




ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Автомобильные дороги»

Учебно-методическое пособие по дисциплине

«Основы проектирования дорог. Городские транспортные сооружения. Проектирование транспортных развязок»



Авторы
Углова Е.В.,
Тиратурян А.Н.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

В учебно-методическом пособии приведены основания информации о городских транспортных сооружениях. Описаны современные подходы к их проектированию и направления развития схем транспортных развязок.

Материал сопровождается иллюстрациями по каждому разделу. Приводятся общие положения по методике обучения живописи и ряда технологий. Изложена история различных жанров и видов искусства, в рамках которых раскрываются значения символов, широко использовавшихся в творчестве различных мастеров.

Предназначено для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» профили «Автомобильные мосты и тоннели» и «Автомобильные дороги», по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений».

Авторы



д.т.н., профессор, зав. кафедрой «АД»
Углова Е.В.



к.т.н., ст. преп. кафедры «АД»
Тиратурян А.Н.





Оглавление

Введение	4
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗКАХ	5
1.1 Общие положения и требования по проектированию пересечений и примыканий.....	11
1.2 Типы пересечений и примыканий в разных уровнях	14
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ И ПРИМЫКАНИЙ В РАЗНЫХ УРОВНЯХ	20
2.1 Определение величин минимальных радиусов закруглений ..	21
2.2 Расчет элементов пересечения в разных уровнях по типу «клеверный лист» [3].....	23
2.3 Проектирования транспортных развязок по типу листовидное примыкание, и примыкание по типу «труба»	30
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО ТИПУ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ КОЛЬЦО С ПЯТЬЮ И ДВУМЯ ПУТЕПРОВОДАМИ	33
3.1 Проектирование пересечения автомобильных дорог по типу распределительного кольца с 5-ю путепроводами	33
3.2 Проектирование пересечения автомобильных дорог по типу распределительного кольца с двумя путепроводами	40
4. АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК.....	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	49
Приложение 1	50
Приложение 2	55
Приложение 3	62



ВВЕДЕНИЕ

Курс взятый на модернизацию отечественной дорожной отрасли требует подготовки специалистов-дорожников, владеющих актуальными и современными знаниями в различных областях и направлениях дорожной науки. Одним из наиболее сложных и ответственных направлений в области проектирования является проектирование современных пресечений и примыканий автомобильных дорог в разных уровнях (транспортных развязок).

На данный момент разработано большое количество различных конструктивных решений транспортных развязок, обеспечивающих высокую безопасность и комфорт участников движения. Однако важно понимать, что строительство любой транспортной развязки сопряжено с большими объемами занимаемых земель, и соответственно со значительными экономическими затратами на их строительство. Все это обуславливает необходимость подготовки грамотных, эрудированных инженеров, владеющих способами и механизмами расчета и проектирования основных типов транспортных развязок.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗКАХ

Самый первый патент на пересечение в виде клеверного листа был получен 29 февраля 1916 года инженером Артуром Хале из Мериленда (США)(рис. 1). [1] Хале на 9 страницах своего патента описал три варианта развязки по типу клеверного листа. Отобразенный эскиз показывает основную форму. Другие 2 варианта представляют более компактную форму, которую Хале предлагал для городских условий.

Первая транспортная развязка была построена в США в 1928 году по типу «Клеверный лист» в г. Нью-Джерси. Оценив удобство и перспективность строительства пересечений и примыканий автомобильных дорог в разных уровнях уже к 1936 году в США насчитывалось более 125 транспортных развязок различных типов. В этот период широкое распространение стали получать кольцевые пересечения в разных уровнях, а именно распределительные кольца с пятью и двумя путепроводами.

История клеверного листа в Вудбридже недалеко от Нью-Йорка указывает на совершенно другие источники вдохновения. Сначала нужно указать на то обстоятельство, что хайвей US-1 между Нью-Йорком и Филадельфией уже к середине 1920-х годов был наиболее загруженной магистралью США. Интенсивности транспортных потоков по нему достигали 60.000 автомобилей в сутки. В местах въезда на US-1 и съезда на оживленные улицы присутствовали регулярные пробки и многочисленные аварии. Требовалось креативное решение. Едвард Делано из строительной фирмы Рудольф и Делано из Филадельфии увидел заметку в специализированном строительном журнал, как Аргентине на пересечениях достигается эффективная организация движения.

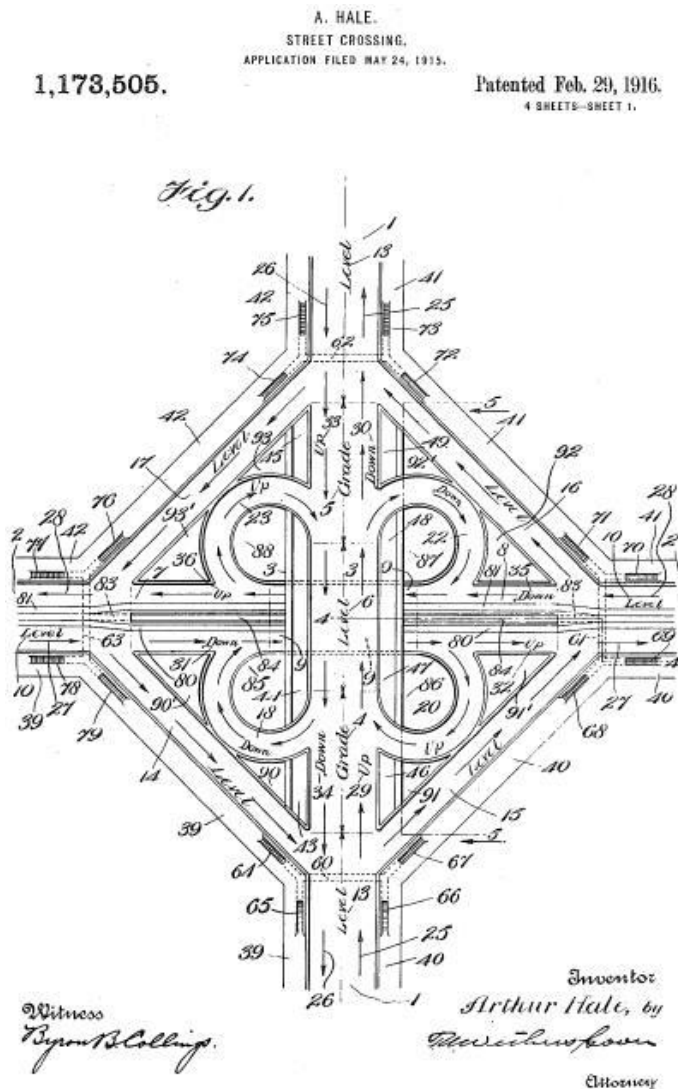


Рис. 1 – Чертеж из первого патента на транспортную развязку

Скорее всего, это было решение, которое в настоящее время является типичным для Буэнос-Айреса. В Буэнос-Айресе часто на улицах со встречным движением левый поворот запрещен. Вместо этого необходимо трижды повернуть направо. То есть

объехать квартал и пересечь дорогу в месте, в котором был необходим левый поворот. Подобное решение, скомбинированное с мостом для разделения пересечения на разные уровни, как раз и создает клеверный лист. Таким образом, аргентинские идеи организации дорожного движения повлияли на создание клеверного листа в Вудбридж и в последующем многих других местах.

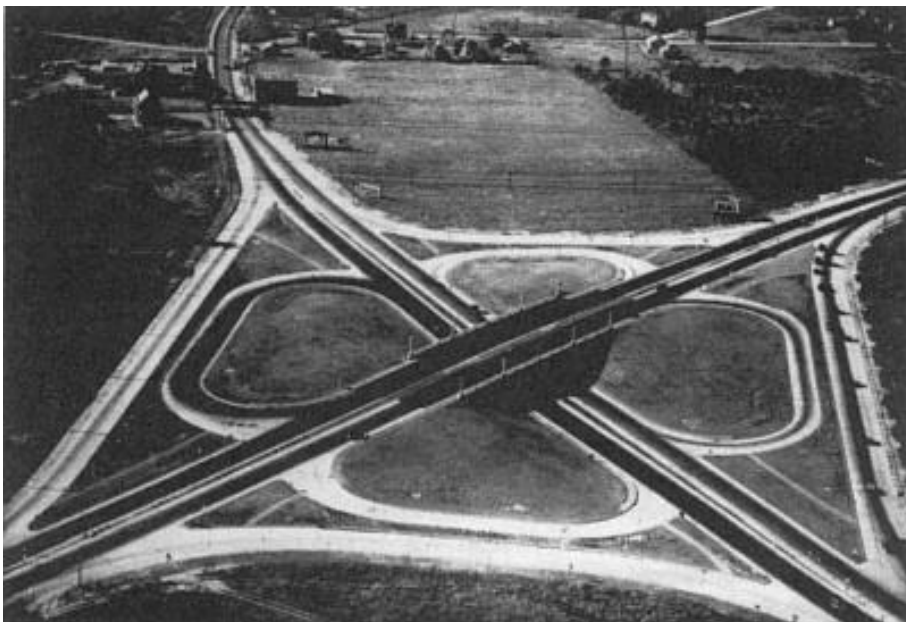


Рис. 2 – Первый «клеверный лист» в округе Нью-Джерси

Первый официальный клеверный лист США в Вудбридже в Нью-Джерси США (построен в 1928г). Этот клеверный лист входит в список охраняемых памятников. Однако в 2004 году в целях повышения уровня безопасности движения и увеличения пропускной способности был реконструирован в ромбовидное пересечение.

Отдельно можно рассматривать получение патента на изобретении клеверного листа в Швейцарии в 1928 году. Изобретатель был учеником слесаря и даже подготовил макет своего решения.

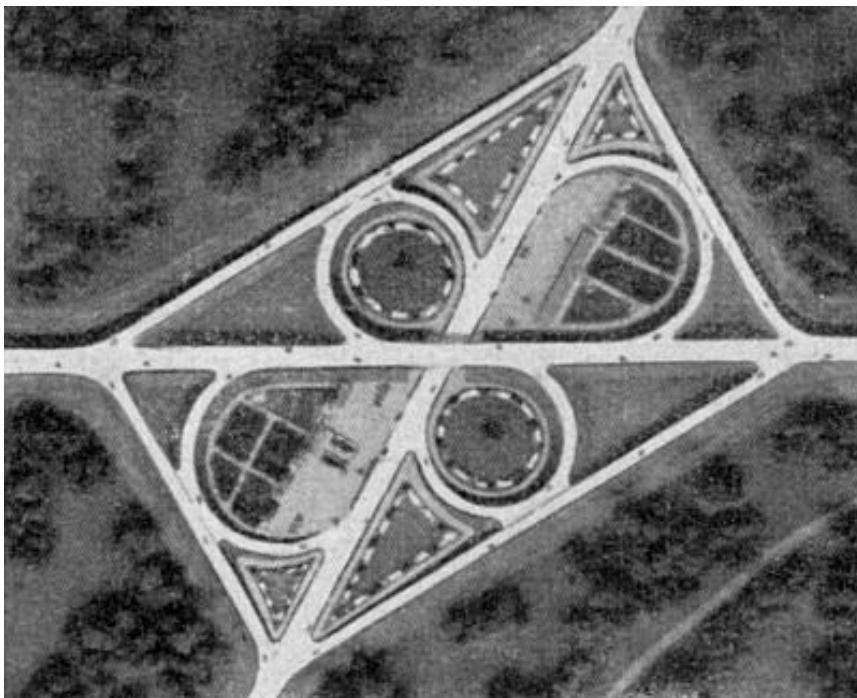


Рис. 3 – Транспортная развязка по типу «клеверный лист» в Швейцарии

Решение в виде клеверного листа имело преимущество перед другими предложениями. Этими преимуществами являлись:

1. Возможность проложения главных направлений без искривления
2. Потребность только в 1 путепроводе

Первый клеверный лист в Европе был введен в эксплуатацию 21 ноября 1936 года недалеко от Лейпцига (Германия). Однако полностью движение по нему открылось только 5 ноября 1938 года.

Несмотря на успешное решение задач, связанных с пересечением транспортных потоков в начале 20 века, клеверный лист не является особо удачным решением при высоких поворачивающих интенсивностях. На правых полосах внутри развязки образуются конфликтные точки переплетения потоков, которые провоцируют аварийные ситуации и уменьшают пропускную способность левоповоротных съездов. Для решения этой проблемы были

придуманы многочисленные решения по улучшению клеверного листа.

Серьезные проблемы со строительством высокоскоростных магистралей появились при увеличении уровня автомобилизации. В США это 1940-ые годы, в Европе — 1960-е годы. На застроенных территориях предложенные выше решения не являлись оптимальными. «Креативные» предложения по этому вопросу появлялись, прежде всего, в США. Однако их реализация требовала огромных площадей.



Рис. 4 – Пересечение в Нью-Йорке, построенное в 1939 году, являлось уникальным во всем мире из-за своего размера.

Первая четырехуровневая транспортная развязка в мире была введена в эксплуатацию между 1949 и 1952 годом в Лос-Анджелесе (США). С ежедневными интенсивностями почти в 500.000 автомобилей она относится к трем наиболее загруженным пересечениям мира.



Рис.5 – Комбинированное пересечение в Нью-Йорке

В 1944 году в США издаются первые технические условия по проектированию транспортных развязок. В них были сформулированы первые требования к назначению геометрических параметров основных элементов транспортных развязок, аккумулировавшие в себе почти двадцатилетний опыт их строительства. При этом впервые была применена увязка значений расчетных скоростей на съездах транспортных развязок со значениями расчетных скоростей на подходящих к ним автомобильным дорогам.

С 1960 года в США начинают строить транспортные развязки в трех уровнях по типу «кольцевое пересечение».

В России основные исследования, касающиеся вопросов проектирования и строительства транспортных развязок, начинаются с 1960 год и неразрывно связаны с фамилиями великих ученых-дорожников Валерия Федоровича Бабкова, Валентина Васильевича Сильянова, Владимира Акимовича Гохмана. Их работы легли в основу нормативного документа СНиП 2.05.02-85 – 85* и «Технических указаний по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог», впервые изданных в 1964 году, а



затем переизданных в 1975 году. Под редакцией В. А. Гохмана, В.М.Визгалова и М.П. Полякова в 1975 году выходит учебное пособие «Пересечения и примыкания автомобильных дорог», позднее переработанное и дополненное в 1989 году. Эти же исследования лежат и в основе современного свода правил СП 34.13330.2012 "СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги" Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*.

1.1 Общие положения и требования по проектированию пересечений и примыканий

Основной особенностью пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном уровне является наличие в их пределах значительного числа конфликтных точек, образуемых разветвлением, слиянием и пересечением транспортных потоков разных направлений. Сосредоточение большого числа конфликтных точек на относительно небольшой площади пересечений и примыканий в одном уровне (особенно нерегулируемых) резко повышает вероятность дорожно-транспортных происшествий (ДТП) (рис. 5).

Общее количество конфликтных точек заметно возрастает с увеличением числа полос движения в каждом из направлений. Поэтому планировочные решения пересечений и примыканий должны быть такими, при которых общее число конфликтных точек было бы сведено к возможному минимуму.

Наилучшим решением по улучшению условий и безопасности движения на пересечениях является строительство развязок движения в разных уровнях. Однако такие решения целесообразны и экономически оправданы на пересечениях автомобильных дорог высоких категорий.

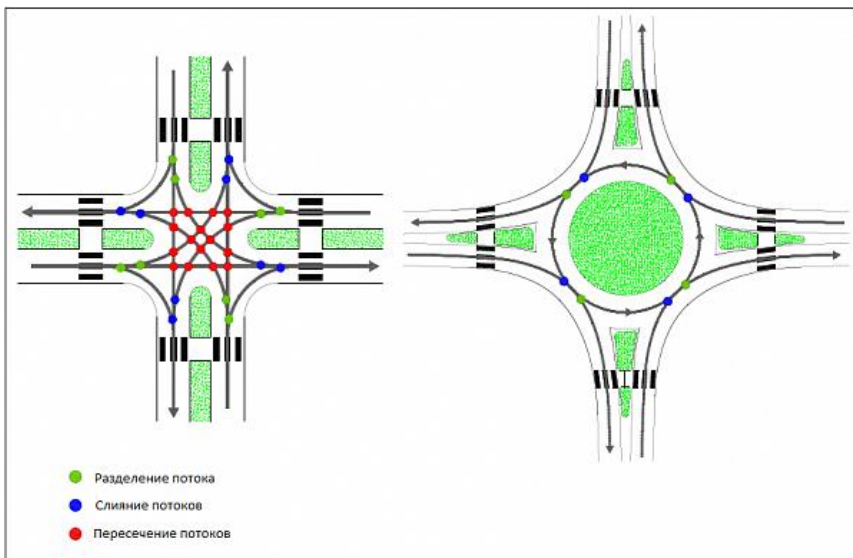


Рис. 6- Конфликтные точки на пересечении в одном уровне

Процесс обоснования необходимости проектирования транспортной развязки включает в себя два основных этапа:

- Техничко-экономические изыскания
- Технические изыскания

В задачи **техничко-экономических изысканий** на стадии экономического проектирования входят:

- выбор места пересечения и примыкания автомобильных дорог;
- составление графика интенсивности движения в пределах транспортной развязки на отчетный год и на перспективу и обоснование вида развязки (в одном или в разных уровнях, полная или неполная развязка).

Рекомендация о виде развязки производится на основе графиков интенсивности движения на узле и с учетом технических категорий подходящих к нему дорог.

Экономическое трассирование дорог тесно связано с типами пересечений, а поэтому экономическое трассирование автомобильных дорог и выбор типа пересечения необходимо производить совместно. Для выбора лучшего варианта строительства или реконструкции пересечений автомобильных дорог необходимо



определить сумму приведенных затрат по каждому из этих вариантов и по минимальной сумме затрат выбрать наиболее экономичный вариант.

Для назначения варианта пересечений прежде всего следует определить его перспективную годовую среднесуточную интенсивность движения.

Исходные материалы для построения графиков интенсивностей движения берут из ведомостей транспортных связей, в которых указано направление грузопотоков и объем перевозок.

Графики интенсивности движения позволяют:

- 1) определить сумму транспортных затрат на пересечении;
- 2) рассчитать перспективную пиковую интенсивность движения на отдельных направлениях;
- 3) оценить степень опасности отдельных конфликтных точек при пересечении, слиянии и разветвлении потоков движения;
- 4) решить вопрос о потребной пропускной способности отдельных участков движения и съездов;
- 5) судить о возможности допущения в малонапряженных местах пересечений потоков движения в одном уровне.

Среднегодовую суточную интенсивность грузового движения в обоих направлениях определяют по формуле:

$$I_{сут} = \frac{Q}{D\beta\gamma\Gamma_{cp}K_y}$$

где Q – количество грузов, перевозимых в год по перегону в обоих направлениях, т;

D – число дней работы автотранспорта в течение года;

β – коэффициент использования пробега автомобилей;

γ – коэффициент использования грузоподъемности автомобилей;

Γ_{cp} – средняя грузоподъемность автомобиля, рассчитанная по составу автопарка;

K_y – поправочный коэффициент для учета пассажирских перевозок.

Для составления графика распределения интенсивностей необходимы следующие исходные данные:

- 1) категории пересекающихся дорог;

- 2) перспективная интенсивность движения на подходящих у узлу дорогах на участках;
- 3) ведомость транспортных связей с указанием объема перевозок между ними;
- 4) схема размещения дорожной сети в районе проектируемого узла.

На основании этих данных составляем схему расположения дорог, транспортных связей и грузообразующих пунктов.

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 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 не делают, а проводят их параллельно и в тесной связи с изысканиями автомобильных дорог.

В период камерального изучения картографических материалов и материалов экономических изысканий определяют перспективную интенсивность движения на основных дорогах и количество сворачивающих автомобилей по всем направлениям.

Начертывают схему транспортной развязки с учетом обеспечения безопасности движения, заданной пропускной способности и потребности в минимальной площади, при этом не занимать ценных земель.

1.2 Типы пересечений и примыканий в разных уровнях

При пересечениях в разных уровнях одна из основных пересекающихся магистралей проходит над другой по путепроводу. Правые повороты осуществляются беспрепятственно по так называемым правоповоротным съездам, на которых помехи при движении могут возникать при включении поворачивающих автомобилей в транспортный поток по пересекаемой дороге. Основные трудности, порождающие разнообразие схем пересечений в разных уровнях, вызваны сложностью организации левых поворотов, которые можно осуществлять одним из трех способов (рис. 7)

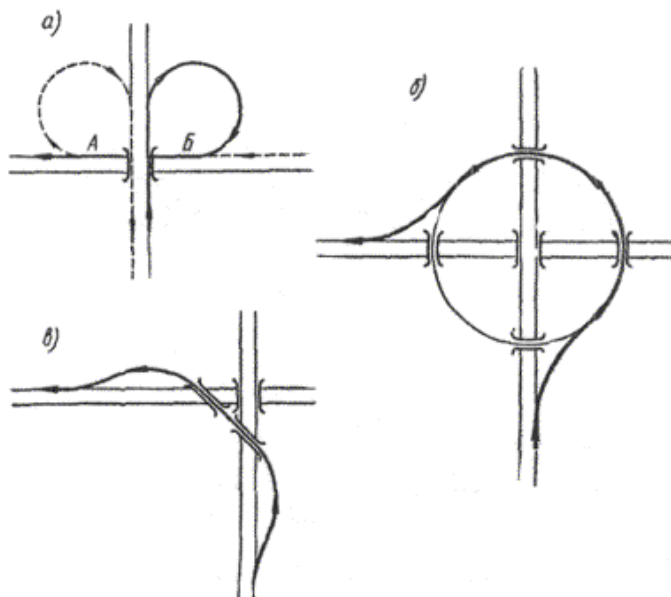


Рис.7 – Схема организации левого поворота на пересечениях в разных уровнях (а – левоповоротная петля, б – левый поворот по кольцу, в – поворот по специальному левоповоротному съезду)

Наиболее распространенным в настоящее время типом пересечения в разных уровнях является "клеверный лист" (рис 8 г), в котором повороты налево осуществляются по левоповоротным петлям. 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. Преимущество "клеверного листа" 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 данного пересечения является также наличие только одного путепровода.

Недостатком пересечений по типу "клеверного листа" является значительный перепробег автомобилей, поворачивающих налево. При этом пересечение занимает большую площадь зем-

ли, которая увеличивается по мере возрастания расчетной скорости на транспортной развязке. Например, при изменении расчетной скорости от 40 до 60 км/ч, то есть при увеличении ее в 1,5 раза, площадь, занимаемая "клеверным листом", возрастает в 5-6 раз. Пересечения по типу "клеверного листа" имеют ограниченную пропускную способность из-за переплетений потоков в пределах путепровода и под ним на участках примыкания левоповоротных петель, где одни автомобили входят в транспортный поток, а другие выходят из него.

При пересечении автомагистрали с второстепенной дорогой иногда применяют схему неполного "клеверного листа". Эта схема допускает левые повороты на проезжей части второстепенной дороги, смещения основных потоков с поворачивающими потоками, встречное движение на двухпутных съездах. Неполный "клеверный лист" может быть рекомендован только при небольшой интенсивности движения с последующим стадийным переустройством его в полный "клеверный лист".

Пересечения с распределительным кольцом с пятью путепроводами (рис. 8а) обеспечивают большие удобства для автомобилей, меняющих направление, так как кольцо имеет большой радиус. Распределительное кольцо имеет довольно простую конфигурацию и является легким для ориентировки водителей. Недостатком кольцевых пересечений является сложный продольный профиль, так как кольцо поочередно проходит то над одной автомагистралью, то под другой. Кроме того, данная транспортная развязка имеет пять путепроводов.

На пересечениях дорог I-III категорий с дорогами более низких категорий для снижения строительных расходов часто устраивают пересечения по упрощенной схеме кольца с двумя путепроводами (рис 8б). При этом скоростной поток автомагистрали проходит по прямой, а пересекаемый поток второстепенной дороги – по кольцу. Данная транспортная развязка имеет два путепровода. С целью уменьшения перепробега автомобилей на второстепенной дороге кольцо вытягивают в направлении второстепенной дороги и выполняют в форме эллипса или в виде двух полуокружностей, соединенных прямыми вставками.

При пересечении дорог под острым углом (менее 30°), когда трудно вписать левоповоротные петли, применяют более сложную линейную схему, требующую постройки двух путепроводов. При этом трасса одной автодороги искривляется, а другая автодорога разделяется по направлениям движения транспорта.

В зависимости от распределения потоков и интенсивности

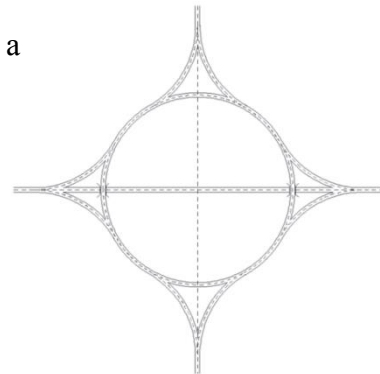
движения по направлениям и от местных условий могут применяться комбинированные пересечения, получаемые путем сочетания элементов различных типов пересечений (см. прил. 1). Представленные варианты транспортных развязок наиболее часто используются в практике дорожного проектирования и могут являться основой для разработки конкурирующих вариантов пересечения автомобильных дорог.

Примыкания автомобильных дорог в разных уровнях разделяют на:

- развязки, имеющие в своей основе элементы "клеверного листа";
- развязки, имеющие в основе элементы кольца;
- развязки с параллельным расположением правоповоротных и левоповоротных съездов.

К транспортным развязкам, имеющим в основе элементы «клеверного листа» относят: примыкания по типу трубы (рис 8 д), листовидный тип примыкания (рис. 8е), примыкание по типу половины неполного «клеверного листа» (см. прил.1).

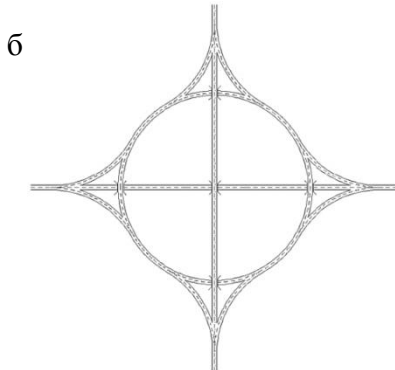
На примыкании по типу трубы каждый поворачивающий поток имеет свой собственный съезд. При этом один из левоповоротных потоков движется по петле и, следовательно, находится в менее благоприятных условиях, чем другой, который движется вправо и влево. В зависимости от интенсивности левоповоротных потоков левоповоротные съезды могут располагаться справа или слева от путепровода (см. прил.1). На этом типе примыкания отсутствуют точки пересечения потоков движения в одном уровне. Все съезды вливаются в проезжие части автомагистралей с правой стороны. Примыкание имеет простую конфигурацию, легкую для ориентировки водителей. Некоторое отрицательное влияние на левоповоротных съездах имеющих общее земляное полотно.



Распределительное кольцо с двумя путепроводами



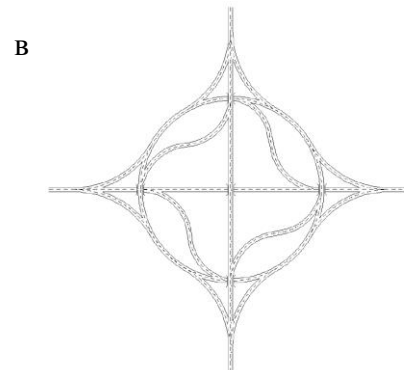
Кольцевое пересечение в разных уровнях на пересечении автомобильных дорог 640 и 148 в Канаде



Распределительное кольцо с пятью путепроводами



Кольцевое пересечение в разных уровнях на пересечении автомобильных дорог М62 и М1 в Англии, выполненное по типу распределительного кольца с пятью



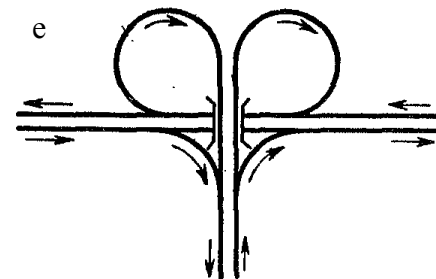
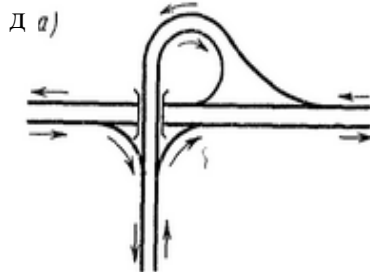
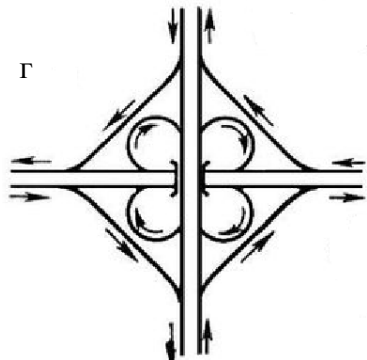
Улучшенный тип распределительного кольца



Кольцевое пересечение в разных уровнях на пересечении улиц Малахова и Павловского тракта в г. Барнауле, выполненное по сжатому усовершенствованному типу

путепроводами

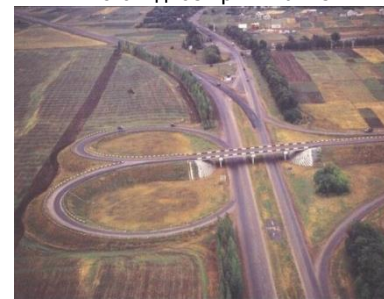
распределительного кольца с двумя
путепроводами



Полный клеверный лист

Примыкание по типу «труба»

Листовидное примыкание



Транспортная развязка по типу полный клеверный лист в Саранске

Примыкание по типу труба в Ростовской области на автомобильной дороге М4 «ДОН»

Листовидное примыкание

Рис.8 – Основные схемы пересечений и примыканий в разных уровнях

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ И ПРИМЫКАНИЙ В РАЗНЫХ УРОВНЯХ

Пересечение дорог в разных уровнях — сложные и дорогостоящие сооружения, выбор схемы которых требует тщательного технико-экономического обоснования. Пересечения в разных уровнях занимают большую площадь, а суммарная длина их съездов и переходно-скоростных полос иногда достигает 2-2,5 км. Поэтому, чтобы уменьшить размеры пересечений, обычно допускают снижение скорости для автомобилей, осуществляющих повороты.

Пересечения и примыкания в разных уровнях (транспортные развязки) надлежит принимать в следующих случаях:

- на дорогах категорий I А и I Б — с автомобильными дорогами всех категорий;
- на дорогах категории I В — с дорогами, расчетная интенсивность движения на которых превышает 1000 ед./сут;
- на дорогах категории I В с числом полос движения шесть и более — с автомобильными дорогами всех категорий;
- на дорогах категорий II и III — между собой при суммарной расчетной интенсивности движения более 12000 ед./сут.

При установлении расчетной скорости на развязке следует учитывать ряд факторов: расчетную скорость на подходящих дорогах; безопасность движения на пересечении дорог; конструктивные особенности намечаемой схемы развязки; расчетную интенсивность движения; размеры свободной территории для размещения развязки; местные условия (рельеф, климат и т. д.). Чем выше расчетные скорости на подходящих дорогах, тем большие их значения следует принимать на пересечениях, с тем чтобы не ухудшать эксплуатационные условия движения автомобилей на дорогах. В то же время чем больше на пересечении опасных (конфликтных точек), тем ниже должна быть расчетная скорость.

При выборе расчетной скорости в зависимости от интенсивности движения необходимо учитывать техническую и экономическую стороны вопроса. С экономической точки зрения, чем больше интенсивность движения, тем выгоднее повышение про-

изводительности автомобилей, а следовательно, и скорости движения. Поэтому необходимо найти оптимальное технико-экономическое решение, а именно, выбрать такую схему пересечения или примыкания, которая сможет обеспечить в равной мере как безопасность движения, так и высокую производительность транспорта. Выбор расчетной скорости также зависит от наличия свободной территории для размещения развязки. Чем меньше свободная территория, тем меньше должна быть назначена расчетная скорость.

2.1 Определение величин минимальных радиусов закруглений

Значения радиусов кривых на съездах определяется условиями удобства и безопасности проезда в зависимости от расчетной скорости (V_p).

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{\min} = \frac{V_p^2}{[g(\mu \pm i_s)]} \\ R_{\min} = \frac{V_p^2}{[g(\mu \pm i_n)]} \end{array} \right. \quad (1)$$

Определение рекомендуемых (нормативных) параметров транспортной развязки

Характеристики пересечений	Значения параметров для категории дорог		
	I	II	III
Расчетная скорость на съездах, км/ч			
- левоповоротных	≤50	≤50	≤50
- правоповоротных	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Продольный уклон, ‰	40	40	40
Наименьшие радиусы кривых в плане на съездах, м			
- левоповоротных	60	60	50
- правоповоротных	150	150	100
Наименьшие радиусы вертикальных кривых на пересечениях, м:			
- выпуклых, м	2500	2500	1500
- вогнутых, м	1500	1500	1200

Съезды на пересечениях автомобильных дорог устраивают однопутными, но с увеличенной шириной проезжей части для пропуска автопоездов. На левоповоротных петлях ширину проезжей части принимают 5.5 м, на правоповоротных съездах – 5 м. Ширина обочин с внешней стороны кривой на съездах принимается равной 1.5 м, а с внешней стороны – 3 м. Обочины на всю ширину устраиваются с твердым покрытием и отделяются от проезжей части краевыми полосами. Для снижения скорости перед право и левоповоротными съездами необходимо устройство переходно-скоростных полос (ПСП), представляющих собой дополнительные полосы проезжей части, шириной равные ширине основных полос движения. ПСП бывают двух видов: ПСП разгона и ПСП торможения. На ПСП разгона автомобили, выходящие с лево-поворотного съезда осуществляют набор скорости, постепенно вливаясь в основной поток движения. На ПСП торможения транспортные средства осуществляют снижение скорости, перед въездом на лево- или правоповоротный съезд.

Длина ПСП устанавливается в зависимости от уклона

местности и категории автомобильной дороги (таблица ЧЧЧ).

Категория дороги	Продольный уклон, ‰	Длина полос полной ширины		Длина отгона полос разгона и торможения, м
		Для разгона	Для торможения	
IБ, II	-40	140	110	80
	- 20	160	105	
	0	180	100	
	+20	200	95	
	+40	230	90	
	-40	110	85	
III	- 20	120	80	60
	0	130	75	
	+20	150	70	
	+40	170	65	
	-40	30	50	
	- 20	35	45	
IV, V	0	40	40	30
	+20	45	35	
	+40	60	30	

2.2 Расчет элементов пересечения в разных уровнях по типу «клеверный лист» [3]

Расчет клеверного листа производят в следующей последовательности

- Рассчитывают левоповоротные съезды «клеверного листа» (сначала в остром, затем в тупом угле)
- Увязывают размеры левоповоротного съезда в плане и в продольном профиле
- Производят расчет правоповоротного съезда.

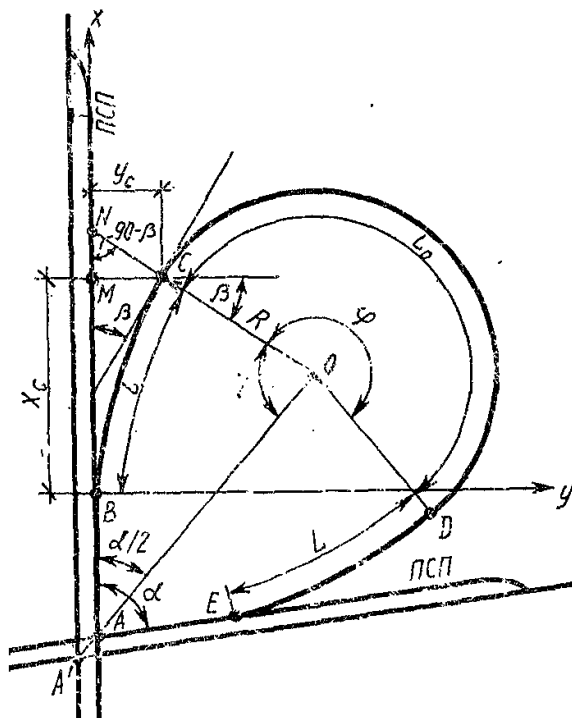


Рис.9 – Расчетная схема левоповоротного съезда

R-радиус круговой кривой; O- центра круговой кривой; μ – центральный угол круговой кривой; L_0 – Длина круговой кривой; A – точка пересечения осей ПСП; A' - точка пересечения осей внешних полос движения; B – начало первой переходной кривой(начало съезда); C- конец первой переходной кривой и начало круговой кривой; D – конец круговой кривой и начало второй переходной кривой; E – конец второй переходной кривой(конец съезда); L – длина переходной кривой; α – угол поворота переходной кривой; $X_c = BM$ – абсцисса точки C; $Y_c = MC$ – ордината точки C; η - угол между биссектрисой угла α и отрезком OC

Расчет левоповоротного съезда заключается в определении полной длины съезда и местоположения начала и конца съезда, т. е. в определении расстояний AB и AE (где A – точка пересечения осей переходно-скоростных полос, B – начало съезда, E – конец съезда). Съезд включает круговую кривую радиусом R и две переходные кривые BC и DE. Длина переходной тормозной кривой

$$L = \frac{V_{пр}^2 - V_{кр}^2}{2\alpha}$$

где $V_{пр}$ – скорость движения автомобиля на прямом участке дороги, м/с
 $V_{кр}$ – то же, на круговой кривой, м/с;
 α – допустимое центростремительное ускорение, м/с²
 Координаты x , y и угол поворота α переходных тормозных кривых приведены в приложении (прил. 2)
 Как видно из рис. 2, расстояние

$$\begin{aligned} AB &= AN - BM - MN; \\ BM &= Xc; \\ MN &= Yc \operatorname{tg} \beta; \\ AN &= ON \frac{\sin \eta}{\sin \alpha/2} = \left(R + \frac{y_c}{\cos \beta} \right) \frac{\sin \eta}{\sin \alpha/2}; \\ \eta &= 180 - \alpha/2 - (90 - \beta) = 90 + \beta - \alpha/2; \end{aligned}$$

Определив местоположение начала и конца съезда, рассчитываем длину съезда в плане:

$$\begin{aligned} L_{пл} &= K_0 + 2L = \frac{\pi R}{180} \varphi + 2L; \\ \varphi &= 180 + \alpha - 2\beta. \end{aligned}$$

Необходимо установить, является ли полученная длина $L_{пл}$ достаточной для возможности проектирования левоповоротного съезда в продольном профиле. На рис. 3 показан продольный профиль левоповоротного съезда.

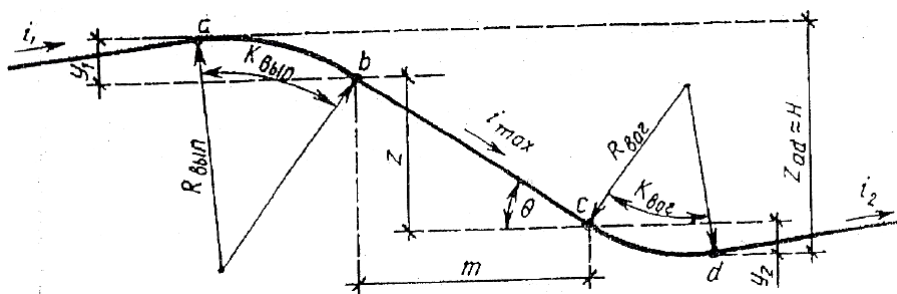


Рис. 10 – Продольный профиль левоповоротного съезда:
 i_1 и i_2 – продольные уклоны пересекающихся дорог; i_{max} – максимальный



продольный уклон на съезде; m – проекция участка съезда с максимальным уклоном на горизонтальную плоскость; $Z_{ад}$ – разность отметок точек a и d

Длину съезда в продольном профиле определяют по формулам:

$$\begin{aligned}L_{пр} &= K_{вып} + m + K_{вог}, \\K_{вып} &= R_{вып}(i_1 + i_{max}), \\K_{вог} &= R_{вог}(i_2 + i_{max}),\end{aligned}$$

Разность отметок точек b и c

$$\begin{aligned}z &= H - y_1 - y_2 = H - \frac{R_{вып}}{2}(i_{max}^2 - i_1^2) - \frac{R_{вог}}{2}(i_{max}^2 - i_2^2), \\m &= \frac{z}{i_{max}}.\end{aligned}$$

В случае, когда $i_1=i_2=0$

$$L_{пр} = \frac{H}{i_{max}} + (R_{вып} + R_{вог}) \frac{i_{max}}{2}$$

где H – разность отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог (6.5м).

Проверяем условие: $L_{пл} \geq L_{пр}$.

В противном случае необходимо увеличить геометрические элементы левоповоротного съезда и добиться соблюдения необходимого условия

Аналогично производят расчет левоповоротного съезда, соответствующего тупому углу.

2.2.1 Правоповоротные съезды (пересечение по типу «клеверный лист»)

На рис. 11 показана расчетная схема правоповоротного съезда пересечения по типу «клеверного листа».

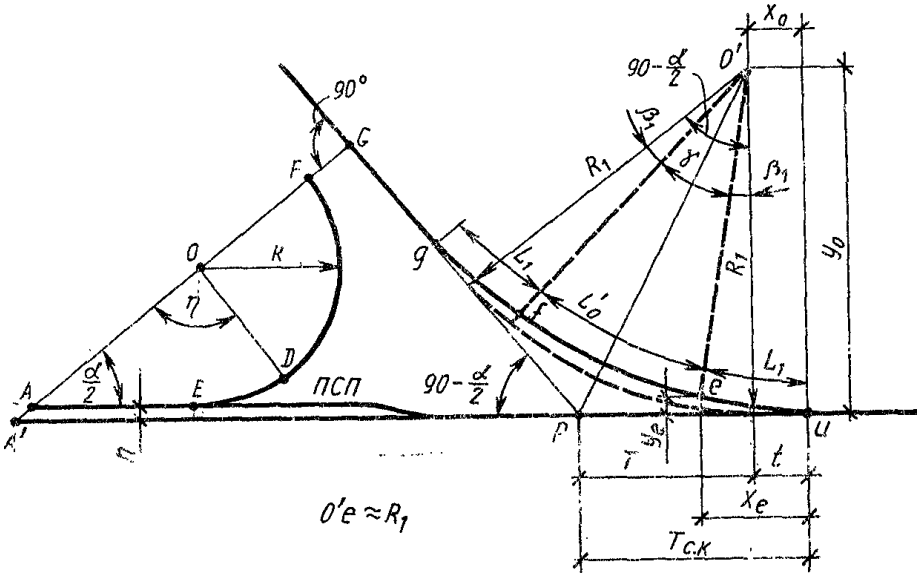


Рис 11. – Расчетная схема правоповоротного съезда.

R_1 – радиус круговой кривой; O' – центр круговой кривой; x_0 и y_0 – координаты центра круговой кривой; γ – центральный угол круговой кривой; $L'o$ – длина круговой кривой; v – начало правоповоротного съезда (начало первой переходной кривой); e – конец первой переходной кривой и начало круговой кривой; f – конец круговой кривой и начало второй переходной кривой; β_1 – угол поворота переходной кривой; X_e и Y_e – координаты точки e ; T – тангенс круговой кривой; $T_{СК}$ – тангенс составной кривой; t – дополнительный тангенс

Расчет правоповоротного съезда заключается в определении расстояния $A'u$ от точки пересечения осей внешних полос движения дорог A' до начала съезда (точки u), а также в установлении полной длины съезда.

При расчете правоповоротного съезда учитывают найденные ранее размеры соседнего левоповоротного съезда, Расстояние между осями право- и левоповоротного съездов по биссектрисе FG должно обеспечить возможность размещения земляного полотна обоих съездов с учетом их откосов и запасного расстояния C (обычно $1m$) между подошвами откосов (рис. 12).

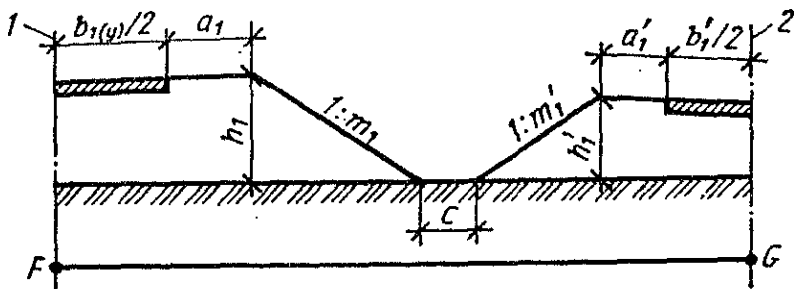


Рис. 12 – Схема к определению расстояния FG:

1 – ось земляного полотна левоповоротного съезда; 2 – то же, правоповоротного съезда

Как видно из рис. 5 расстояние FG может быть рассчитано по формуле:

$$FG = \frac{b_1(y)}{2} + a_1 + m_1 h_1 + c + m_1' h_1' + a_1' + \frac{b_1'}{2}.$$

Радиус кривой следует принимать большим или равным минимально допустимому радиусу на съезде для данной категории (см. таблицу).

Правоповоротные съезды следует проектировать на постоянную скорость движения, поэтому длина переходной кривой

$$L_1 = \frac{v^3}{R_1 I'}$$

где v – расчетная скорость движения на кривой, м/с;
 R – радиус круговой кривой на правоповоротном съезде, м;
 I – степень нарастания центростремительного ускорения, м/с³ ($=0,6$ м/с³).

Проверяют возможность отгона виража в пределах переходной кривой, определяют угол поворота переходной кривой α :

$$\beta_1 = \frac{57.3 L_1}{2 R_1}.$$



$$L_0 = \frac{\pi R_1 \gamma}{2R_1}.$$

Где центральный угол $\gamma = 90 - \alpha/2 - 2\beta_1$.
Длина составной кривой

$$L_{с.к} = L_0 + 2L_1.$$

Тангенс круговой кривой для угла поворота $(90-\alpha/2)$

$$T_1 = R_1 \operatorname{tg} \left[\frac{(90 - \frac{\alpha}{2})}{2} \right].$$

Тангенс составной кривой

$$T_{с.к} = R_1 + t_1,$$

где t_1 – дополнительный тангенс переходной кривой.

Затем определяют расстояние от точки пересечения осей движения до начала правоповоротного съезда

$$\begin{aligned} A^u &= A^P + T_{с.к}; \\ A^P &= \frac{A^G}{\cos(\alpha/2)}; \\ A^G &= A^A + AO + OF + FG = \frac{\Pi + 0,75}{\sin(\alpha/2)} + \frac{R \cos \beta + y_c}{\sin(\alpha/2)} + r + FG, \end{aligned}$$

где Π – ширина одной полосы движения дороги и переходной-скоростной полосы, м;

R, α, y_c – элементы составной кривой левоповоротного съезда.

Полная длина правоповоротного съезда

$$\begin{aligned} L_{\text{прав}} &= 2L_{с.к} + 2(GP - T_{с.к}); \\ GP &= A^P \sin(\alpha/2). \end{aligned}$$

Аналогично производят расчет другого правоповоротного съезда, соответствующего тупому углу.

На рис. 4 показан правоповоротный съезд с прямой встав-

кой и выше приведен его расчет. При острых углах пересечения дорог правоповоротные съезды следует выполнять единой кривой без прямолинейной вставки.

Полученные в результате расчета лево- и правоповоротных съездов расстояния дают возможность определить пикетаж всех характерных точек.

2.3 Проектирования транспортных развязок по типу листовидное примыкание, и примыкание по типу «труба»

2.3.1 Проектирование листовидного примыкания

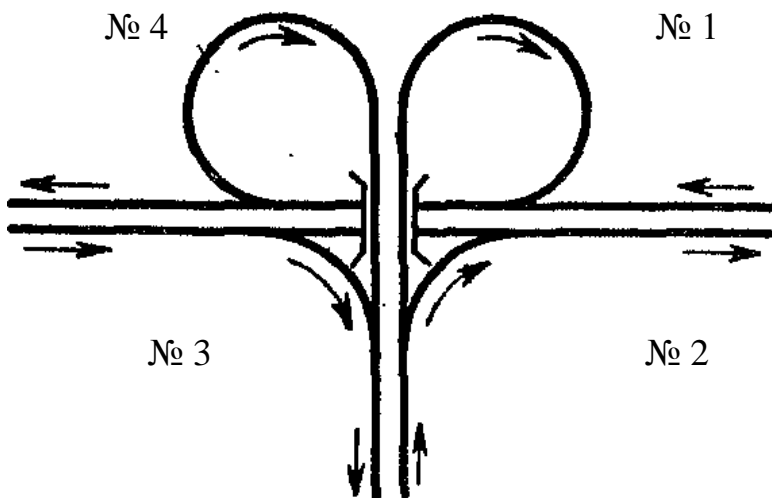


Рис. 13 – Схема листовидного примыкания

Левоповоротные съезды № 1 и № 2 проектируются таким же образом как и для транспортной развязки по типу «полный клеверный лист». Правоповоротные съезды № 3 и № 4 представляют собой обычные составные кривые, с геометрическими параметрами, принимаемыми по таблице 1.

2.3.2 Проектирование примыкания по типу «труба»

Левоповоротный съезд, имеющий форму лепестка клевера, рассчитывают так же, как на пересечении дорог по типу «клеверного листа». Наибольшую сложность представляет расчет другого левоповоротного съезда. На рис.7 – это съезд, ведущий с основной дороги на примыкающую.

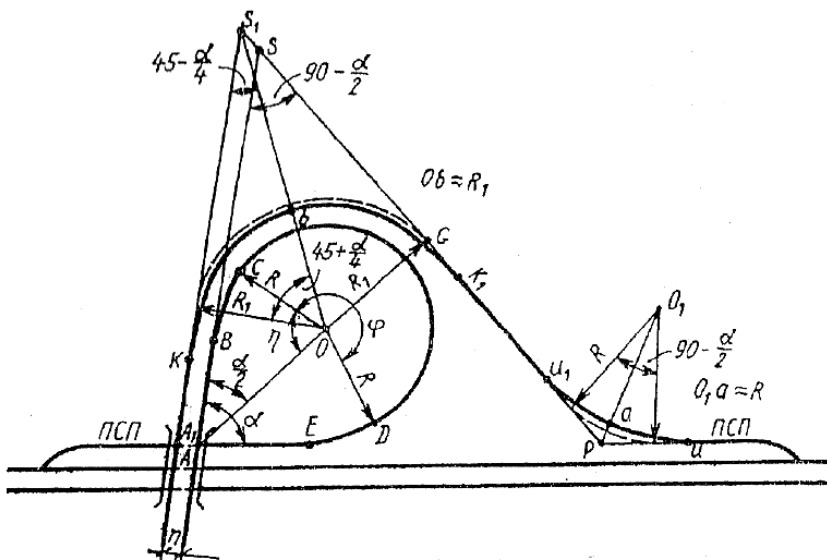


Рис. 14 – Расчетная схема примыкания по типу «труба»

Расчет указанного съезда включает в себя определение длины отрезков $A1K$ и $K1U1$, расчет двух составных кривых с углами поворота $(90 - \alpha/2)$ и $(90 + \alpha/2)$ и нахождение расстояния $A1U$ от точки пересечения осей переходно-скоростной полосы и полосы движения примыкающей дороги $A1$ до начала левоповоротного съезда (до точки U). Данный съезд рассчитывают на постоянную скорость.

Оба левоповоротных съезда на значительном протяжении имеют общее земляное полотно и представляют собой двухпутный съезд.

Радиус горизонтальной кривой

$$R_2 = R_1 + d; \quad d = \frac{b_2}{2},$$

где d – расстояние между осями полос движения двухпутного съезда, м;
 b_2 – ширина проезжей части двухпутного съезда с учетом уширения ее на кривой, м.
 Из рис. 14 видно, что расстояние

$$AG = AO + OG + AO + R_2;$$

$$AO = \frac{R \cos \beta + y_2}{\sin(\alpha/2)};$$

$$AP = AS = \frac{AG}{\cos(\alpha/2)};$$

$$GP = GS = AP \sin(\alpha/2).$$

Тогда расстояние

$$A_1U = A_1A + AP + PU = \frac{b}{2 \sin \alpha} + AP + T_{\text{с.к}}^{\text{п}},$$

где b – ширина проезжей части примыкающей дороги;
 $T_{\text{с.к}}^{\text{п}}$ – тангенс оставной кривой с углом поворота $(90-\alpha/2)$.
 Рассчитывают расстояние

$$A_1K = A_1S_1 - K_1S_1 = A_1S_1 - T_{\text{с.к}}^{\text{н}} = AS + \frac{b}{2}(\text{ctg} \alpha + \text{tg}(\alpha/2)),$$

где $T_{\text{с.к}}^{\text{н}}$ – тангенс составной кривой с углом поворота $(90+\alpha/2)$.

$$K_1U_1 = GP + GS + SS_1 - S_1K_1 - U_1 = 2GP + \frac{b}{2 \cos(\alpha/2)} - T_{\text{с.к}}^{\text{н}} - T_{\text{с.к}}^{\text{п}}.$$

Длина пути, проходимого автомобилями, которые сворачивают влево с основной дороги на примыкающую:

$$S_{\text{лев}} = A_1K + L_{\text{с.к}}^{\text{н}} + K_1U_1 + L_{\text{с.к}}^{\text{п}},$$

где $L_{\text{с.к}}^{\text{н}}$ – длина составной кривой с углом поворота $(90 + \alpha/2)$;
 $L_{\text{с.к}}^{\text{п}}$ – то же, с углом поворота $(90 - \alpha/2)$.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО ТИПУ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ КОЛЬЦО С ПЯТЬЮ И ДВУМЯ ПУТЕПРОВОДАМИ

3.1 Проектирование пересечения автомобильных дорог по типу распределительного кольца с 5-ю пу- тепроводами

Характерной особенностью транспортной развязки по типу распределительное кольцо с 5-ю путепроводами является сложный продольный профиль. Это объясняется тем, что кольцо поочередно проходит сначала под одной автомобильной дорогой, а затем под другой.

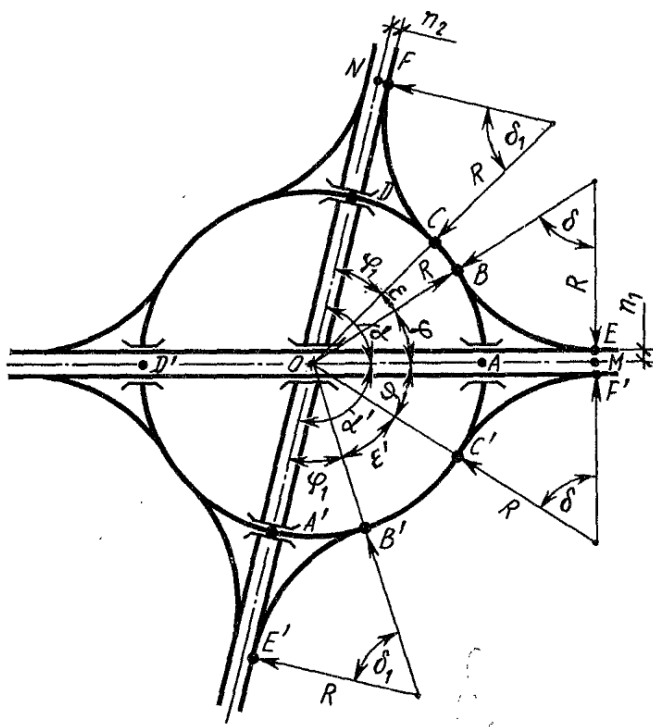


Рис. 15 – Расчетная схема пересечения по типу распределительного кольца с 5-ю путепроводами



При проектировании данного типа транспортной развязки следует учитывать что радиус кольца и радиусы съездов должны совпадать, чтобы получить транспортную развязку, у которой съезды вливаются в кольцо, и благодаря этому отсутствуют точки пересечения потоков движения в одном уровне.

Первым шагом при расчете данного пересечения является определение радиуса кольца и правоповоротных съездов в первом приближении по традиционной формуле:

$$R = \frac{v^2}{g(\mu \pm i_B)}$$

где v – расчетная скорость движения на кольце(подставляется в м/с);

g – ускорение свободного падения (9.8 м/с²)

μ – коэффициент поперечной силы (0.16 – 0.17)

i_B – поперечный уклон на вираже (0.03-0.04)

Для этого радиуса определяют длину секции кольца АДв плане:

$$L_{пл} = \frac{\pi R \alpha}{180}$$

Подсчитывают длину этой же секции кольца в продольном профиле $L_{пр}$

$$L_{пр} = \frac{K_{вог}}{2} + m + \frac{K_{вып}}{2}$$

$$K_{вог} = 2R_{вог} * i_{max}$$

$$K_{вып} = 2R_{вып} * i_{max}$$

Разность отметок точек b и $az = H - \left(\frac{R_{вог}}{2}\right) i_{max}^2 - \left(\frac{R_{вып}}{2}\right) i_{max}^2$

Длина участка кольца с максимальным уклоном – m

$$m = \frac{H}{i_{max}} - \frac{i_{max}}{2} (R_{вог} + R_{вып})$$

Окончательно длина секции кольца АДв продольном профиле

$$L_{пр} = \frac{H}{i_{max}} + \frac{i_{max}}{2} (R_{вор} + R_{вып})$$

Длину $L_{пл}$ сравнивают с длиной $L_{пр}$. При этом должно выполняться условие $L_{пл} \geq L_{пр}$. Если данное условие не выполняется, то увеличивают радиус кольца.

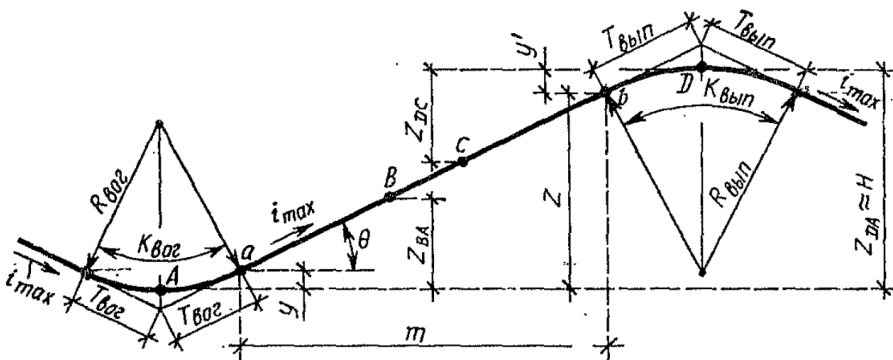


Рис. 16 – Расчетная схема продольного профиля кольца на участке AD

A – середина вогнутой кривой; точка D – середина выпуклой кривой; B и C – точки слияния правоповоротных съездов EB и CF с кольцом (точки A, B, C, D); Z_{DA} – разность отметок точек D и A (можно принимать $Z_{DA} \approx H$, где H – разность отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог); m – проекция участка кольца с максимальным уклоном i_{max} на горизонтальную плоскость (по малости угла θ можно принимать $m \approx ab$, т.е. считать, что m – длина участка кольца с максимальным уклоном)

Минимальный радиус кольца может быть рассчитан по формуле:

$$R_{min} = \frac{180}{\pi \alpha} \left[\frac{H}{i_{max}} + \frac{i_{max}}{2} (R_{вор} + R_{вып}) \right]$$

Полученный по этой формуле радиус R_{min} округляют до ближайшего большего значения, кратного 5.

Затем определяют углы δ и δ_1

$$\cos \delta = \frac{R + n_1}{2R}$$

$$\cos \delta_1 = \frac{R + n_2}{2R}$$

n_1, n_2 – расстояния между осями проезжих частей дорог и осями полос движения (для дорог первой категории $n_1 = n_2 = n$ – расстояние между осью дороги и осью внешней полосы движения)

После определения углов δ и δ_1 находят угол $\varphi = 90 - \delta$, $\varphi_1 = 90 - \delta_1$, и $\varepsilon = \alpha - \varphi - \varphi_1$

После расчета основных углов производится вычисление длины участка слияния и разделения потоков ВС.

$$BC = \frac{\pi R \varepsilon}{180}$$

На данном участке происходит слияние, переплетение и перераспределение транспортных потоков по различным направлениям, поэтому длина его должна быть достаточна для безопасного совершения маневра. Рекомендуемые длины участков слияния в зависимости от расчетной скорости движения приведены в таблице 3. Должно соблюдаться условие $BC \geq l_{сг}$

Таблица 3 – Допустимая длина участков слияния и разделения потоков

Скорость движения, км/ч	Длина участка слияния, м
30	25 – 35
35	30 – 40
40	35 – 45
45	40 – 50
50	40 -55
55	45 – 60
60	50 – 65
65	55 – 70
70	60 – 80
75	60 – 85
80	65-90
85	70 – 95
90	75 – 100

Для секций кольца в тупом угле длина участка слияния и разделения потоков ВСне рассчитывается, так как угол ε рассчитанный для тупого угла будет значительно больше чем этот же угол рассчитанный в остром угле.

Кольцо и примыкающие к нему съезды необходимо увязать между собой. В первую очередь производится увязка правоповоротного съезда EB с кольцом.

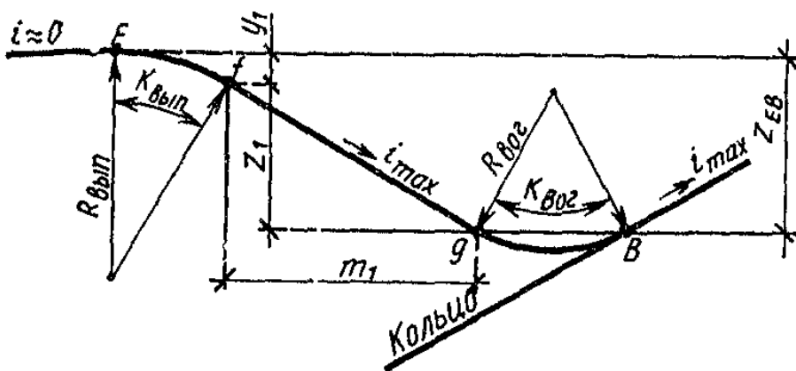


Рис. 17 – Продольный профиль съезда EB

Длина съезда EB в плане рассчитывается по формуле:

$$L_{пл} = \frac{\pi R \delta}{180}$$

Эту длину необходимо сравнить с длиной съезда в продольном профиле, при этом должно выполняться условие $L_{пл} \geq L_{пр}$.

Съезд EB должен преодолеть разность отметок

$$z_{EB} = H - z_{BA}$$

H – разность отметок бровок земляного полотна дороги и кольца в точке A.

z_{BA} – разность отметок точек B и A

$$z_{BA} = \frac{\pi R \varphi i_{max}}{180} - \frac{R_{вог} i_{max}^2}{2}$$



Длина съезда $EВ$ рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned}L_{пр} &= K_{вып} + m_1 + K_{вог} \\K_{вып} &= R_{вып} i_{max} \\K_{вогн} &= 2R_{вогн} i_{max}\end{aligned}$$

Разность отметок точек f и g $z_1 = z_{EB} - y_1$;

$$y_1 = \frac{R_{вып}}{2} i_{max}^2; z_1 = z_{EB} - \frac{R_{вып}}{2} i_{max}^2$$

Длина участка съезда с максимальным уклоном:

$$m_1 = \frac{1}{i_{max}} \left(z_{EB} - \frac{R_{вып}}{2} i_{max}^2 \right)$$

Окончательно:

$$L_{пр} = \frac{z_{EB}}{i_{max}} + (0.5R_{вып} + 2R_{вог}) i_{max}$$

Если условие $L_{пл} \geq L_{пр}$ не выполняется, то необходимо увеличивать радиус кольца и правоповоротных съездов до выполнения условия. Значение радиуса кольца удовлетворяющее данному условию округляется до большего значения кратного 5.

Затем следует увязать с кольцом правоповоротный съезд CF . Длина съезда в плане рассчитывается по формуле:

$$L_{пл} = \frac{\pi R \delta_1}{180}$$

На рисунке 18 показан продольный профиль правоповоротного съезда CF

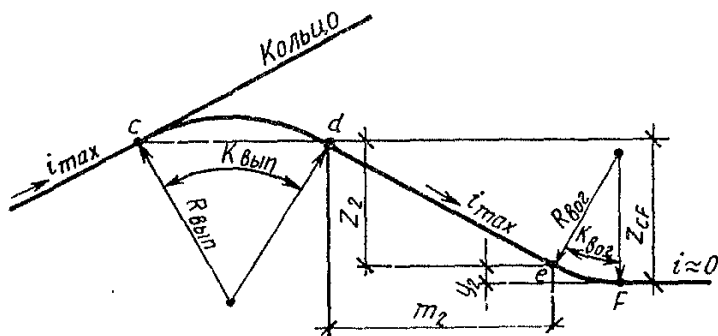


Рис. 18 – Продольный профиль правопротного съезда CF

Съезд CF должен преодолеть разность отметок

$$z_{CF} = H - z_{DC}$$

H – разность отметок бровок земляного полотна кольца и дороги в точке D.

z_{DC} – разность отметок точек D и C

$$z_{DC} = \frac{\pi R}{180} \varphi i_{max} - \frac{R_{вып}}{2} i_{max}^2$$

Длина съезда CF в продольном профиле

$$L_{пр} = K_{вып} + m_2 + K_{вог}$$

Длина выпуклой кривой

$$K_{вып} = 2R_{вып} i_{max}$$

$$K_{вог} = R_{вог} i_{max}$$

Разность отметок точек d и e

$$z_2 = z_{CF} - \frac{R_{вог}}{2} i_{max}^2$$

Длина участка съезда с максимальным уклоном

$$m_2 = \frac{1}{i_{max}} \left(z_{CF} - \frac{R_{BOГ}}{2} i_{max}^2 \right)$$

Окончательно длина съезда CFв продольном профиле вычисляется по формуле:

$$L_{np} = \frac{z_{CF}}{i_{max}} + (0.5R_{BOГ} + 2R_{вып})i_{max}$$

Длину $L_{пл}$ сравнивают с длиной L_{np} правоповоротного съезда CF. Если условие $L_{пл} \geq L_{np}$ не выполняется, то увеличивают радиус кольца и парвоворотных съездов и повторяют расчет.

Окончательно длину кольца рассчитывают по формуле:

$$L_k = 2\pi R$$

Расстояния OМи ONот центра транспортной развязки O до начала и конца правоповоротных съездов OМи ONопределяется исходя из выражений

$$\begin{aligned} OM &= 2R \cos \varphi \\ ON &= 2R \cos \varphi_1 \end{aligned}$$

3.2 Проектирование пересечения автомобильных дорог по типу распределительного кольца с двумя путепроводами

На этой транспортной развязке проектирование кольца в продольном профиле выполняется проще, чем на пересечении с пятью путепроводами, так как здесь кольцо только в двух пунктах пересекает одну из автомобильных дорог. Транспортный поток основной дороги проходит по прямой, а пересекаемый поток восторостепенной по кольцу (рис. 19)

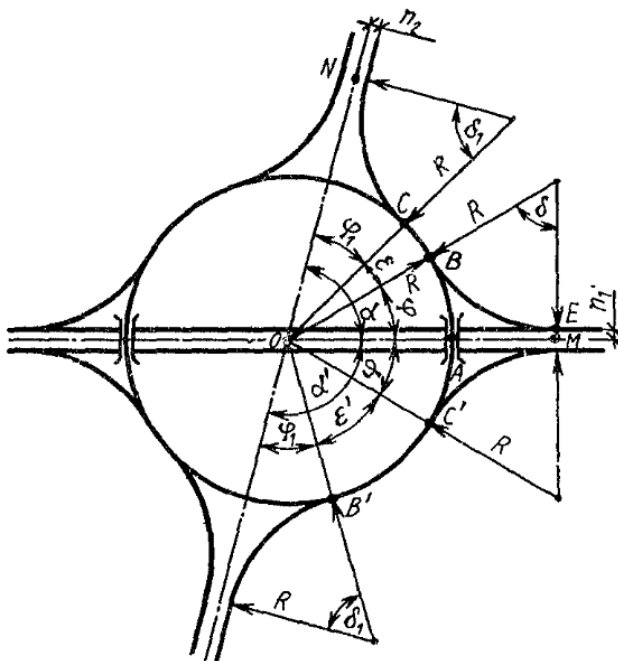


Рис. 19 – Расчетная схема пересечения по типу распределительного кольца с двумя путепроводами

В целом расчет распределительного кольца с двумя путепроводами полностью аналогичен расчету кольца с пятью путепроводами, и также предполагает увязку правоповоротных съездов EB и CF с кольцом и подбор радиуса кольца и правоповоротных съездов.

4. АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК

В основе данного пункта учебного пособия лежат данные к.т.н. Г.В. Величко[3]. Им была проведена значительная работ по анализу снимков транспортных развязок в различных странах мира. Для анализа геометрических параметров транспортных развязок России, Украины, Беларуси, Америки, Австралии, Японии, ЮАР, Канады, Англии, Франции, Италии, Германии – эти снимки трансформированы и масштабированы с помощью ПО CREDO. Результаты аппроксимации явно криволинейных и прямолинейных элементов с последующим их сопряжением позволили восстанавливать их геометрию в векторном виде, удобном для оценки разнообразных геометрических и функциональных свойств



Рис. 20 – Восстановление геометрии транспортной развязки строящейся в окрестностях г. Токио

Многообразие форм и очертаний этих элементов на удачных зарубежных развязках свидетельствует не столько о

стремлении проектировщиков и строителей «вписаться» в существующие ограничения, сколько о поиске рациональных траекторий, обеспечивающих минимальное время маневра и максимальное удобство и безопасность движения в местах разветвления и слияния транспортных потоков.

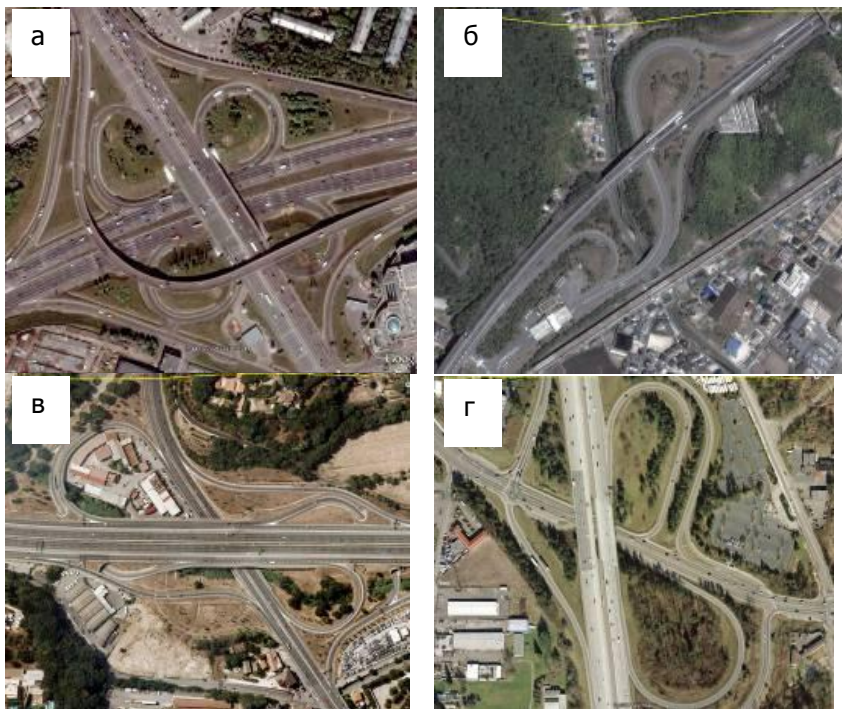


Рис. 21 – Примеры планировок транспортных развязок (а – транспортная развязка на МКАД (РФ), б – Хиросима (Япония), в – Рим (Италия), г – Сиэтл (США))

Ключевыми параметрами для достижения высокого качества этих развязок являются отнюдь не радиусы съездов, как следует из действующих норм. Длины, формы траекторий разгонов и торможений, число полос движения, способы их отделения от транзитного транспортного потока и длины так называемых межпетлевых участков и участков переплетения транспортных потоков – существенно отличаются от аналогичных параметров, содержащихся в существующих нормах. Следует отметить, что применяемые за рубежом радиусы съездов в ряде

случаев гораздо (в $1,5 \div 2,5$ раза) меньше, а длины участков траекторий для движения с переменной скоростью, как правило, криволинейны и, напротив, гораздо (также в $1,5 \div 2,5$ раза) длиннее, чем в странах СНГ. В том, что такие элементы транспортных развязок, как межпетлевые участки, тормозные и разгонные переходные кривые явно более важны убеждают функционально-конструкторские решения проблем повышения пропускной способности развязок. Так на развязке в Сиэтле эта задача решалась не путем увеличения радиуса съезда, а именно путем ликвидации проблем на межпетлевом участке (рис. 15). А при реконструкции развязки в Риме – уменьшением радиусов, но с оптимизацией траекторий тормозных и разгонных кривых (рис. 22).



1)



2)

Рис. 22 – Примеры транспортных развязок после реконструкции (1 – на пересечении автомобильных дорог А90 и Е80 в Италии, 2 – на пересечении федеральных трасс 405 и 167 в Сиэтле – США)

На рис. 23 приведены фотографии отечественных транспортных развязок с восстановленными по снимкам радиусами левоповоротных съездов.

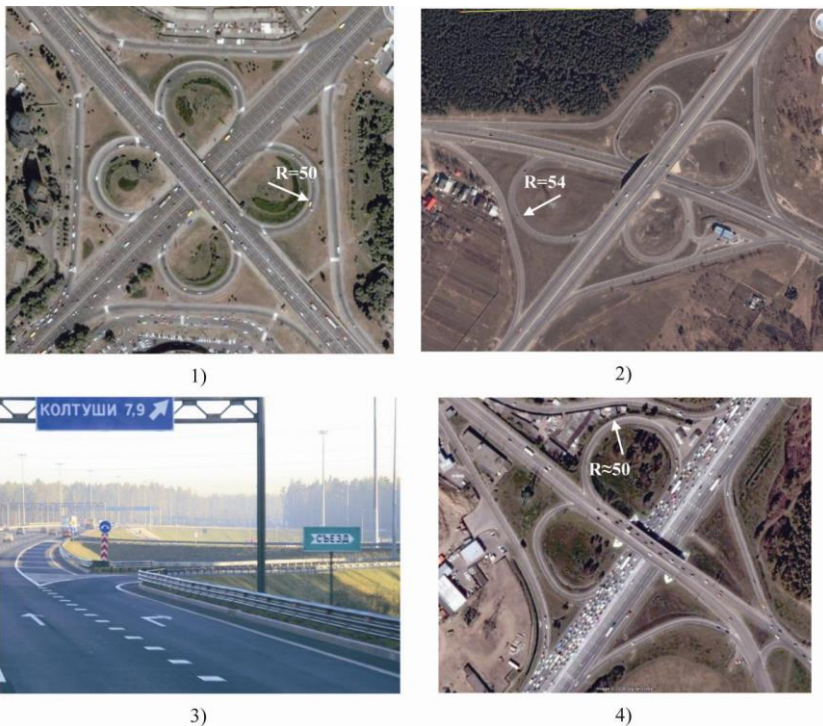


Рис. 23 – Примеры современных транспортных развязок в РФ (1 – в Минске, 2 – в Киеве, 3 – съезд с КАД Санкт-Петербурга, 4 – 7-й км МКАД)

Далее приведены примеры транспортных развязок, при строительстве которых подрядчиком были допущены грубые просчеты.

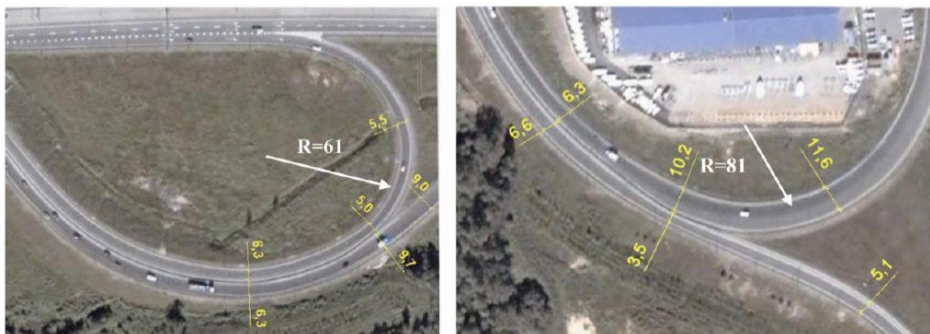


Рис. 24 – Недопустимые изменения ширины проезжей части на левоповоротных петлях транспортной развязки

На рисунке 25 приведены примеры функционально обоснованных и рационально запроектированных транспортных развязок.



1)



2)



3)



4)

Рис. 25 – Примеры функционально обоснованных и качественно построенных транспортных развязок: 1) пересечение 405 и 908 федеральных дорог США, 2) «клеверный лист» в Токио, 3) пересечение дорог А90 и А91 в Италии, 4) пересечение дорог А8 и D6222 в Каннах

Таким образом, анализируя представленный выше материал, можно сделать вывод, что транспортные развязки являются чрезвычайно ответственным и важным сооружением, от качества проектирования и строительства которого напрямую зависит скорость, удобство, комфорт движения, и самое главное безопасность его участников. Каждое принимаемое проектное решение должно быть критически оценено и обосновано, с целью



обеспечения наибольшей плавности и «читаемости» транспортной развязки. Также не следует забывать о том, что любая транспортная развязка требует большой площади земли для своего размещения, что приводит к необходимости тщательного технико-экономического обоснования возможности ее строительства. В данном учебном пособии мы постарались осветить основные инженерные вопросы, связанные с проектированием различных типов транспортных развязок. Однако важно понимать, что вопрос проектирования транспортных развязок является настолько комплексным, что изложить его в одном литературном источнике практически невозможно, и инженер – проектировщик должен обладать широким кругозором и достаточным опытом работы для создания эффективных и рациональных конструкций пересечений в разных уровнях.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давыдов С.В. История развития транспортных развязок // <http://transspot.ru/> URL: <http://transspot.ru/2012/11/30/istoriya-razvitiya-transportnyh-razvyazok/> (дата обращения: 5.11.2015).
2. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог. – 2 изд. – М.: Высшая школа, 1989.
3. Величко Г.В. Актуальные проблемы совершенствования нормативов проектирования дорог и пути их решения // Автомобильные дороги. – 2013. -№ 4.
4. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Richtlinien für integrierte Netzplanung (RIN), Ausgabe 2008
5. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen, Ausgabe 2001, Fassung 2009
6. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Неполные пересечения типа «клеверный лист»

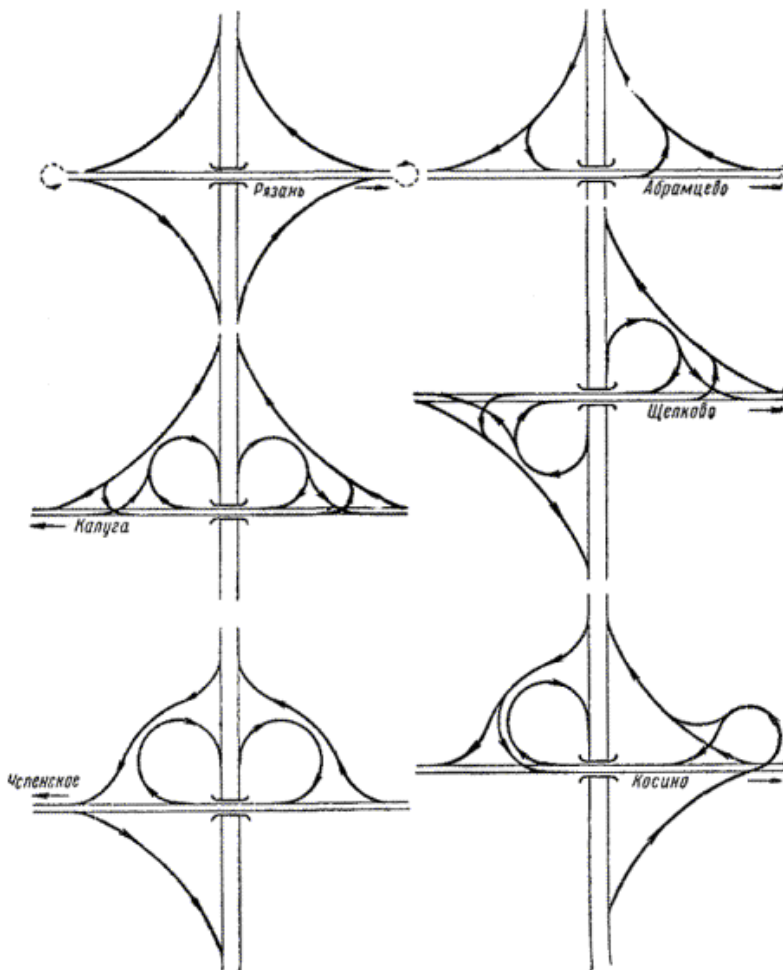


Рисунок П.1 – Различные варианты устройства транспортной развязки по типу «неполный клеверный лист»

Пересечения кольцевого типа

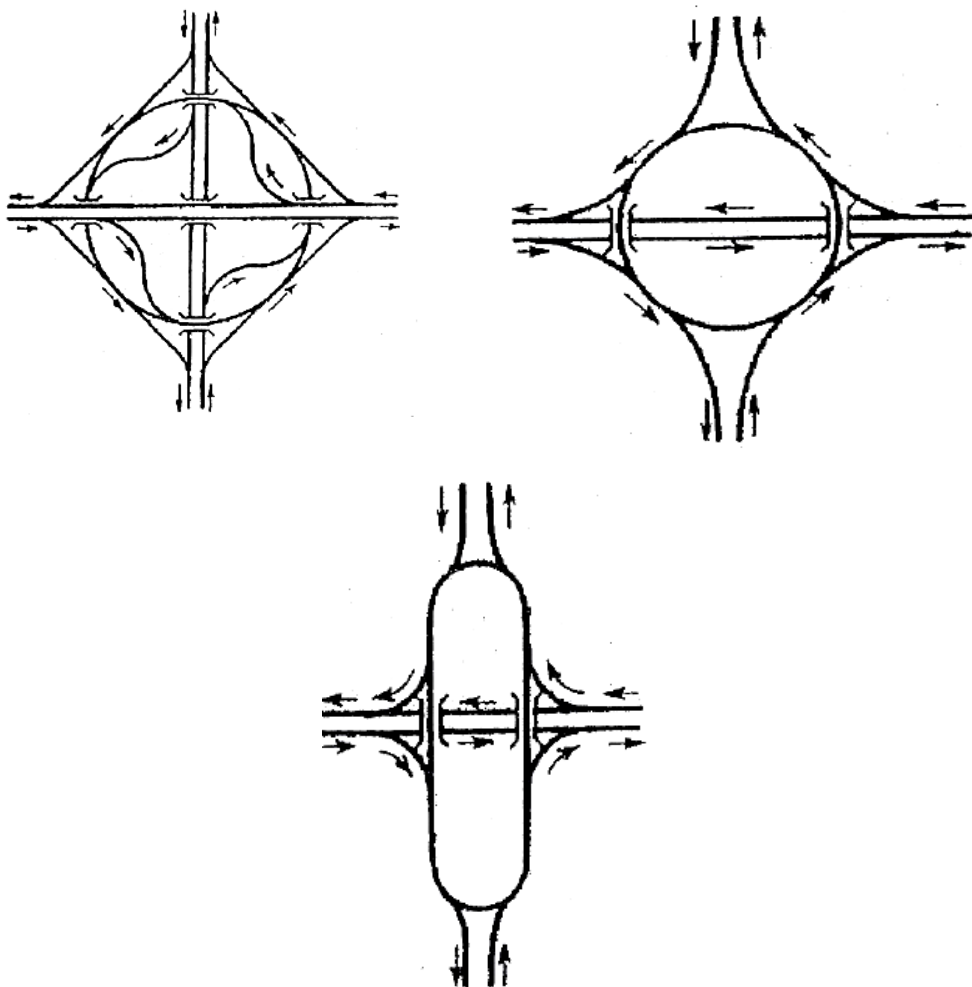


Рисунок П.2 – Различные варианты устройства транспортных развязок кольцевого типа

Пересечения линейного типа



Рисунок П.3 – Схема линейного типа пересечения с двумя путе-
проводами



Рисунок П.4 – Схема линейного типа пересечения с шестью путе-
проводами

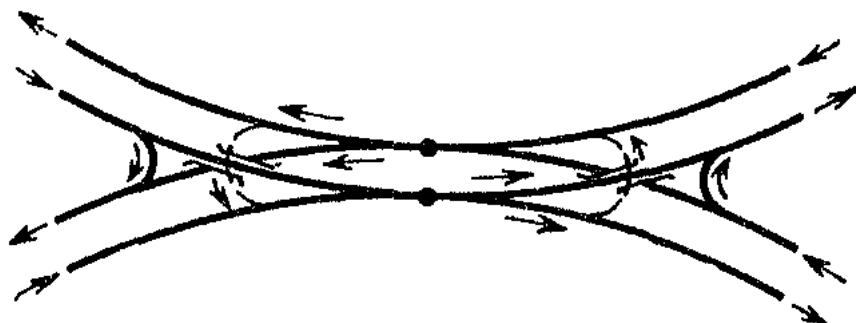


Рисунок П.5 – Схема сдвоенного V-образного типа пересечения

Примыкание по типу «труба»

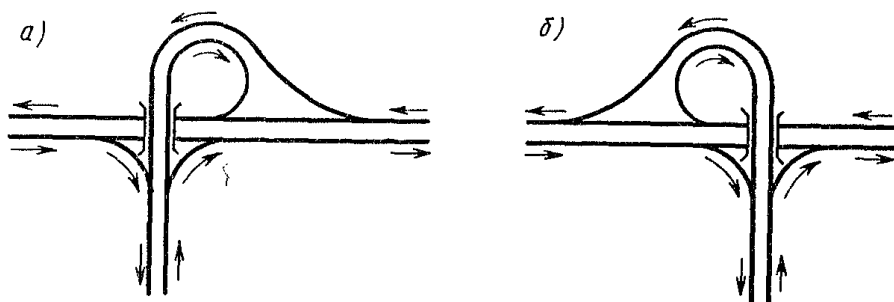


Рисунок П.6 – Схема примыкания по типу «труба» с правой (а) и левой(б) левоповоротной петлей

Листовидное примыкание

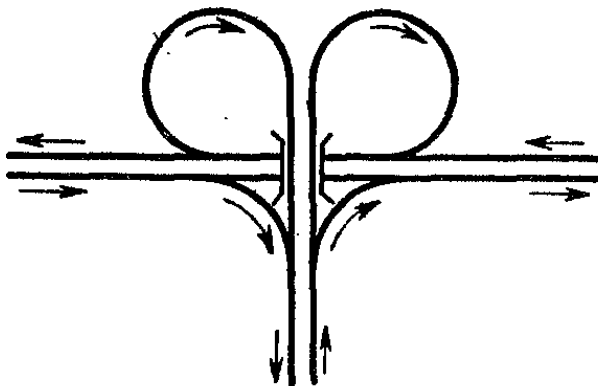


Рисунок П.7 – Схема листовидного примыкания

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П.1 – Таблицы для разбивки переходных кривых налевоповоротных съездах транспортных развязок

$V_p = 50 \text{ км/ч}$ $a=0.5 \text{ м/с}^2$ $L=70 \text{ м}$ $R=55 \text{ м}$			$V_p = 50 \text{ км/ч}$ $a=0.46 \text{ м/с}^2$ $L=75 \text{ м}$ $R=60 \text{ м}$			$V_p = 50 \text{ км/ч}$ $a=0.43 \text{ м/с}^2$ $L=80 \text{ м}$ $R=65 \text{ м}$			$V_p = 60 \text{ км/ч}$ $a=0.5 \text{ м/с}^2$ $L=85 \text{ м}$ $R=90 \text{ м}$		
l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5,00	0,00	5	5,00	0,00	5	5,00	0,00	5	5,00	0,00
10	10,00	0,02	10	10,00	0,02	10	10,00	0,02	10	10,00	0,01
15	15,00	0,07	15	15,00	0,07	15	15,00	0,06	15	15,00	0,04
20	20,00	0,18	20	20,00	0,16	20	20,00	0,15	20	20,00	0,10
25	25,00	0,35	25	25,00	0,32	25	25,00	0,30	25	25,00	0,20
30	29,99	0,60	30	29,99	0,55	30	29,99	0,52	30	30,00	0,34
35	34,98	0,95	35	34,98	0,87	35	34,98	0,82	35	34,99	0,55
40	39,96	1,42	40	39,96	1,30	40	39,97	1,22	40	39,98	0,12
45	44,92	2,02	45	44,93	1,86	45	44,94	1,74	45	44,97	1,16
50	49,86	2,77	50	49,88	2,55	50	49,90	2,38	50	49,95	1,60
55	54,78	3,69	55	54,81	3,39	55	54,84	3,17	55	54,93	2,13
60	59,66	4,79	60	59,71	4,40	60	59,75	4,12	60	59,89	2,76
65	64,49	6,09	65	64,57	5,60	65	64,62	5,23	65	64,83	3,51
70	69,26	7,60	70	69,37	6,99	70	69,45	6,54	70	69,75	4,38
			75	74,11	8,60	75	74,22	8,04	75	74,65	5,39
						80	78,93	9,76 ;	80	79,52	6,54
									85	84,35	7,85
$\beta = 24^\circ 18'$ $X_0 = 46,63 \text{ м}$ $Y_0 = 57,73 \text{ м}$			$\beta = 25^\circ 35'$ $X_0 = 48,20 \text{ м}$ $Y_0 = 62,72 \text{ м}$			$\beta = 27^\circ 13'$ $X_0 = 49,20 \text{ м}$ $Y_0 = 67,56 \text{ м}$			$\beta = 19^\circ 53'$ $X_0 = 53,75 \text{ м}$ $Y_0 = 92,49 \text{ м}$		

Продолжение табл. П.1

$V_p = 60 \text{ км/ч}$ $a = 0.47 \text{ м/с}^2$ $L = 90 \text{ м}$ $R = 100 \text{ м}$			$V_p = 60 \text{ км/ч}$ $a = 0.44 \text{ м/с}^2$ $L = 95 \text{ м}$ $R = 105 \text{ м}$			$V_p = 70 \text{ км/ч}$ $a = 0.5 \text{ м/с}^2$ $L = 100 \text{ м}$ $R = 125 \text{ м}$			$V_p = 70 \text{ км/ч}$ $a = 0.48 \text{ м/с}^2$ $L = 105 \text{ м}$ $R = 150 \text{ м}$		
l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5,00	0,00	5	5,00	0,00	5	5,00	0,00	5	5,00	0,00
10	10,00	0,01	10	10,00	0,01	10	10,00	0,01	10	10,00	0,01
15	15,00	0,04	15	15,00	0,04	15	15,00	0,03	15	15,00	0,03
20	20,00	0,10	20	20,00	0,09	20	20,00	0,06	20	20,00	0,06
25	25,00	0,19	25	25,00	0,18	25	25,00	0,13	25	25,00	0,12
30	30,00	0,32	30	30,00	0,30	30	30,00	0,22	30	30,00	0,21
35	34,99	0,52	35	34,99	0,48	35	35,00	0,35	35	35,00	0,34
40	39,99	0,77	40	39,99	0,72	40	39,99	0,52	40	39,99	0,50
45	44,98	1,10	45	44,98	1,02	45	44,99	0,74	45	44,99	0,71
50	49,96	1,50	50	49,96	1,41	50	49,98	1,02	50	49,98	0,98
55	54,94	2,00	55	54,94	1,87	55	54,97	1,36	55	54,97	1,30
60	59,90	2,60	60	59,81	2,43	60	59,95	1,76	60	59,96	1,69
65	64,85	3,30	65	64,87	3,09	65	64,93	2,24	65	64,94	2,15
70	69,78	4,12	70	69,81	3,86	70	69,90	2,80	70	69,91	2,68
75	74,69	5,07	75	74,73	4,74	75	74,86	3,44	75	74,87	3,30
80	79,57	6,15	80	79,63	5,76	80	79,80	4,17	80	79,82	4,01
85	84,42	7,38	85	84,50	6,91	85	84,74	5,01	85	84,76	4,81
90	89,23	8,76	90	89,33	8,20	90	89,65	5,94	90	89,68	5,70
			95	94,12	9,64	95	94,54	6,99	95	94,57	6,71
						100	99,40	8,15	100	99,45	7,83 9,06
$\beta = 20^\circ 58'$ $X_0 = 53,46 \text{ м}$ $Y_0 = 102,14 \text{ м}$			$\beta = 21^\circ 49'$ $X_0 = 55,11 \text{ м}$ $Y_0 = 107,12 \text{ м}$			$\beta = 17^\circ 45'$ $X_0 = 61,29 \text{ м}$ $Y_0 = 127,20 \text{ м}$			$\beta = 18^\circ 49'$ $X_0 = 55,94 \text{ м}$ $Y_0 = 151,05 \text{ м}$		

Продолжение табл. П.1

$V_p = 70 \text{ км/ч}$ $a=0.45\text{м/с}^2$ $L=110 \text{ м}$ $R=160 \text{ м}$			$V_p = 80 \text{ км/ч}$ $a=0.50 \text{ м/с}^2$ $L=115 \text{ м}$ $R=180 \text{ м}$			$V_p = 80 \text{ км/ч}$ $a=0.48 \text{ м/с}^2$ $L=120 \text{ м}$ $R=200 \text{ м}$			$V_p = 80 \text{ км/ч}$ $a=0.46\text{м/с}^2$ $L=125\text{м}$ $R=220 \text{ м}$		
l, м	x, м	y,м	l, м	x, м	y,м	l, м	x, м	y,м	l, м	x, м	y,м
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10,00	0,01	10	10,00	0,01	10	10,00	0,01	10	10,00	0,01
20	20,00	0,06	20	20,00	0,04	20	20,00	0,04	20	20,00	0,04
30	30,00	0,20	30	30,00	0,15	30	30,00	0,09	30	30,00	0,14
40	39,99	0,47	40	40,00	0,35	40	40,00	0,14	40	40,00	0,32
50	49,98	0,92	50	49,99	0,68	50	49,99	0,33	50	49,99	0,62
60	59,96	1,58	60	59,98	1,18	60	59,98	0,65	60	59,98	1,08
70	69,92	2,52	70	69,96	1,87	70	69,96	1,13	70	69,96	1,72
80	79,84	3,76	80	79,91	2,78	80	79,92	1,79	80	79,93	2,56
90	89,71	5,35	90	89,84	3,97	90	89,86	2,67	90	89,87	3,65
100	99,52	7,34	100	99,73	5,44	100	99,76	3,81	100	99,78	5,00
110	109,22	9,77	110	109,57	7,24	110	109,60	5,22	110	109,64	6,66
			115	114,46	8,27	120	119,39	6,95	120	119,44	8,65
									125	124,31	9,78
$\beta = 19^\circ 18'$ $X_0 = 56,34 \text{ м}$ $Y_0 = 160,78 \text{ м}$			$\beta = 14^\circ 46'$ $X_0 = 68,58 \text{ м}$ $Y_0 = 182,33 \text{ м}$			$\beta = 15^\circ 27'$ $X_0 = 66,11 \text{ м}$ $Y_0 = 201,80 \text{ м}$			$\beta = 16^\circ 04'$ $X_0 = 63,46 \text{ м}$ $Y_0 = 221,20 \text{ м}$		

Таблица П.2 -Таблицы для разбивки переходных кривых на правоповоротных съездах транспортных развязок

R = 60 м, L =70 м			R = 90 м, L =75 м			R = 100 м, L =80 м			R = 125 м, L =85 м		
l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5,00	0,01	5	5,00	0,00	5	5,00	0,00	5	5,00	0,00
10	10,00	0,04	10	10,00	0,02	10	10,00	0,02	10	10,00	0,02
15	15,00	0,13	15	15,00	0,08	15	15,00	0,07	15	15,00	0,05
20	20,00	0,32	20	20,00	0,20	20	20,00	0,17	20	20,00	0,12
25	24,99	0,62	25	24,99	0,39	25	24,99	0,33	25	24,99	0,24
30	29,97	1,07	30	29,99	0,67	30	29,99	0,56	30	29,99	0,42
35	34,93	1,70	35	34,97	1,06	35	34,98	0,89	35	34,99	0,67
40	39,86	2,53	40	39,94	1,58	40	39,96	1,33	40	39,98	1,00
45	44,74	3,60	45	44,90	2,25	45	44,93	1,90	45	44,96	4,43
50	49,56	4,93	50	49,83	3,08	50	49,88	2,60	50	49,93	1,96
55	54,32	6,54	55	54,72	4,10	55	54,80	3,46	55	54,89	2,61
60	58,90	8,46	60	59,57	5,30	60	59,70	4,48	60	59,83	3,38
65	63,36	10,70	65	64,36	6,73	65	64,55	5,69	65	64,75	4,30
70	67,62	13,28	70	69,08	8,39	70	69,34	7,10	70	69,63	5,36
			75	73,70	10,29	75	74,07	8,71	75	74,47	6,59
						80	78,72	10,55	80	79,27	7,98
									85	84,02	9,55
$\beta = 33^{\circ}25'$ $X_0 = 34,58 \text{ м}$ $Y_0 = 63,36 \text{ м}$			$\beta = 23^{\circ}52'$ $X_0 = 37,29 \text{ м}$ $Y_0 = 92,59 \text{ м}$			$\beta = 22^{\circ}55'$ $X_0 = 39,78 \text{ м}$ $Y_0 = 102,65 \text{ м}$			$\beta = 19^{\circ}29'$ $X_0 = 42,33 \text{ м}$ $Y_0 = 127,4 \text{ м}$		

Продолжение таблицы П.2

R = 150 м, L =90 м			R = 180 м, L =95 м			R = 200 м, L =100 м			R = 220 м, L =105 м		
l, м	x, м	y,м	l, м	x, м	y,м	l, м	x, м	y,м	l, м	x, м	y,м
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5,00	0,00	10	10,00	0,01	10	10,00	0,01	10	10,00	0,01
10	10,00	0,01	20	20,00	0,08	20	20,00	0,07	20	20,00	0,06
15	15,00	0,04	30	30,00	0,26	30	30,00	0,22	30	30,00	0,20
20	20,00	0,10	40	39,99	0,62	40	39,99	0,53	40	40,00	0,46
25	23,00	0,19	50	49,97	1,22	50	49,92	1,04	50	49,99	0,90
30	30,00	0,31	60	59,94	2,10	60	59,95	1,80	60	59,96	1,56
35	34,99	0,51	70	69,85	3,34	70	69,90	2,86	70	69,92	2,47
40	39,99	0,79	80	79,72	4,98	80	79,80	4,26	80	79,85	3,68
45	44,98	1,12	90	89,49	7,07	90	89,64	6,06	90	89,72	5,25
50	49,96	1,54	95	94,34	8,32	100	99,38	8,29	100	99,53	7,20
55'	VI,01	2,05							105	104,40	8,32
60	59,89	2,67									
65	64,84	3,38									
70	69,77	4,22									
75	74,67	5,19									
80	79,55	6,29									
85	84,39	7,54									
90	89,19	8,94									
$\beta = 17^{\circ}11'$ $X_0 = 44,88$ м $Y_0 = 152,36$ м			$\beta = 15^{\circ}07'$ $X_0 = 47,40$ м $Y_0 = 182,09$ м			$\beta = 14^{\circ}19'$ $X_0 = 49,92$ м $Y_0 = 202,07$ м			$\beta = 13^{\circ}40'$ $X_0 = 52,41$ м $Y_0 = 222,09$ м		

Продолжение таблицы П.2

R = 250 м, L = 110 м			R = 270 м, L = 115 м			R = 300 м, L = 120 м			R = 330 м, L = 125 м		
l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10,00	0,01	10	10,00	0,01	10	10,00	0,01	10	10,00	0,00
20	20,00	0,05	20	20,00	0,04	20	20,00	0,04	20	20,00	0,03
30	30,00	0,16	30	30,00	0,14	30	30,00	0,12	30	30,00	0,11
40	40,00	0,39	40	40,00	0,34	40	40,00	0,30	40	40,00	0,26
50	49,99	0,76	50	49,99	0,67	50	49,99	0,58	50	50,00	0,50
60	59,97	1,31	60	59,98	1,16	60	59,98	1,00	60	59,99	0,87
70	69,94	2,08	70	69,96	1,84	70	69,97	1,59	70	69,98	1,39
80	79,89	3,10	80	79,92	2,75	80	79,94	2,37	80	79,95	2,07
90	89,80	4,41	90	89,85	3,91	90	89,89	3,38	90	89,91	2,94
100	99,67	6,04	100	99,74	5,36	100	99,81	4,62	100	99,85	4,04
110	109,47	8,04	110	109,52	7,12	110	109,69	6,15	110	109,76	5,37
			115	114,48	8,13	120	119,52	7,98	120	119,63	6,96
									125	124,55	7,87
$\beta = 12^{\circ}37'$ $X_0 = 54,89$ м $Y_0 = 252,02$ м			$\beta = 12^{\circ}12'$ $X_0 = 57,43$ м $Y_0 = 272,03$ м			$\beta = 11^{\circ}28'$ $X_0 = 59,91$ м $Y_0 = 302,01$ м Y_0			$\beta = 10^{\circ}51'$ $X_0 = 62,44$ м $Y_0 = 331,96$ м Y_0		

Продолжение таблицы П.2

R = 350 м, L = 130 м			R = 400 м, L = 135 м		
l, м	x, м	y, м	l, м	x, м	y, м
0	0	0	0	0	0
10	10,00	0,00	10	10,00	0,00
20	20,00	0,03	20	20,00	0,02
30	30,00	0,10	30	30,00	0,08
40	40,00	0,23	40	40,00	0,20
50	50,00	0,46	50	50,00	0,39
60	59,99	0,79	60	59,99	0,67
70	69,98	1,26	70	69,99	1,06
80	79,96	1,88	80	79,97	1,58
90	89,93	2,67	90	89,95	2,25
100	99,88	3,66	100	99,91	3,09
110	109,81	4,87	110	109,86	4,11
120	119,70	6,32	120	119,79	5,32
130	129,55	8,03	130	129,68	6,77
			135	134,62	7,57
$\beta = 12^{\circ}37'$ $X_0 = 54,89$ м $Y_0 = 252,02$ м			$\beta = 12^{\circ}37'$ $X_0 = 54,89$ м $Y_0 = 252,02$ м		



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Система управления качеством обслуживания транспортных развязок ФРГ [2] (по данным С. Давыдова)

В настоящее время в России проектирование транспортных развязок и отдельных съездов в частности регламентируется существующими нормами на проектирование дорог [1], а также некоторыми рекомендациями [2, 3]. Однако в России до сих пор отсутствует руководства для задания и определения уровней обслуживания (LOS – Level of Service) транспортных сооружений. Уровень обслуживания показывает безопасность, комфортность, свободу и скорость движения (время в пути) водителя.

Проверка обеспечения пропускной способности все чаще производится методами имитационного моделирования в наглядном интерактивном виде, но остальные показатели оцениваются на основе устаревших отечественных норм.

Используемые нормы

Для задания необходимого уровня обслуживания, а также для оценки уровня обслуживания существующего или же проектного решения в Германии используются два документа. Это, соответственно, Нормы для интегрированного планирования транспортных сетей (RIN 2008) и Руководство для оценки дорожных инженерных сооружений (HBS 2001).

Уровень обслуживания

Всего существует 6 уровней обслуживания

Таблица П.3 – Уровни обслуживания транспортной развязки

Уровень обслуживания	Описание	Характеристика для дорог
A	Очень хороший уровень обслуживания	На участника движения очень редко влияют другие участники движения. Участники движения имеют желаемую свободу действия. Транспортный поток свободен.
B	Хороший уровень обслуживания	Присутствие других участников движения заметно, но только некоторые участники движения влияют друг на друга. Транспортный поток близок к свободному.
C	Удовлетворительный уровень обслуживания	Возможности часто зависят от поведения остальных участников движения. Свобода движения ограничена. Состояние транспортного потока стабильно.
D	Достаточный уровень обслуживания	Транспортный поток характеризуется высокой нагрузкой, который приводит к значительным нарушениям свободы движения участников движения. Очень часто происходит взаимодействие между участниками движения. Состояние транспортного потока все еще стабильно.
E	Недостаточный уровень обслуживания	Возникают постоянные двухсторонние препятствия для движения между участниками движения. Свобода в движении сильно ограничена. Незначительные перестроения могут привести к остановкам транспортного потока. Состояние транспортного потока колеблется между стабильным и нестабильным. Интенсивность достигает уровня пропускной способности.
F	Критический уровень обслуживания	Транспортный спрос выше пропускной способности. Транспортное сооружение перегружено.

Оценка уровня обслуживания на участке производится по двум критериям:

1. Затраты времени на преодоление участка. Для автомобильных дорог существенным является скорость по воздушной (прямой) линии между началом и концом участка, рассчитанная как отношение воздушного расстояния [км] к общему времени в пути [час] (рис.П.8.).

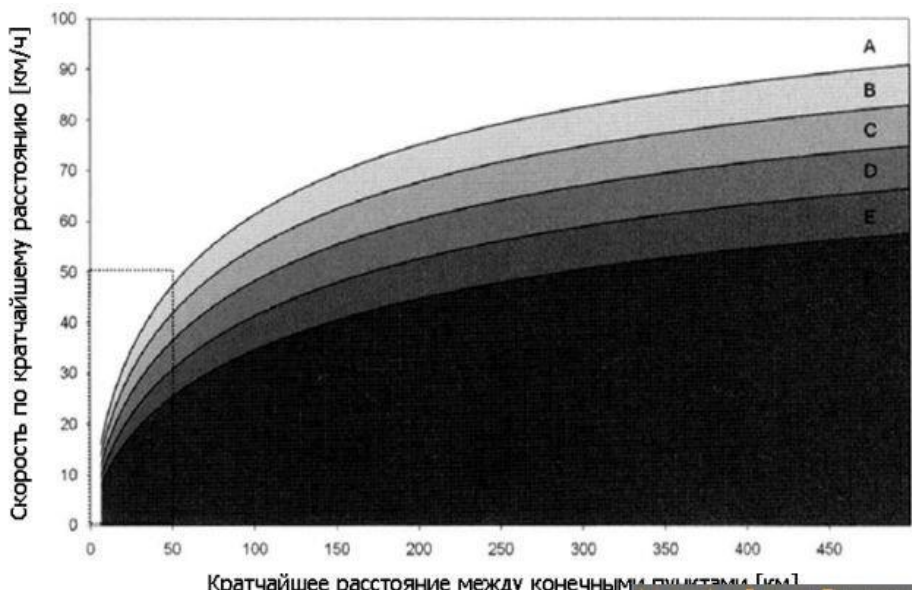


Рис. П.8 – Уровень обслуживания в зависимости от воздушного расстояния и от скорости по воздушной линии

2. Прямолинейность. Для автомобильных дорог измеряется фактор кривизны, рассчитанный как отношение общей длины дороги к воздушному расстоянию. Фактор кривизны тем важнее, чем больше расстояние между конечными пунктами и чем выше важность связи (рис. П.9.).

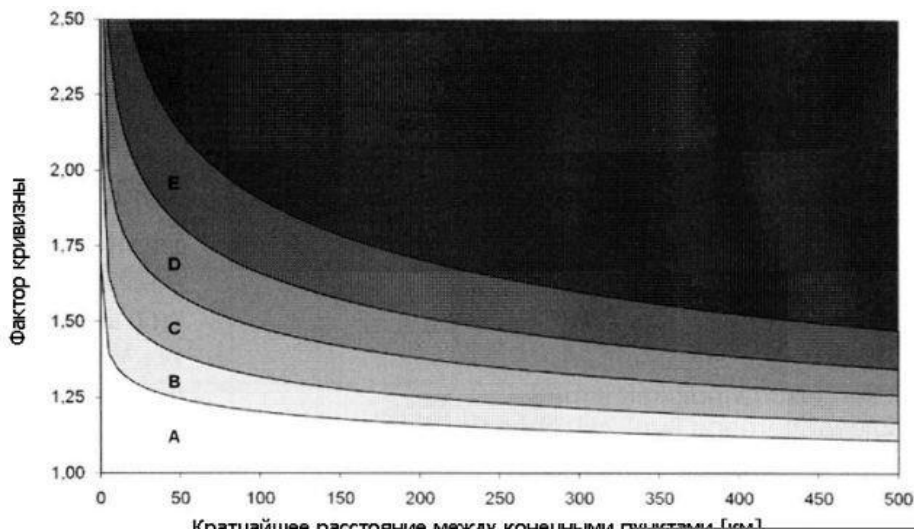


Рис.П.9 – Уровень обслуживания в зависимости от воз-душного расстояния и от фактора кривизны дороги

Уровни обслуживания на стадии планирования автодорожной сети задаются для связей между конечными пунктами, например, между крупными городами. Уровень обслуживания на транспортных развязках должен соответствовать уровню обслуживания, задаваемого для связи, на которой расположена эта транспортная развязка. Пересечение может оказывать сильное влияние на пропускную способность и на качество транспортного движения участка дороги. Поэтому важно, чтобы уровень обслуживания на пересечении был не ниже уровня обслуживания на дороге. В то же время уровень обслуживания выше, чем на дороге приводит только к избыточным расходам на строительство и содержание.

Проверка уровня обслуживания на транспортной развязке

Описываемый метод применяется только к пересечениям в разных уровнях на автобанах или аналогичных дорогах.

В общем виде оценка транспортной развязки производится по следующему алгоритму:

1. Выбор принципиальной формы транспортной развязки, определение положения съездов, а также задание скоростей движения
2. Расчет интенсивностей транспортных потоков по

направлениям, включая процент тяжелого транспорта

3. Выделение отдельных частей транспортной развязки (выезд, участок переплетения потоков, въезд)

4. Подразделение частей транспортной развязки по стандартным типам, включая назначение количества полос движения в нужных сечениях

5. Задание требуемого уровня обслуживания по указанию заказчика, а также в соответствии с примыкающим к транспортной развязке автобанам

6. Перерасчет интенсивностей движения в пределах транспортной развязки в приведенных автомобилях в час

7. Определение достигаемого уровня обслуживания для каждой части транспортной развязки (выезд, участок переплетения потоков, въезд)

8. Определение достигаемого уровня обслуживания для каждого сечения, находящегося за определенной частью транспортной развязки

9. Комплексная оценка транспортной развязки в разных уровнях.

При необходимости производится поправка принципиальной формы транспортной развязки и новая оценка, начиная с п.1.

На транспортных развязках в разных уровнях без пересечения потоков встречаются конфликты между различными транспортными потоками в виде разделения, переплетения и объединения. Следовательно, данное пересечение состоит из трех частей (рис. П.10):

- Выезд (1, 2) – разделение потоков
- Участок переплетения потоков (3)
- Въезд (4, 5) – объединение потоков

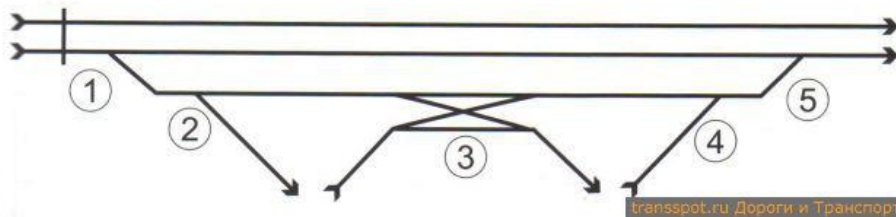


Рис. П.10 – Расчетная схема одного направления транспортной развязки с отображением количества полос для движения



Уровень обслуживания проверяется для всех трех частей транспортной развязки. При этом важно оценить насколько транспортное движение на всем пересечении соответствует требуемому уровню обслуживания. Для всей транспортной развязки принимается наименьшее из полученных значений.

Для учета грузового движения в пределах транспортных развязок транспортные потоки переводятся в приведенные автомобили в час [прив.авт/час]. Один грузовой автомобиль приравнивается к двум условным автомобилям. При выезде с главной дороги на транспортную развязку и на съезды интенсивность измеряется в физических автомобилях в час (физ.авт/час) с составом тяжелого транспорта в процентах.

В качестве измерительной величины для определения уровня обслуживания на транспортной развязке принимается коэффициент загрузки:

$$a = q_v / C$$

где a – коэффициент загрузки [-]
 q_v – измеренная интенсивность движения [физ.авт/час]
 C – пропускная способность [физ.авт/час]

В таблице П.4 приведена зависимость уровня обслуживания в зависимости от коэффициента загрузки.

Таблица П.4 – Уровень качества транспортного движения в зависимости от коэффициента загрузки

Уровень обслуживания	Коэффициент загрузки a [-]
A	менее 0,30
B	менее 0,55
C	менее 0,75
D	менее 0,90
E	менее 1
F	—

Транспортное движение на выезде

Выезды на транспортных развязках бывают нескольких типов (рис. П.11):

A1 – выезд на однополосный съезд с помощью однополосной переходно-скоростной полосы

A2 – выезд на двухполосный съезд с помощью однополос-



ной переходно-скоростной полосы и крайней правой полосы на главной дороге

A3 — выезд на двухполосный съезд с помощью двухполосной переходно-скоростной полосы

A4 — выезд на двухполосный съезд с помощью однополосной переходно-скоростной полосы, количество полос на главной дороге уменьшается.

Уровень обслуживания выезда как части транспортной развязки определяется на основе пропускной способности в следующих критических сечениях (рис П.12):

- максимальный выезжающий транспортный поток (q_m)
- пропускная способность съезда вслед за выездом (q_A)
- пропускная способность главной дороги вслед за выездом ($q_{ну}$) (рассчитывается только при уменьшении количества полос на главной дороге – тип А4)

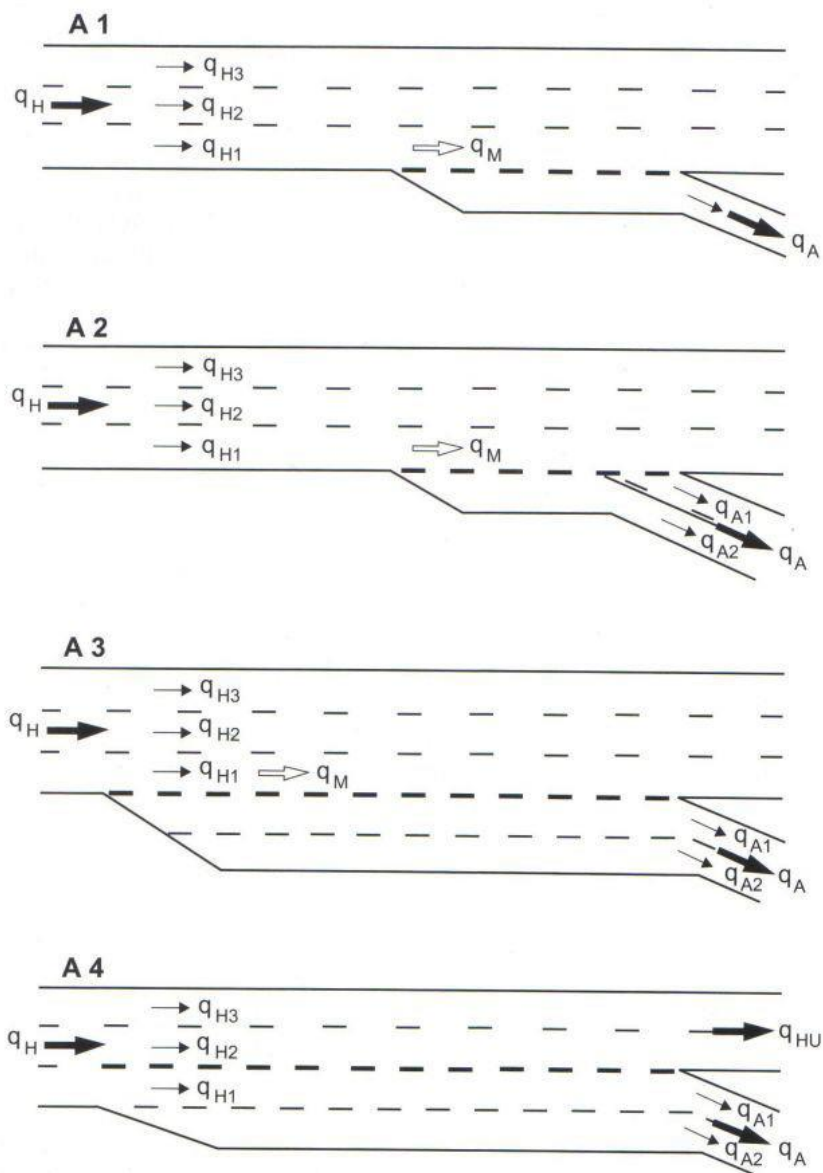


Рис. П.11 – Типы выездов (схематично) и обозначение транспортных потоков

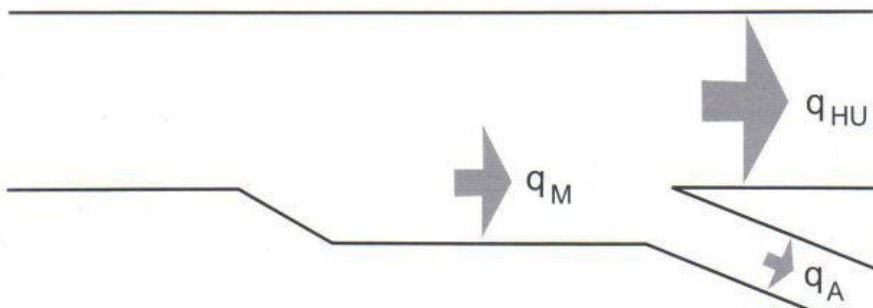


Рис. П.12 – Критические сечения для расчета выезда

Требуемый уровень обслуживания достигается только тогда, когда во всех трех сечениях оно обеспечивается.

При расчете уровня обслуживания в подавляющем большинстве случаев определяющим является не максимальный выезжающий транспортный поток (q_M), а пропускная способность съезда вслед за выездом (q_A).

Пропускная способность однополосного съезда в типе А1 составляет 1500 физ.авт/час. Для двухполосных съездов (А2 – А4) пропускная способность съездов зависит от способа отведения транспортных потоков. На съезде в типе А2, исключительно при понятной расстановке указателей, достигается пропускная способность 2550 физ.авт/час. На съездах в типах А3 и А4 пропускная способность составляет 3000 физ.авт/час. Данные значения действительно только при содержании в транспортном потоке процента тяжелого транспорта в пределах 20%. В ином случае все значения уменьшаются на 10%.

На основе таблицы 2 и указанной выше пропускной способности съезда можно составить таблицу допустимых интенсивностей для уровней обслуживания в зависимости от типа выезда (Таблица П.5).

Таблица П.5 – Допустимые интенсивности на выезде для типов А1 – А4

Уровень обслуживания	Допустимые транспортные потоки на выезде [физ.авт/час]		
	Тип А1	Тип А2	Тип А3, тип А4
А	менее 450	менее 770	менее 900
В	менее 830	менее 1400	менее 1650
С	менее 1130	менее 1910	менее 2250
Д	менее 1350	менее 2300	менее 2700
Е	менее 1500	менее 2550	менее 3000
F	—	—	—

Пропускная способность главной дороги с двумя полосами для движения после выезда ($q_{нв}$, которая учитывается только в типе выезда А4) в зависимости от состава транспортного потока колеблется от 3200 физ.авт/час при части грузовых автомобилей 20% до 3600 физ.авт/час при части грузовых автомобилей 0%. Для расчета интенсивности транспортных потоков, оставшихся на главной дороге ($q_{нв}$), из интенсивности до выезда вычитают интенсивность выезжающего транспортного потока. По приведенной ниже таблице П.6 определяют уровень обслуживания для двухполосной проезжей части главной дороги после выезда.

Таблица П.6 – Допустимые интенсивности на двухполосной главной дороге без ограничения скорости вне застроенной территории

Уровень обслуживания	Допустимые интенсивности движения [физ.авт/час] в зависимости от части грузового движения	
	0%	20%
А	менее 1080	менее 960
В	менее 1980	менее 1760
С	менее 2700	менее 2400
Д	менее 3240	менее 2880
Е	менее 3600	менее 3200
F	—	—

Транспортное движение на участке переплетения потоков

Участки переплетения потоков на транспортных развязках бывают нескольких типов (рис. П.13):

VR1 – на однополосном отделенном от главной дороги проезде

V1 – на двух- (или более) полосном участке главной дороги

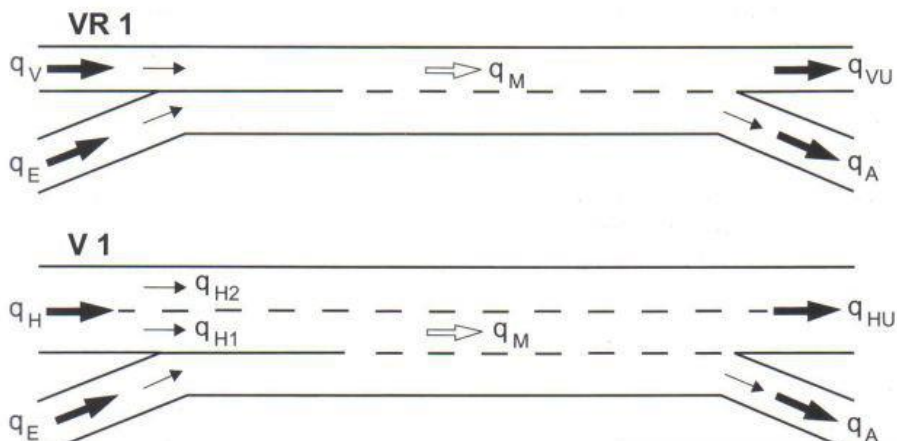


Рис. П.13 – Типы участков переплетения потоков (схематично) и обозначение транспортных потоков

Уровень обслуживания участков переплетения потоков определяется на основе трех критических сечений (рис. П.13):

— максимальный переплетающийся транспортный поток (q_M)

— пропускная способность съезда вслед за участком переплетения потока (q_A)

— пропускная способность проезда (VR1) или главной дороги (V1) вслед за участком переплетения потоков (соответственно q_{VU} или q_{HU})

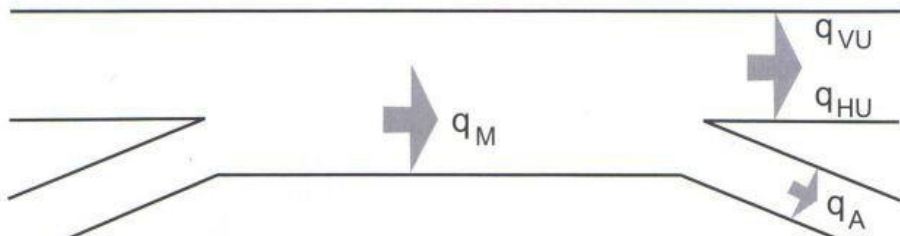


Рис. П.14 – Критические сечения для расчета участка переплетения потоков

Требуемый уровень обслуживания достигается только тогда, когда во всех трех сечениях оно обеспечивается.

При переплетении транспортных потоков по типу VR1 (участок переплетения на отдельном проезде) максимальная пропускная способность – 2300 прив.авт/час, а по типу V1 (участок переплетения на главной дороге) – 2200 прив.авт/час.

Для определения уровня обслуживания в области переплетения потоков используют диаграммы (рис. П.15). На данных диаграммах уровень обслуживания определяется в зависимости от интенсивности двух потоков, въезжающих в область переплетения потоков.



Рис. П.15 – Уровни обслуживания для участка переплетения потоков типа VR1 в зависимости от входящих интенсивностей q_E и q_V

При расположении участка переплетения потоков на отдельном от главной дороги проезде (VR1) рассмотрение интенсивностей на съездах после участка переплетения потоков (q_{VII} и q_A) не требуется, так как в подавляющем большинстве они не сильно отличаются от въезжающих интенсивностей.

При расположении участка переплетения потоков на главной (V1) дороге требуется дополнительное сравнение интенсивностей выезжающих с участка переплетения потоков с пропускными способностями главной дороги (q_{HI}) и съезда (q_A). Данное сравнение производится по аналогии с участками выезда с главной дороги.

Транспортное движение на участке въезда

Въезды на транспортных развязках бывают нескольких типов (рис. П.16):

- E1 – Присоединение однополосного съезда
- E2 – Присоединение двухполосного съезда с предварительным уменьшением числа полос до одной

Е3 – Присоединение однополосного съезда с увеличением количества полос на главной дороге

Е4 – Присоединение двухполосного съезда

Е5 – Присоединение двухполосного съезда с увеличением количества полос на главной дороге на одну

Уровень обслуживания определяется на основе двух критических сечений (рис. П.16):

— Максимальный въезжающий транспортный поток (q_m)

— Пропускная способность главной дороги вслед за областью въезда ($q_{ну}$)

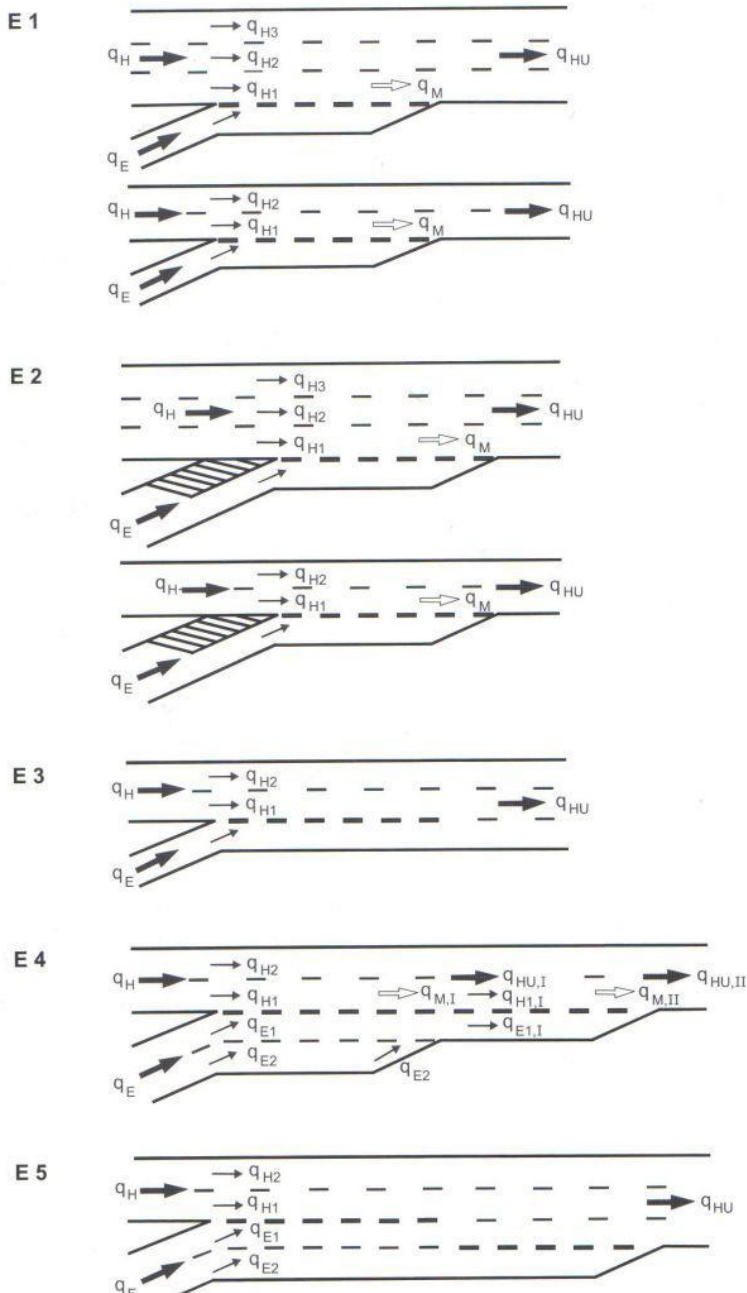


Рис. П.15 – Типы въездов (схематично) и обозначение транспортных потоков

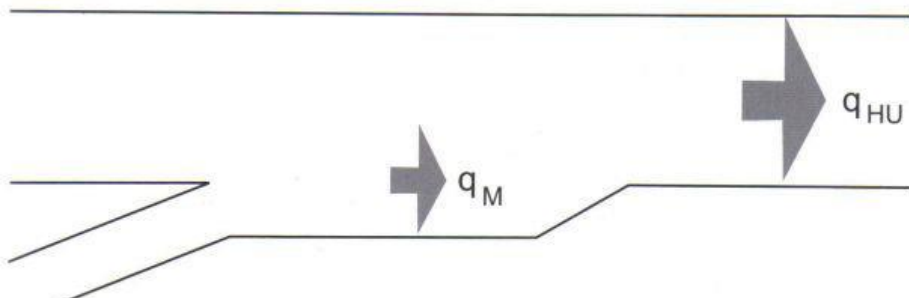


Рис. П.16 – Критические сечения для расчета въезда

Максимальная пропускная способность для въезжающих транспортных потоков составляет 2200 прив.авт/час. Для расчета полученных интенсивностей движения в этом сечении суммируют въезжающие транспортные потоки с потоками в крайней правой полосе.

На практике для определения качества транспортного движения в сечении $q_{\text{используют}}$ графики (рис. П.17). В данных графиках указана зависимость качества от въезжающих транспортных потоков и транспортных потоков на главной дороге.

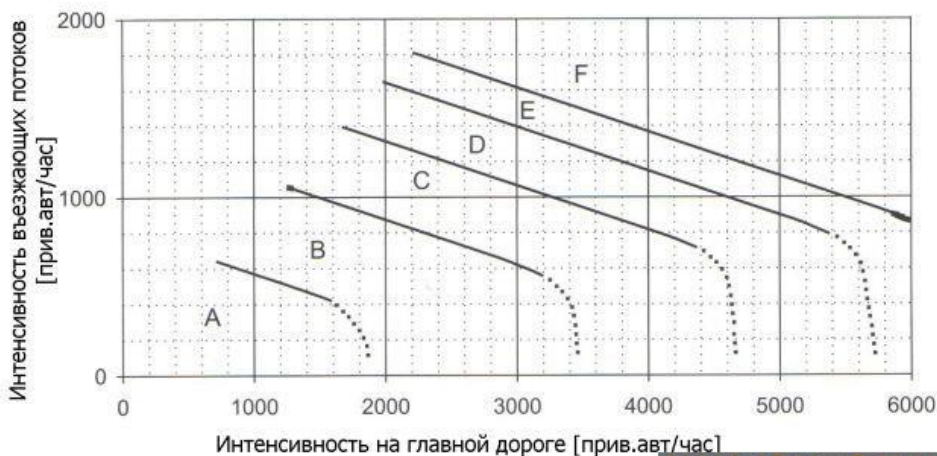


Рис. П.17 – Уровни обслуживания для въезда типа E1 и E2 в зависимости от транспортных потоков на главной дороге с тремя полосами для движения (qH) и съезде (qE)

Уровень качества движения на главной дороге после въезда (q_{H1}) определяется по аналогии с участком выезда в варианте A4.

Комплексная оценка транспортной развязки

Приведенный выше анализ отдельных частей транспортной развязки объединяется в рамках одного направления по главной дороге, и определяется минимальное значение уровня обслуживания. Это значение и является уровнем обслуживания для всей транспортной развязки в заданном направлении.

В случае если требуемого уровня обслуживания не достигается, производятся мероприятия по повышению уровня обслуживания соответствующих частей транспортной развязки. Это может быть, например, увеличение количества полос на съезде, разделение одного въезда на две части или устройство полупрямоуголевоповоротного съезда.

Заключение

1. Уровни обслуживания целесообразно использовать в отечественной практике проектирования для получения более четкого и структурированного понимания работы транспортного сооружения, как изолировано, так и в сети в целом. Следует отметить, что данная оценка не входит в противоречие с отечественными нормами проектирования, а лишь дополняет их.

2. Для оценки уровня обслуживания транспортного

сооружения можно использовать инструменты для имитационного моделирования транспортных потоков, в частности PTV Vision VISSIM (рис. П.18). Однако необходимо сказать, что в большей степени PTV Vision VISSIM подходит для оценки движения на уровне автомобиля, а не на уровне потоков, как того требует методика оценки уровня обслуживания. В большей степени для расчета уровня обслуживания подходят специализированные программы, например, WEAVING.

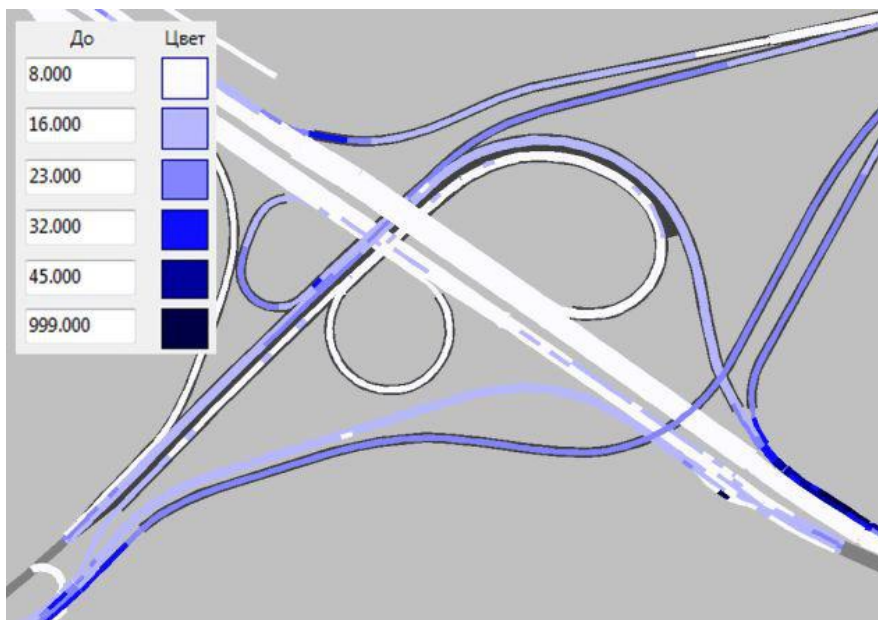


Рис. П.18 – Плотность движения на транспортной развязке [физ.авт/км] в соответствии с уровнями обслуживания от А до F в PTV Vision VISSIM