания, хотя некоторые инженеры оспаривают это мнение и утверждают, что меньшая толщина также дает достаточно эффективную защиту. Однако, даже если и не происходит вспучивания по причине промерзания, было замечено, что непосредственно после таяния измерение прогиба свидетельствует о снижении прочности дорожной одежды ниже того уровня, который был перед замерзанием. *Рекомендуется* поэтому, чтобы толщина структуры дорожной одежды была, по крайней мере, равна глубине промерзания (с интервалом повторяемости, скажем, 10 лет).

В США и Европе методы оценки необходимой морозостойкой защиты различны в разных странах и климатических условиях. Однако инженерные войска США опубликовали полезную поправку, которая связывает глубину промерзания и показатель промерзания. Показатель промерзания определяется как произведение количества морозных дней на среднесуточную температуру воздуха. Интересно, что такой же показатель используется в странах бывшего Советского Союза для определения толщины требуемого морозозащитного слоя. Для того, чтобы использовать этот график для оценки промерзания дорожной одежды, которая состоит из различных материалов, а также для нижележащего грунта, следует делать поправку на более быстрое проникновение нулевой изотермы сквозь материалы дорожной одежды, чем сквозь нижележащий грунт.

Не желательно включать морозозащитный слой в качестве компонента дорожной одежды, поскольку это не входит в состав дорожного теста AASHTO. Однако этот слой, скорее всего, увеличит прочность основания дорожного полотна, поэтому проектировщик должен учитывать совокупное воздействие модуля упругости морозозащитного материала и нижележащего основания.

При использовании метода AASHTO проектировщик должен не забывать пользоваться средними значениями для таких факторов, как давление на грунт, транспортная нагрузка, дренажные коэффициенты и прочность слоев дорожной одежды. Без учета каких-либо коэффициентов надежности, включенных в проект вероятность того, что реальная нагрузка и реальная прочность компонентов будут отличаться от проектных, может составить до 50%. На практике, поскольку дорога никогда не остается однородной, следует ожидать того, что дорога придет в негодность преждевременно, и даже если прогнозы окажутся правильными, возможно 50%-ное разрушение дорожной одежды (достигнет своего конечного уровня работоспособности) к концу проектного периода (после того как по ней пройдет расчетная транспортная нагрузка). Такой ситуации можно избежать, если применить *показатель надежности* (или показатель безопасности).

Концепция надежности вводится как средство учета некоторой неопределенности в процессе проектирования, чтобы обеспечить долговечность дорожной одежды в течение расчетного периода. Показатель надежности проекта учитывает вероятностные колебания как в прогнозах транспортной нагрузки (w_{18}), так и в рабочих характеристиках дорожной одежды, и определяет предполагаемый уровень гарантии (R) того, что дорожная одежда выдержит расчетный период эксплуатации.

Как правило, с учетом того, что объем транспорта, а также сложности с его перенаправлением возрастают, следует свести к минимуму риск того, что дорожные одежды преждевременно разрушатся. В табл. 32.10 представлены рекомендуемые уровни надежности для различных классов автомобильных дорог.

Следует отметить, что более высокие уровни соответствуют дорогам с большой интенсивностью движения, в то время как самый низкий уровень (50%) соответствует местным дорогам, по которым движется, в основном, легкий транспорт (до 5 т).

Таблица 32.10. Уровни надежности дорожных одежд

Функциональные классы	Рекомендованный уровень надежности для	
	городских дорог	загородных дорог
Межгосударственные и прочие автомагистрали	85-99,9	80-99,9
Основные транспортные артерии	80-99	75-95
Подъездные дороги	80-95	75-95
Местные	50-80	50-80

Надежность проектных характеристик необходимо контролировать посредством использования проектного показателя надежности (F_R), который умножается на проектный прогноз транспортной нагрузки, в результате чего получается проектная величина ESA (W_R), которую можно использовать в уравнении проекта. Показатель надежности учитывает общевероятностные колебания, как в прогнозах транспортной нагрузки, так и в прогнозах характеристик дорожной одежды.

Для прогнозирования интенсивности движения транспорта и характеристик слоев дорожной одежды предполагается, что совокупность всех возможных исходов после каждого из вероятностных отклонений будет иметь вид нормального распределения относительно логарифма реальной транспортной интенсивности или проектных характеристик дорожной одежды ($\log ESA$).

Объединенное стандартное отклонение двух вероятностных распределений будет регламентироваться формулой

$$S_0^2 = S_w^2 + S_N^2, \quad (32.18)$$

где S_w и S_N – стандартные отклонения возможных ошибок в прогнозировании интенсивности и характеристик слоев дорожной одежды, соответственно.

Для рационально спроектированной и построенной дороги величина S_0 должна составлять 0,45. В тех случаях, когда прогноз интенсивности движения в будущем менее определен, можно принять величину, равную 0,49. Обычно величина S_0 должна лежать в диапазоне от 0,40 до 0,50.

Величина Z_R (стандартное нормальное отклонение), зависит от величины R (надежности) и принимается следующей:

R	50	60	70	75	80	85	90	95	96	97	98	99	99,9	99,99
Z_R	0,00	-0,253	-0,524	-0,674	-0,841	-1,037	-1,282	-1,645	-1,751	-1,881	-2,054	-2,327	-3,090	-3,750

Все рассчитанные параметры подставляются в базовое уравнение метода и получают структурные числа SN , которые затем корректируются вышерассмотренными коэффициентами.

32.17.7. Метод проектирования дорожного покрытия компании Шелл (1995 год)

Этот метод основан на анализе напряжений в упругой модели трехслойной дорожной одежды, состоящей из битумного верхнего слоя, нижнего слоя из гранулированного заполнителя и грунтового основания. Он разработан в ЕС на основе исследовательской работы, в которой основное внимание уделялось свойствам битумов и битумных смесей.

В качестве допущения принимается упрощенная и идеальная структура покрытия, к которому через двойное колесо прилагается стандартная осевая нагрузка 80кН. Предполагается, что дорожное покрытие состоит из трех совершенно эластичных слоев.

Основные критерии проектирования:

- деформация сжатия в поверхности грунтового основания. Если она чрезмерна, в верхней части будет проходить процесс постоянного разрушения;
- горизонтальная деформация растяжения в асфальтобетонном слое, обычно в нижней его части. Если она чрезмерна, произойдет растрескивание слоя;
- допустимое растягивающее напряжение или деформация в любом связанном слое основания и общая постоянная деформация на поверхности покрытия, являющаяся результатом деформаций в различных слоях.

На основе этих критериев были построены расчетные графики путем подбора возможных комбинаций разной толщины битумного слоя и несвязанных слоев основания для данного модуля грунтового основания, типа асфальтобетонной смеси, средневзвешенной температуре воздуха и числа приложений стандартной осевой нагрузки, ожидаемых в тече-

ние расчетного срока службы дорожного покрытия, с таким расчетом, чтобы критические напряжения не превышали допустимых значений для различных материалов (рис. 32.3).

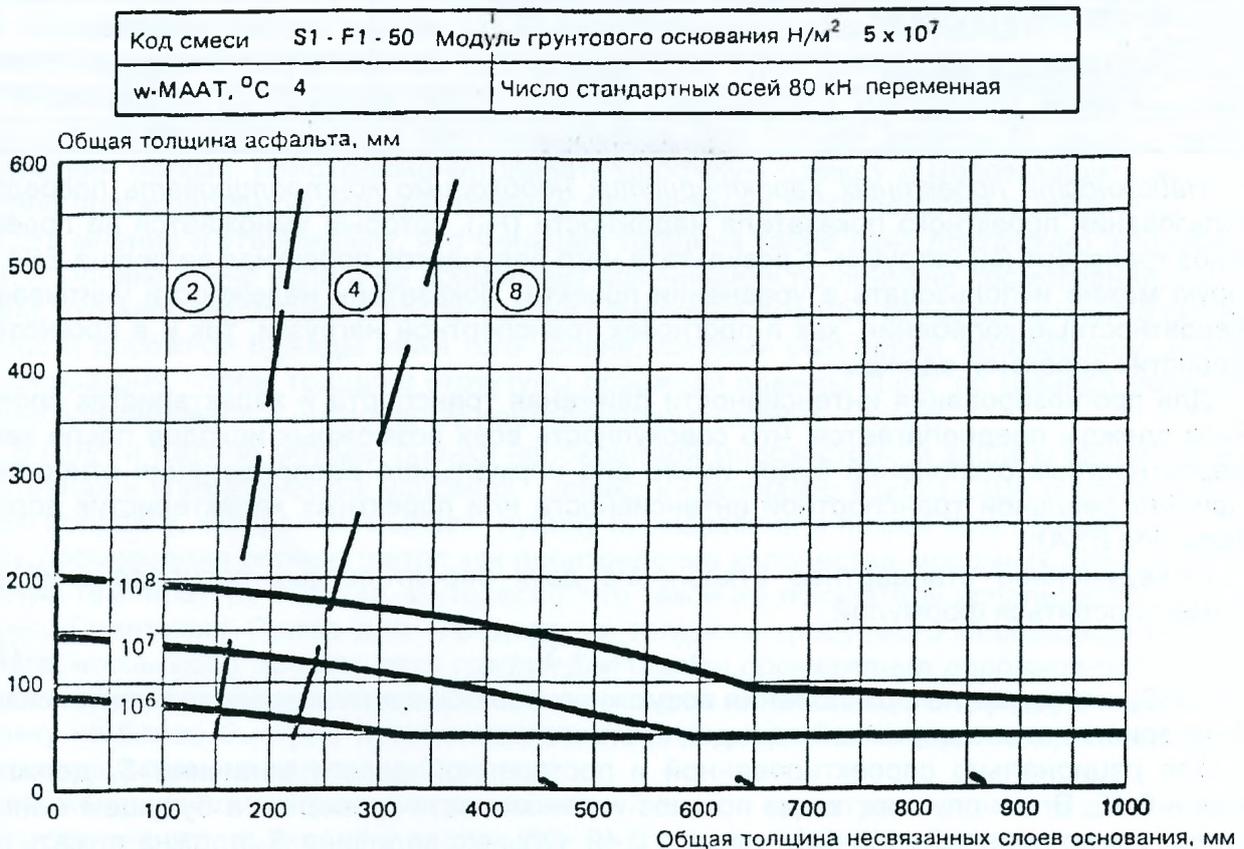


Рис. 32.3. Пример расчетного графика дорожной одежды

Расчетные графики содержат следующие параметры:

- код асфальтобетонной смеси;
- средневзвешенную годовую температуру воздуха w-МААТ;
- количество эквивалентных стандартных осей;
- модуль упругости грунтового основания.

В каждом графике только один параметр является переменным. При использовании графиков допускается интерполяция между ними. В зависимости от используемых материалов и преобладающих условий решающим критерием может быть деформация либо грунтового основания, либо асфальтобетонного слоя. Расчетная кривая обычно строится из двух разных кривых, связанных с этими двумя критериями.

Как только выбрано число предполагаемых структур дорожных одежд, определяется ожидаемое значение постоянной деформации в асфальтных слоях в течение расчетного срока службы каждой структуры. В этой части процедуры для имитации движения транспорта используется однократная вертикальная стандартная колесная нагрузка, а весь асфальтобетонный слой делится на три части. Постоянная деформация каждой части определяется, прежде всего, из толщины слоя, среднего напряжения и прочности смеси. Общая деформация (деформация асфальтобетонных слоев плюс предполагаемая деформация несвязанных слоев) будущих конструкций может быть оценена как допустимая или нет.

В данном методе расчета *концом расчетного срока службы* дорожного покрытия считается не разрушение, а наступление того момента, когда требуется его укрепление, чтобы обеспечить дальнейшую нормальную эксплуатацию. *Стандартной нагрузкой* при вычислении напряжений является двойное колесо с нагрузкой 80кН.

Колебания температуры окружающей среды сильно воздействуют на свойства битумных материалов, особенно на поверхностный защитный слой. Для произведения расчетов был разработан метод выведения средневзвешенной годовой температуры воздуха w-МААТ, получаемой из среднемесячных температур воздуха (ММАТ) для данной местности. В Беларуси вероятное значение w-МААТ составляет около 10.

Значение w -МААТ относится к действительной температуре асфальта, и таким образом к реальному модулю асфальта. Термин «средневзвешенная» годовая температура воздуха означает, что было учтено влияние на расчеты дневных и месячных колебаний температур в дорожном покрытии, это влияние не может быть учтено, если просто взять среднеарифметическую температуру. Значение w -МААТ получают из значений ММАТ с помощью кривой «взвешенных температур».

При методе Шелл используется *модуль упругости асфальтобетона*, определяемый при соответствующей плотности и уравновешенном содержании влаги. Для определения модуля упругости используется метод AASHTO. Однако для расчетов берется не среднее значение, а значение, ниже которого находятся лишь 10% данных (обеспеченностью 10%).

При проектировании также требуется, чтобы был известен *модуль упругости несвязанных материалов*. Метод компании Шелл определяет необходимые минимальные значения в соответствии с используемой толщиной и модулем грунтового основания.

Существует почти бесконечное множество видов асфальта. Однако при структурном проектировании большое значение имеют два свойства: прочность смеси при кратковременных нагрузках (модуль динамической прочности S_{mix}) и усталостные характеристики. Поэтому для смесей с типичными характеристиками прочности (обозначенными в нормах смеси типов S_1 и S_2) и усталостными характеристиками (сноски кода F_1 и F_2), связанных затвердевшим битумом с глубиной проникновения 50 и 100 (сноски кода смеси 50 и 100), были разработаны таблицы вязкости. Полученные в результате 8 кодов смесей S_1-F_1-50 , S_1-F_2-100 и т.д. представляют собой самые распространенные типы смесей, используемые при строительстве дорожных покрытий.

Для удобства общих структурных расчетов битумный слой рассматривается как единый элемент. На самом деле он состоит из нескольких отдельных самостоятельных слоев: *несущий слой, промежуточный или связующий слой* (иногда называемый нижним слоем дорожного покрытия) и, возможно, *битумное основание* (иногда называемое дорожным основанием). Когда рассматриваемая конструкция имеет относительно мощный структурный слой, код смеси, соответствующий этому слою, берется за основу при расчетах.

Из построенных расчетных графиков Шелл можно считать значения *толщины слоев*, требуемые для альтернативных конструкций, удовлетворяющим допустимым критериям деформации.

32.18. Особенности расчета поверхностного и подземного водоотвода

Одним из самых важных аспектов проектирования дороги является мера по защите от воздействия наземных и грунтовых вод. Вода на дорожном покрытии вызывает замедление скорости движения транспорта и является причиной дорожно-транспортных происшествий из-за скольжения и потере видимости из-за брызг и водяной пыли. При попадании воды в структуру дороги дорожное покрытие и земляное полотно теряют прочность и в большей степени подвергаются разрушающему действию транспорта. Вода может попасть в дорожную одежду в результате проникновения осадков с поверхности или инфильтрации грунтовых вод. Неадекватный дренаж часто является причиной разрушения дорог.

Вода также неблагоприятно воздействует на обочины, откосы, кюветы и другие элементы дороги. Разрушение может произойти прямо на глазах, например, когда обваливаются выемки или когда насыпи и мосты уносятся разлившейся водой. Высокая скорость потоков воды может вызвать эрозию, а при сильной эрозии дороги полностью выходят из строя. С другой стороны, низкие скорости в структурах дренажа могут привести к заилению, что в свою очередь, может вызвать закупоривание. Закупоривание же ведет к дальнейшей эрозии или переливанию через край и возможному размыву.

Цель поверхностного дренажа заключается в удалении ливневых вод с проезжей части для обеспечения безопасного и эффективного движения транспорта. Кроме того, необходимо проектировать поперечные дренажные структуры, включая мосты, с целью предотвратить затопление и повреждения проезжей части и прилегающих земельных угодий.

При проектировании дренажных конструкций на поверхности следует сделать выбор между *эксплуатационными расходами и допустимыми рисками*, принимая во внимание стоимость строительства дренажных систем и защиты от эрозии, которая часто составляет значительную долю расходов по строительству дороги. Первым шагом при проведении гид-

равлических расчетов дренажа автомобильной дороги является *определение проектных расходов*, проходящих через все главные конструкции, равно как и рек и водных артерий, прилегающих к трассе.

32.18.1. Учет атмосферных осадков

Несмотря на то, что в некоторых районах характер осадков является постоянным, в большинстве мест количество осадков непредсказуемо и сильно варьируется в зависимости от времени и пространства. Объем осадков во время ливня является базовым показателем для многих методов определения максимального расхода паводка. В идеале необходимо получить информацию о подробных изменениях интенсивности осадков в течение всего ливня с выбранным интервалом повторения.

Ливневые дожди продолжительностью от получаса до нескольких часов, в зависимости от площади водосбора, часто носят характер чрезвычайных явлений, вызывая паводки. Для более крупных дренажных систем, имеющих более продолжительное время срабатывания, ливни большей продолжительности являются критическими.

Данные о количестве атмосферных осадков получают путем замеров глубины дождевой воды, попавшей в каждый из многочисленных дождемеров, которые установлены постоянно в разных точках страны. Необходимо определить общее количество осадков в регионе, а также выбрать метод для производства данных расчетов. Есть несколько способов, но самый оптимальный заключается в построении на карте *изогиет* (линий, соединяющих точки равного количества осадков). Можно измерить площади между соседними изогиетами и вычислить общее количество осадков путем умножения площади на среднее значение верхней и нижней изогиеты.

Сильные кратковременные ливни обычно выпадают на ограниченной территории. Для площадей, превышающих 10 км², это факт следует учитывать при моделировании количества осадков путем применения переводных коэффициентов к количеству осадков в точке. В целом, переводной коэффициент площади (полученный в результате преобразования между количеством осадков в точке и количеством осадков на данной площади) зависит как от площади и длительности, так и от силы ливня (часто выражаемой в виде интервала повторения). Тем не менее, зависимость от интервала повторения часто бывает незначительной.

Интервал повторения T (повторяемость) определяется как среднее количество лет между ливнями данной силы или более сильными. Интервал повторения есть инвертированная вероятность явления. Однако не следует делать вывод, что ливень случается регулярно в интервале *T-лет*, есть вероятность его повторения в любой год, равная $1/T$. При анализе подборки данных по количеству осадков наиболее широко применяется статистический анализ предельных значений. Подобная методика применяется также и к другим рядам данных, например, расходам.

Обычно анализируется годовой ряд данных по количеству осадков. Для выбранной продолжительности осадков, например, 2 часа, 1 час или 30 минут наибольшее значение количества осадков (глубина) выделяется для каждого календарного года. Этот ряд называется годовым максимальным рядом. Данные записываются в порядке убывания значений, и каждому из них присваивается разряд: первому – разряд 1, второму – 2 и т.д. Затем вычисляется интервал повторения для каждого значения с помощью формулы

$$T = (N + 1) / n, \quad (32.19)$$

где N – число лет в ряду; n – разряд.

Ряд предельных значений годового количества осадков теперь можно нанести на график наряду с интервалом повторения вероятности и провести прямую линию (эмпирическая кривая на клетчатке вероятности). Предельные значения для других интервалов повторения теперь можно снимать с этого графика или его экстраполяции. Наиболее вероятная точность обычно достигается при использовании кривой распределения вероятностей Гумбеля, но в некоторых случаях возможно применение нормального распределения. Вместо диаграмм и графиков, можно применять аналитические методы. Для проведения подробного и точного статистического анализа неплохо иметь в распоряжении достоверные данные по меньшей мере за 10 лет, при экстраполяции же значения для более продолжительных периодов следует иметь данные за более длительный период.

32.18.2. Определение максимального расхода паводка

Максимальный расход паводка в потоке зависит от большого количества характеристик осадков, дренажа и потока. Самыми значительными параметрами являются интенсивность и географическое распределение осадков, размер площади водосбора, профиль и уклон дренажа, поглощающая способность почвы, плотность растительного покрова, уклон и бурность потока, емкость водосбора. Разброс параметров различных дренажных систем может быть довольно большим.

Кривая расходов, нанесенная рядом с линией времени с момента начала ливня, называется *гидрографом*, а наибольшая величина расхода на гидрографе – это максимальный расход. Конфигурация гидрографа значительно варьируется для разных водосборов и зависит от силы ливня и параметров дренажа. Гидрографы с наибольшими пиками отображают неровные характеристики горного водосбора со скудной растительностью, крутыми склонами, низкой инфильтрацией. Для территории Беларуси характерен более низкий и плавный гидрограф, типичный для водосборов с низким рельефом и густой растительностью, хорошей поглощающей способностью.

Разработано большое количество методов определения максимального расхода паводка. Их можно разделить на 3 различные категории.

1. Анализ данных о потоке. В том случае, если возможно распознавать следы паводка, оставленные на растительности, или получить информацию с измерительных устройств, за которыми ведется наблюдение во время паводков, то, используя результаты обследования наклона русла потока и его профиля, а также расчет шероховатости поверхности по Маннингу, максимальный расход паводка можно определить с помощью уравнения Маннинга

$$Q = A \cdot \frac{I}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}, \quad (32.20)$$

где Q – расход, $\text{м}^3/\text{с}$; A – площадь поперечного сечения, м^2 ; n – коэффициент шероховатости поверхности по Маннингу; S – продольный уклон русла потока; R – гидравлический радиус, равный A/P , м ; P – смоченный периметр, м .

Этот метод определения максимального расхода паводка называется *методом наклонной площади*. Приблизительная начальная скорость потока может быть вычислена путем измерения скорости движения поплавка, плывущего по течению потока, близкого к условиям паводка. Действительная средняя скорость будет равна скорости поплавка, умноженной на 0,85.

2. Моделирование расходов. Наиболее часто используемое определение расходов для районов, не оборудованных водомерами, называется «рациональным методом». Он больше подходит для небольших водосборов площадью до нескольких квадратных километров. Основная форма уравнения такова

$$Q = (C \cdot I \cdot A) / 3,6, \quad (32.21)$$

где Q – максимальный сброс паводка на выходе дренажа, $\text{м}^3/\text{с}$; C – рациональный коэффициент расхода; I – средняя интенсивность осадков по всей поверхности водосбора ($\text{мм}/\text{ч}$) при продолжительности, соответствующей времени концентрации; A – площадь водосбора, км^2 .

Время концентрации (добегания) определяется как время, необходимое для достижения поверхностным потоком намеченной точки при движении из наиболее удаленной части площади водосбора. Время концентрации может быть вычислено с помощью эмпирической формулы. В Великобритании при проектировании дренажа автомобильных дорог используется следующее уравнение, основанное на всестороннем изучении водосборов по обширной территории

$$T_c = 2,48 \cdot (L^2 / Z)^{0,39}, \quad (32.22)$$

где T_c – время концентрации, час.; L – длина основного потока, км ; Z – увеличение высоты от водоотвода до усредненной высоты верхового водораздела, км .

Определив время концентрации, можно получить соответствующее количество осадков из кривой «сила-длительность» для выбранного интервала повторения.

Коэффициент расхода – это интегрированная величина, включающая ряд факторов, влияющих на соотношение осадков и расхода: рельеф местности, водопроницаемость грун-

та, растительный покров и характер использования земель и может быть определен с использованием рационального метода (рациональный коэффициент расхода) как

$$C = C_T + C_S + C_V, \quad (32.23)$$

где C_T – коэффициент рельефа местности (плоский рельеф – 0,03; волнистый – 0,08; холмистый – 0,16; горный – 0,26); C_S – коэффициент типа грунта (песок – 0,04; супесь – 0,08; глина и суглинок – 0,16; каменистые породы – 0,26); C_V – коэффициент растительности (лес – 0,04; пашня – 0,11; луг – 0,21; отсутствие растительности – 0,28).

При рациональном методе допускается следующее:

- гипотетический ливень имеет одинаковую интенсивность осадков по всей поверхности водосбора;
- соотношение между интенсивностью осадков и скоростью стока воды для конкретного водосбора является постоянным;
- максимальный расход на выходе дренажа имеет место при поступлении влаги со всей площади водосбора;
- коэффициент C постоянен и не зависит от интенсивности осадков.

3. Районированные формулы паводка. Формулы паводка были разработаны для каждого случая и района в отдельности. Такие формулы могут применяться для конкретных территорий, но редко годятся для других районов. Простейшие из этих формул выглядят так

$$Q = a \cdot A^n, \quad (32.24)$$

где Q – расход паводка, м³/с; a – эмпирический коэффициент; A – площадь водосбора, км²; n – постоянный показатель степени (эмпирический).

Несколько более надежная группа формул получается при регрессивном анализе осадков и выборе переменных для соответствующего водосбора. Эти формулы часто имеют следующий общий вид

$$Q = K \cdot A^m \cdot B^n \cdot C^p, \quad (32.25)$$

где K – эмпирический коэффициент; B – среднегодовое количество осадков, мм; C – высота водосбора, м; m , n и p – эмпирические показатели степени.

Для проведения анализа данных по расходу паводка необходимо использовать надежную водомерную станцию, ведущую наблюдения более 10 лет и расположенную на месте строительства объекта или неподалеку. Если это невозможно, то лучшим выходом из положения является использование данных с аналогичных соседних строительных площадок (что, конечно, менее надежно). Обычно такая информация дает возможность построить график расход паводка – интервал повторения для данного водосбора.

Методы моделирования водосбора осадков предполагают использование сильно различающихся требований к данным, зависящих от сложности применяемой модели. Для простейшей модели нужна лишь интенсивность осадков и несколько общих параметров для данного водосбора. Одной из таких моделей, является, например, рациональный метод. Наиболее сложные методы требуют весьма подробного описания водосбора и параметров потока на миллиметровой бумаге, а также данных об интенсивности осадков.

В районированных формулах паводка в расчет принимаются только несколько общих параметров водосбора, в то время как районные эмпирические постоянные описывают воздействие всех других значительных факторов.

Для расчета необходимо собрать следующую информацию и документы:

- топографические карты масштаба 1:25000 или 1:50000 для определения геометрических параметров водосбора;
- данные аэрофотосъемки для изучения характера использования земель, если соответствующей карты нет в наличии;
- карты почв и растительности;
- сведения о системе водопользования в районе строительства объекта, плотинах и дамбах, водохранилищах и водоемах, ирригационных выемках и т.п.;
- данные по количеству осадков в виде максимальных величин интенсивности и общую информацию о погодных и климатических условиях;
- данные гидрометрической станции по ежегодному расходу паводка и соотношению циклов колебаний водности с целью оценки точности данных по расходу паводков.

– топографическая съемка объекта должна дать требуемую информацию о площади поперечного сечения и продольному уклону русла потока в указанных местах расположения мостов и основных водоводов;

– материал по руслу потока должен быть зарегистрирован в письменном виде (чтобы вычислить коэффициент неровности по Маннингу);

– полезно побеседовать с местными жителями, которые помнят о прошлых паводках (чтобы определить максимальный расход паводка).

Возможно динамика течения реки менялась, меняется или изменялась в результате деятельности человека или естественных морфологических процессов. Следует собрать подробную информацию по речным мостам и дренажным системам, уделяя особое внимание отметкам высокой воды, оставленных прошлыми паводками.

Рассмотрим гидрологическое исследование в районе Клаутона (Claughton), водосбор расположен в районе моста на автомагистрали М6 на севере Англии.

Информация о водосборе обобщена следующим образом. Водосбор граничит с автомагистралью М6 и имеет площадь $3,15 \text{ км}^2$ (рис. 32.4). Местность круто поднимается со стороны моста приблизительно на 21 м над исходным уровнем до границы верхнего бьефа на высоте 116 м. Земля используется под пастбище. Геологические параметры: каменно-глинистый слой, покрывающий песчаник пермского периода вблизи водоотвода, и каменно-угольные чашеобразные глинистые сланцы в районе верхнего бьефа. Длина водосбора $L=2,49 \text{ км}$. Средняя высота до верхнего водораздела от водоотвода вблизи моста $Z=96 \text{ м}$, $m=0,096 \text{ км}$.

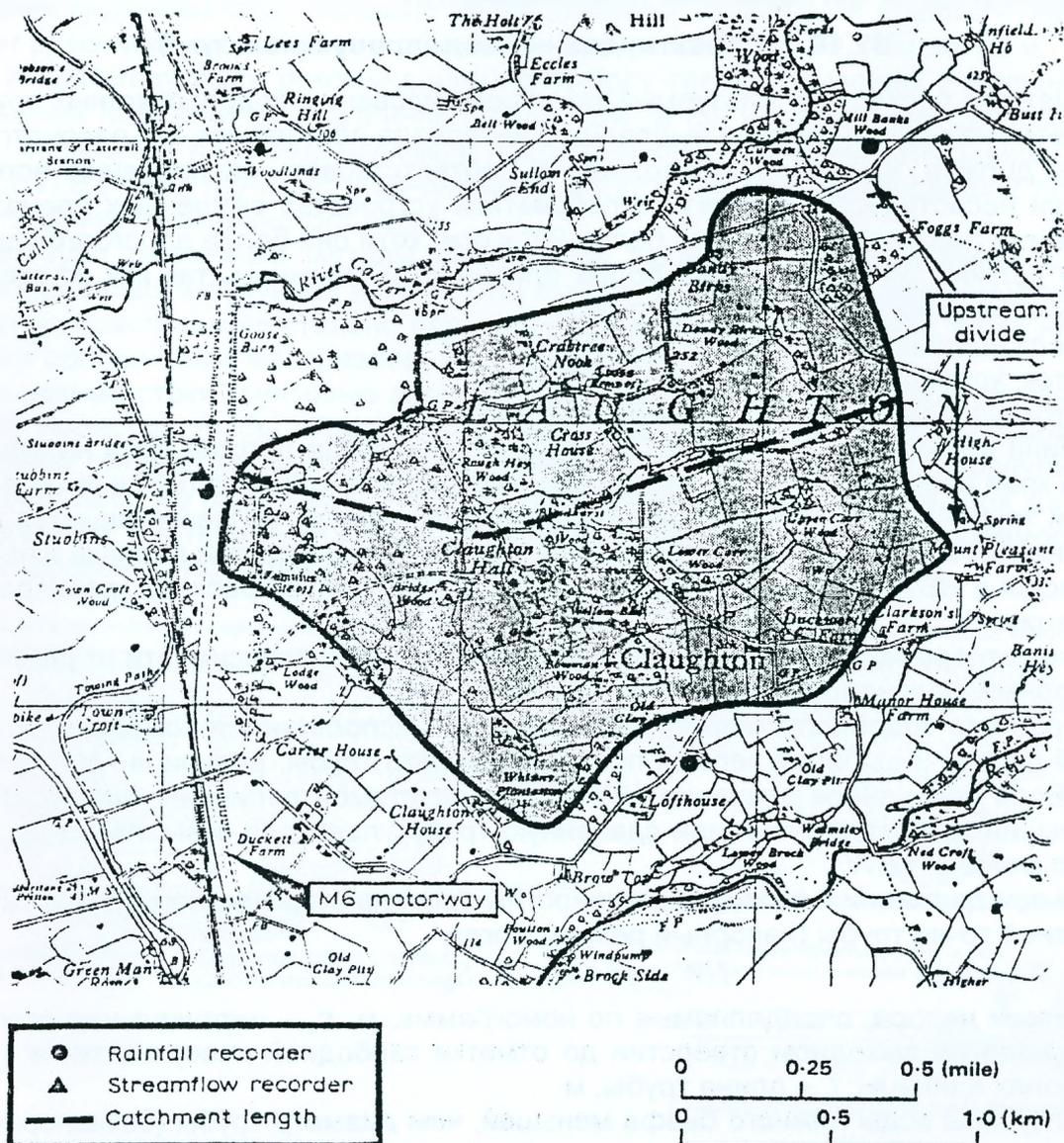


Рис. 32.4. Расчетный водосбор в районе Клаутона (Claughton)

Рассчитаем время добегания $T_c = 2,48 \cdot (L^2 / Z)^{0,39} = 2,48 \cdot (2,49^2 / 0,096)^{0,39} = 12,6$ ч.

При проектировании моста через автостраду расчеты должны производиться с учетом интервала повторения $T=100$ лет. Ожидаемое количество осадков R (мм) можно определить с помощью формулы осадков Билхэма при длительности t и вышеупомянутом периоде повторения 100 лет. $R/T_c=8,278$ из таблицы Билхэма, отсюда $R=104$ мм.

Расход паводка вычисляется при помощи модифицированного уравнения «рационального метода» $Q=F_A AR/3,6T_c=1,056 \cdot 3,15 \cdot 104/(3,6 \cdot 12,6)=7,63$ м³/с, где F_A – коэффициент годового количества осадков $F_A=0,00127R_A - 0,321=1,056$; $R_A=1084$ мм – среднегодовое количество осадков в районе Клаутона.

Западные руководства по проектированию водопропускных сооружений содержат общие формулировки по рекомендуемым расчетным интервалам повторения паводков (повторяемости). Анализ этих руководств позволил выделить конкретные рекомендации по повторяемости (обеспеченности) паводков и половодий:

Класс дороги	Интервал повторения, лет	Обеспеченность, %
Автострады	100	1
Магистрالی	50	2
Дороги местного значения	50	2
Подъездные пути	25	4

Для особо важных сооружений предлагается ввести в широкую практику подкрепление проектных расчетов всесторонним анализом, показывающим последствия паводков, например, размеры ущерба при различных обеспеченностях.

32.18.3. Проектирование водопропускных труб

Расчетный расход, используемый при проектировании водопропускных труб, обычно определяется на основе заранее выбранного интервала повторения, как рассмотрено выше. Ось трубы должна, насколько это возможно, соответствовать направлению естественного потока. При несоответствии может потребоваться устройство скошенных дренажных труб, укладываемых под углом менее или более 90° к оси, хотя они более дорогостоящи. Входные отверстия должны быть как можно более плавными и гладкими, так как от этого зависит плавность потока, проходящего через трубы.

Имеется два возможных вида потока:

- поток, управляемый входным отверстием;
- поток, управляемый выходным отверстием.

Глубина воды верхнего бьефа для расчетного расхода должна быть не менее чем на 0,5 м ниже края обочины. Отношение глубины воды верхнего бьефа (ВБ) к высоте отверстия дренажной трубы (HW/D – Headwater Depth/Diameter) равное 1,2 рекомендуется для случаев, когда не имеется достаточно данных для прогноза последствий паводка из-за большой глубины воды в ВБ. Глубина воды верхнего бьефа зависит от расхода, размера труб и их конфигурации.

Расчет отверстия водопропускных труб выполняется в зависимости от режима истечения – напорный, полупонапорный или безнапорный.

Для расчета водопропускных труб в странах ЕС используются номограммы. Используя расчетный расход и выбирая первый пробный диаметр трубы, величина HW/D снимается с графика. Если полученное значение HW выше допустимой величины, значит следует выбрать больший диаметр трубы (или сдвоенную трубу), повторяя вычисления до получения желаемого значения HW .

Если при движении к выходному отверстию уровень воды нижнего бьефа оказывается выше верхней точки трубы (напорный режим), тогда

$$HW = H + h_0 - L \cdot S_0, \quad (32.26)$$

где H – потери напора, определяемые по номограмме, м; h_0 – вертикальное расстояние от верхнего свода на выходном отверстии до отметки свободной поверхности, м; S_0 – уклон трубы, в долях единицы; L – длина трубы, м.

Для глубины воды нижнего бьефа меньшей, чем диаметр трубы (безнапорный и полупонапорные режимы), глубина воды верхнего бьефа HW определяется по формуле (32.26),

принимая $h_0=(d_c+D)/2$ (d_c – критическая глубина, м; D – диаметр трубы, м) или глубине воды в НБ (ТН), в зависимости от того, что больше.

В случае, когда уровень воды нижнего бьефа определяется уровнем воды, стекающим в канаву из выходного отверстия, для вычисления ТН можно использовать формулу Маннинга, зная поперечное сечение, уклон и коэффициент неровности.

Далее сравниваются значения НН, полученные по номограмме и рассчитанные по уравнению, и к проектированию принимается большее.

32.18.4. Влияние подземных вод на прочность дорожной одежды

Прежде чем рассматривать вопрос проектирования дорожного дренажа и дорожных покрытий, необходимо изучить физические свойства и характер взаимодействия воды и грунта. Силы притяжения между молекулами воды и поверхностями большинства минералов пород дают в результате явления поглощения, поверхностного натяжения и подъема воды в грунты, лежащие над уровнем свободной воды. Чтобы вытеснить воду из частично насыщенного грунта, необходимо применить напряжение или отрицательное давление. Это отрицательное давление с учетом атмосферного давления объясняется поглощением влаги грунтом. Величина поглощения быстро увеличивается по мере высыхания грунта, что говорит о зависимости между влагопоглощением и влагосодержанием, которую можно исследовать разного типа приборами.

Важно понимать, что подземные дренажные стоки, находящиеся над уровнем водного зеркала не могут понизить влагосодержание; такое понижение возможно только при понижении уровня грунтовых вод. Согласно исследованиям, подземный дренаж нужен там, где существует опасность подъема грунтовых вод к поверхности ближе, чем на 1,5 м.

TRL в 1994 году дала рекомендации по выбору соответствующих значений CBR при проектировании покрытий для различных типов грунта (за исключением суглинка, который подвержен серьезным и непредсказуемым повреждениям). Значения CBR зависят, в первую очередь, от УГВ и типа грунтового основания и могут колебаться в пределах 2 для плотной глины до 25 для крупнозернистого песка.

Существуют различные методы вычисления эффективности подземных дренажных систем, проложенных в обочинах дороги. Они зависят от значения водопроницаемости грунта, которая на практике значительно варьируется в естественном грунте из-за наличия напластований органических материалов, мелких трещин и т. д.

В дренажные стоки грунтовые воды могут приносить мелкие частицы грунта. Поэтому на практике пористые трубы в дренажных стоках обкладываются фильтрующим материалом. Нетканые геотекстильные структуры в большей степени заменили гранулированные фильтры (рис. 32.5), но их пригодность до сих пор остается под вопросом. Для количественного определения соотношений между геотекстильной структурой, проницаемостью и потенциалом засорения необходимы дальнейшие исследования.

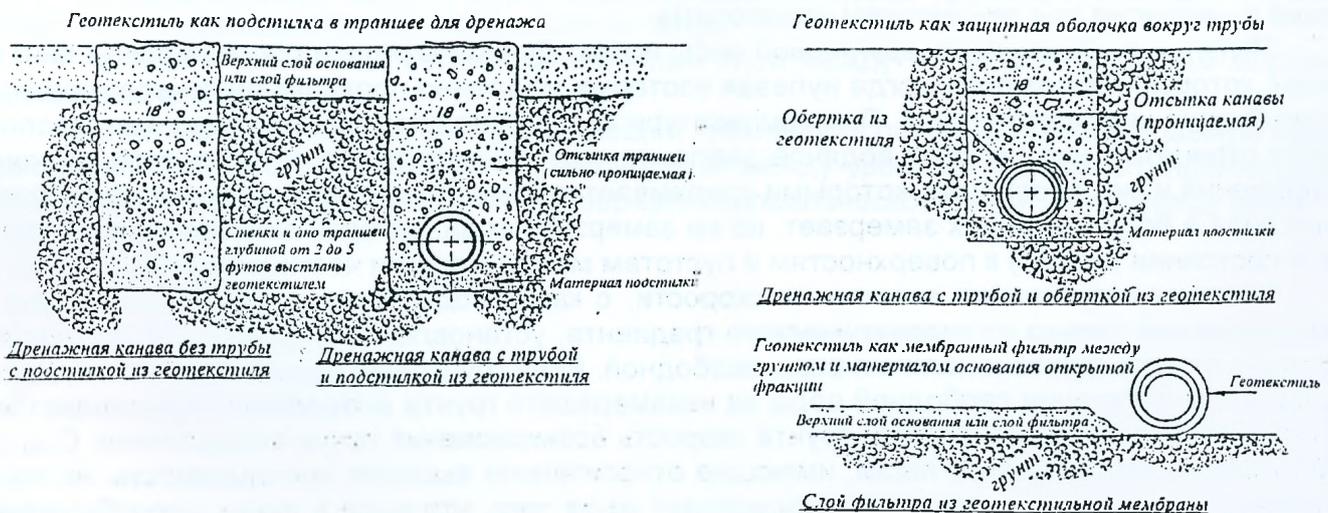


Рис. 32.5. Дренаж дорожной одежды с применением фильтра из геотекстиля

В общем, методика расчета подземного дренажа в странах ЕС и США принципиально не отличается от положений расчета, принятых в Беларуси. На рисунке 32.6 показаны основные элементы подземного дренажа, принятые для проектирования автомагистралей в Великобритании.

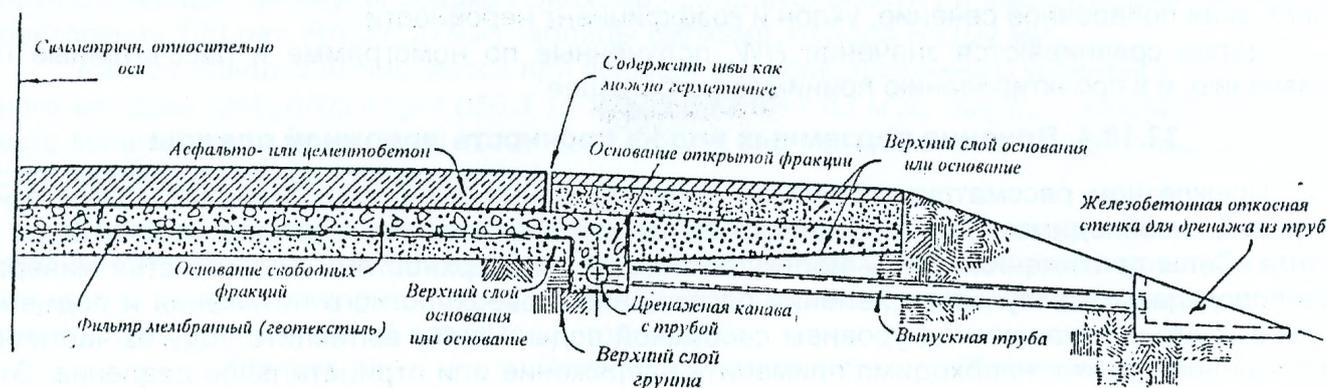


Рис. 32.6. Элементы подземного дренажа

В действительности имеется немного дорог, где существует постоянное равновесие условий влажности, потому что среди всего прочего, уровень водного зеркала подвержен сезонным изменениям. Два фактора – испарение и осадки – в большей степени определяют полевые условия влажности грунта. Изменение влагосодержания в илистом глинном грунтовом основании под бетонным покрытием было подробно изучено в течение 2-х лет. В первый год был необыкновенно сильный летний ливень, и количество осадков превысило суммарное испарение, за исключением короткого периода между серединой июня и серединой июля, но во второй год количество осадков было обычным. Сезонное высыхание было очень незначительным, и грунтовые воды оставались на глубине 3 м. В течение следующего года количество осадков было обычным, и испарение превышало осадки в период с июня по сентябрь. Влагосодержание в верхнем слое грунта 0-600 мм уменьшилось, примерно, на 12%, а на глубине 900-1200 мм уменьшение составило 3%. Уменьшение сопровождалось падением уровня зеркала вод, примерно, на 300 мм. Это доказывает, что годовое равновесие влажности между осадками и испарением может сильно влиять на строительство земляного полотна и подготовку грунтового основания.

Последние исследования дорожных покрытий и непокрытых площадей в различных климатических зонах показали *важность перемещения воды через обочины в грунтовое основание*. Обочины с травяным покрытием предпочтительнее, чем с гравийным, которое, очевидно, открывает доступ воде. Использование хорошего противоливневого покрытия на обочине также имеет большое значение для улучшения дренажных условий. На магистральных дорогах важность использования водонепроницаемых обочин при поддержании условий равновесия под покрытиями неоспорима.

Явление выдавливания грунтовой воды играет большую роль в росте ледовых линз и пучин, которые появляются, когда нулевая изотерма медленно проходит вниз через подверженный влиянию мороза грунт. При температуре выше нуля вода в порах таких материалов имеет отрицательное поровое водяное давление, являющееся результатом поверхностного напряжения и сил адсорбции, которыми удерживается вода. При падении температуры ниже нуля вода в больших порах замерзает, но не замерзает вода, которая сильнее притягивается (в состоянии сжатия) к поверхностям и пустотам между малыми частицами ила и глины.

Степень вспучивания зависит от скорости, с какой вода течет в замерзающую зону. Это зависит не только от гидравлического градиента, установленного фронтом замерзания, но также от типа грунта и наличия воды свободной. Если грунтовые воды находятся глубоко, тогда при вытягивании свободной воды из незамерзшего грунта вспучивание прекращается. Также при низкой проницаемости грунта скорость возникновения пучин замедляется. С другой стороны, непластичные пески, имеющие относительно высокую проницаемость, не подвержены воздействию мороза. Это происходит из-за того, что вода в порах адсорбируется не сильно.

К сожалению, до настоящего времени не существует критериев физических свойств, которые позволяют более или менее точно прогнозировать чувствительность грунта к моро-

зу. Невозможно даже классифицировать грунты по этому признаку, разве что проводить над ними испытания на замерзание. Однако руководство AASHTO по проектированию структуры дорожных покрытий дает принципиальную схему, которая может быть использована для определения примерной степени вспучивания для грунтов от гравия до глины и основана на соотношении средней скорости подъема грунтовой воды (мм/сут) и процентного содержания по весу фракций менее, чем 0,02 мм.

В северной Британии предупреждению вспучивания уделяется большое внимание при проектировании дорожных покрытий, и существует жесткое правило, что *морозочувствительные материалы не должны использоваться в верхнем 450 мм слое дорожного покрытия*. Существует стандартный тест на определение морозочувствительности, который создает намного более суровые условия, чем реально существующие на дорогах в любой точке страны. Цель теста – определить грунт или материал, который может быть морозостойчивым.

Когда начинается весенняя оттепель, ледовые кристаллы тают, и на время появляется избыток воды в предварительно замороженном материале или грунте. При движении транспорта по дороге развивается избыточное поровое водяное давление, и сопротивление сдвигу и прочность покрытия уменьшаются. Именно в этот короткий период года дороге причиняется наибольший ущерб. Во время исследования на Украине было показано, что покрытия с относительно низкой прочностью (самые тонкие покрытия) разрушаются намного быстрее, чем соответствующие покрытия с аналогичной структурой в странах с умеренным и тропическим климатом. Предполагается, что различие в поведении объясняется фактором оттепели. В некоторых странах при наступлении оттепели дорожные управления закрывают некоторые дороги для движения грузового транспорта на, примерно, неделю, чтобы отвести талые воды. Однако, скорость восстановления зависит от эффективности работы дренажа. Если дренаж нижней части покрытия плохой, тогда восстановление прочности может занять несколько месяцев.

Возможны также некоторые повреждения покрытия из-за потери пропускной способности грунтового основания во время периода оттепели, даже если не наблюдалось вспучивания. Это происходит из-за того, что все еще может продолжаться переход воды из нижнего слоя к замерзающему фронту без значительного сдвига поверхности дорожного покрытия.

Весеннее разрушение особенно заметно сразу после быстрой оттепели. При этом условия грунтового основания тает сверху вниз, и в результате слой незамерзшего мягкого материала запирается непосредственно под покрытием. В результате опора покрытия сильно ослабляется.

В Беларуси морозы гораздо сильнее, чем в Великобритании, поэтому особое внимание должно уделяться морозозащите. Решения могут быть следующими:

- избегать использования морозочувствительных материалов или грунтов (при строительстве) в дорожном покрытии или непосредственно под ним;
- сделать хороший дренаж в грунтовом основании, чтобы уровень грунтовых вод был низким по отношению к уровню земляного полотна;
- положить (включить) термоизоляционный слой между покрытием и любым морозочувствительным грунтом;
- включить либо свободный дренирующий гравийный слой, либо непроницаемую мембрану, либо тонкий слой слабопроницаемой глины между уровнем возможного проникновения мороза и водным зеркалом, чтобы разорвать гидравлическое соединение между ними.

ЛИТЕРАТУРА

- Автомобильные дороги Беларуси: Энциклопедия / Под общ. ред. А.В.Минина – Мн.: БелЭн, 2002. – 672 с
- Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1969. – 168 с.
- Бабков В.Ф. Современные автомобильные магистрали. – М.: Транспорт, 1974. – 280 с.
- Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1. – М.: Транспорт, 1987. – 386 с.
- Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.2. – М.: Транспорт, 1987. – 415 с.
- Бусел А.В. Ремонт автомобильных дорог: Учебное пособие. – Мн.: Арт Дизайн, 2004. – 208 с.
- В.А. Гохман, В.М. Визгалов, М.П. Поляков. Пересечения и примыкания автомобильных дорог (проектирование). – М.: «Высшая школа», 1977. – 310 с.
- Леонович И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог: Учебное пособие: В 2 ч. Часть 2. Технология и организация дорожных работ. – Мн.: Изд. БНТУ, 2003. – 470 с.
- П1-98 к СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 174 с.
- П2-01 к СНиП 2.05.02-85. Проектирование земляного полотна автомобильных дорог. Мн.: КАД. – 2001. – 107 с.
- П3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. – Мн.: КАД. – 1997. – 86 с.
- Проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера – дорожника / Под ред. Г.А. Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
- Проектирование и изыскания пересечений автомобильных дорог / Лобанов Е.М. и др. – М.: Транспорт, 1972. – 232 с.
- Проектирование и строительство дорог. Конспект лекций для обучения преподавателей / Программа «Tacis». – Дания, 2002. – 1025 с.
- СНБ 3.03.02-97. Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов. – Мн. – КАД. – 1997. – 35с.
- СНиП 1.02.01-85. Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – М.: ЦИТП, – 1986. – 58 с.
- СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, – 1985. – 36 с.
- СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. – М.: ЦИТП, – 1986. – 51 с.
- СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. – М.: ЦИТП, – 1985. – 200 с.
- СТБ 1033-2004. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, – 2004. – 24с.

Учебное издание

*Лукша Владимир Валентинович
Шведовский Петр Владимирович*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ,
МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
(курс лекций)
Часть 3**

ISBN 985-493-021-1



Ответственный за выпуск: ***В.В. Лукша***
Редактор: ***Т.В. Строкач***
Художник: ***В.В. Лукша***
Компьютерный набор и верстка: ***В.В. Лукша***
Корректор: ***Е.В. Никитчик***

Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г. Сдано в набор 15.05.2005.
Подписано к печати 15.07.2005. Бумага «Снегурочка». Формат 60x84¹/₈.
Гарнитура Arial. Усл.п.л. 35,11. Уч.изд.л. 37,75. Тираж 150 экз. Заказ № 960
Отпечатано на ризографе Учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.
Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г.