

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
«Политехнический институт»
Кафедра «Транспорта»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Совершенствование организации дорожного
движения через перекрёстки

23.04.01 – Технология транспортных процессов

23.04.01.01 – Организация перевозок и управление на автомобильном
транспорте

Руководитель _____ к.т.н., доцент А.И. Фадеев
Выпускник _____ В.В. Укадеров
Рецензент _____ нач. отд ТПиМ А.А. Тарских,
МКУ «Управление капитального строительства»

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
«Политехнический институт»
Кафедра «Транспорта»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

« ____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту: Укадерову Виталию Владимировичу

Группа: ФТ20-05М Направление (специальность): 23.04.01. «Технология транспортных процессов»

Тема выпускной квалификационной работы: «Совершенствование организации дорожного движения через перекрёстки»

Утверждено приказом по университету №16955/с от 11.02.2020

Руководитель ВКР: Александр Иванович Фадеев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт»

Перечень разделов ВКР:

1 Современное состояние вопроса проектирования перекрестков в одном уровне;

2 Теоретические основы определения пропускной способности узлов УДС в одном уровне

3 Методика оценки пропускной способности узлов УДС в одном уровне.

4 Применение представленной методики на моделях пресечений в AIMSUN NEXT

Перечень графического материала: Приложение А «Презентационный материал»

Руководитель ВКР

А.И. Фадеев

Задание принял к исполнению

В.В. Укадеров

«___» _____ 2022

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Влияние на безопасность дорожного движения и пропускную способность УДС остановочных пунктов общественного транспорта» содержит 80 страниц текстового документа, 35 иллюстраций, 1 таблиц, 1 приложение, 20 использованных источников, листов презентационного материала.

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ, БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ, КОЛЬЦЕВОЕ АИМСUN NEXT, ПЕРЕСЕЧЕНИЕ, Х-ОБРАЗНОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ, ПЕРЕКРЕСТОК, ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ, ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, ПРОГРАММЫ ИММИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, СВЕТОФОРНЫЙ ЦИКЛ.

В разделе «Современное состояние вопроса проектирования перекрестков в одном уровне», представлен литературный обзор вопроса проектирования одноуровневых пересечений, проведен анализ аналитических методов расчета пропускной способности пересечения HCM-2000, представлен расчет элементов светофорного цикла.

В разделе «Теоретические основы определения пропускной способности узлов УДС в одном уровне» проведен анализ методов имитационного моделирования, представлена классификация пересечений в зависимости от величины интенсивности левого поворота.

В разделе «Методика оценки пропускной способности узлов УДС в одном уровне» представлена методика создания модели и расчета светофорного цикла.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Современное состояние вопроса проектирования перекрестков в одном уровне.....	8
1.1. Классификация пересечений в одном уровне.....	8
1.2 Т-образные и Х-образные перекрёстки.....	9
1.3 Перекрёстки с круговым движением.....	14
1.4 Рекомендации проектирования пересечений в одном уровне.....	18
1.4.1 Проектирование пересечений в одном уровне.....	18
1.4.2 Кольцевые пресечения.....	23
1.5 Методика расчета элементов светофорного цикла.....	33
1.6 Методы расчета пропускной способности в одном уровне.....	37
2 Теоретические основы определения пропускной способности узлов УДС в одном уровне.....	43
2.1. Имитационное моделирование транспортных потоков.....	43
2.2 Методика определения пропускной способности.....	52
2.3 Пакеты прикладных программ моделирования транспортных потоков.....	54
3 Методика оценки пропускной способности узлов УДС в одном уровне	57
3.1 Построение модели.....	57
4 Применение представленной методики на моделях пресечений в AIMSUN NEXT.....	62
4.1 Расчет элементов светофорного цикла.....	63
4.2 Результаты моделирования пресечений.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
Список использованных источников.....	79
Приложение А Презентационный материал.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Организация и безопасность дорожного движения играют важную роль в системе жизнедеятельности человека. От взаимодействия различных элементов системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС) зависит развитие той или иной дорожно-транспортной ситуации и эффективность работы этих составляющих в отдельности.

Разработка методик выбора типа пресечения осуществляется на основе анализа современных научных публикаций направленных на повышение безопасности дорожного движения.

Актуальность темы

1 Одноуровневые пресечения в Российской Федерации представлены нескольких видов, а именно кольцевые, регулируемые и нерегулируемы. Поэтому актуальна проблема выбора наиболее эффективного варианта организации дорожного движения. В различных странах ученые используют далеко не одинаковые методы выбора организации транспортных потоков, поскольку общего, универсального решения этой проблемы не существует.

2 Развитие автомобильного транспорта приводят к проблемам, связанным с чрезмерным сосредоточением автомобилей на отдельных участках дорожной сети, с перенапряжением движения, вследствие чего преимущества от использования автомобильного транспорта значительно уменьшаются.

Цель работы

Совершенствование организации движения через перекрестки посредством разработки методики выбора пересечения в одном уровне.

Задачи

1. Анализ современного состояния вопроса проектирования перекрестков в одном уровне.

2. Создание классификации пресечений и определение факторов, влияющих на пропускную способность.

3. Разработка методики определения предельной пропускной способности пересечения в разных условиях движения.

4. Формирование рекомендаций по выбору пресечений.

Предмет исследования

Пересечения дорог в одном уровне на улично-дорожной сети.

Объект исследования

Факторы, влияющие на пропускную способность одноуровневого пересечения.

1 Современное состояние вопроса проектирования перекрестков в одном уровне

1.1. Классификация пересечений в одном уровне

Пересечения автомобильных дорог в одном уровне – это наиболее опасные участки дорог. Здесь сосредотачиваются дорожно-транспортные происшествия, наблюдается снижение скорости движения автомобилей и значительно уменьшается пропускная способность. Анализ статистических данных аварийности показывает, что на пересечениях в одном уровне концентрируется около 18 % всех дорожно-транспортных происшествий, регистрируемых на автомобильных дорогах. Кардинальный способ обеспечить требования безопасности движения на пересечениях автомобильных дорог – это устройство пересечения в разных уровнях (устройство транспортных развязок). Однако их строительство связано с большими затратами, и экономически они эффективны только при высоких интенсивностях движения. В связи с этим в настоящее время перед проектировщиками остро стоит вопрос поиска иных решений для обеспечения безопасного проезда на пересечениях в одном уровне. Одним из вариантов решения этой проблемы является разработка и применение новых планировочных решений на пересечениях в одном уровне, обеспечивающих снижение аварийности и повышение пропускной способности

По очередности движения перекрестки бывают двух типов: регулируемые и нерегулируемые.

Регулируемые перекрестки оснащены дорожными знаками, светофорами или на них присутствует регулировщик. Все остальные перекрестки, принято называть нерегулируемыми, в том числе перекрестки, на которых мигает желтый сигнал светофора (в случае, когда на нем не установлены дорожные знаки).

В справочнике по безопасности дорожного движения [12] приведена следующая классификация. Все перекрёстки разделяются на 2 больших группы Х-образные и Т-образные, они же в свою очередь делятся на несколько групп, а именно кольцевые, разделённые и перекрёстки с пересечением дорог под разными углами.

Общая классификация представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Общая классификация одноуровневых пересечений

	Т-образный перекресток	Х-образный перекресток
Под разными углами	Угол меньше 90 градусов	
	Угол 90 градусов	
	Угол больше 90 градусов	
Разделение	Разделение встречных потоков на два перекрёстка	Разделение на два Т-образных перекрёстка
Круговой	Кольцо с тремя примыкающими дорогами	Кольцо с четырьмя примыкающими дорогами

Данная классификация позволяет разделить перекрёстки по разным классам. Рассмотрим элементы классификации.

1.2 Т-образные и Х-образные перекрёстки

Т-образный перекресток – это разновидность, или частный случай обычных перекрестков, где происходит слияние двух дорог, т.е. одна дорога «вливается» под углом в другую дорогу.

ПДД не выделяют т-образные перекрестки в отдельную категорию. Поэтому правила проезда т-образных перекрестков ничем не отличаются от общих правил проезда перекрестков. Если перекресток регулируется – въезд и выезд осуществляются согласно правилам проезда регулируемых перекрестков. Если перекресток не регулируется, то движение, соответственно, подчиняется правилам проезда нерегулируемых перекрестков.

Данный вид перекрёстков изображён на рисунке 1.1.

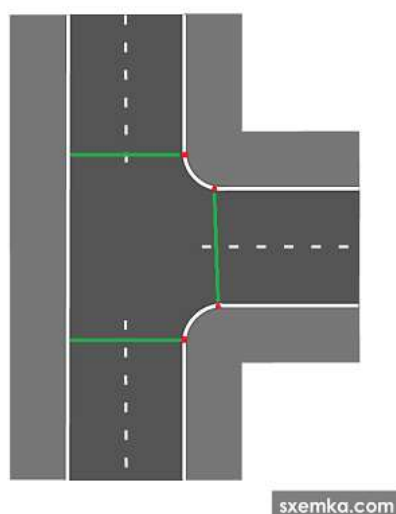
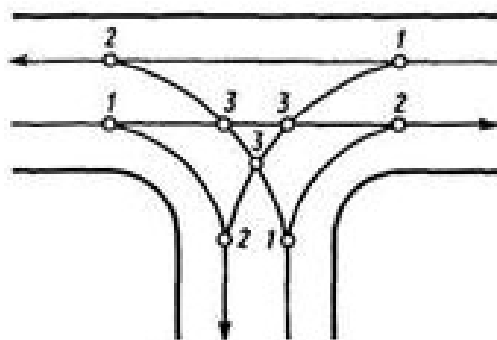


Рисунок 1.1 – Схема Т-образного перекрёстка

Данный перекрёсток имеет возможность установки светофоров, пешеходных переходов, а также при необходимости правоповоротных ответвлений для разгрузки перекрестка и сокращения задержек на нем.

Обычно применяется в городах с «комбинированной» и «произвольной» застройкой.

Из преимуществ данного перекрестка можно выделить относительно не высокое число конфликтных точек между потоками транспортных средств (рисунок 1.2). Также к преимуществам можно отнести небольшую площадь размещения данного перекрёстка.



- 1 – точка отклонения
- 2 – точка слияния
- 3 – точка пересечения

Рисунок 1.2 – Конфликтные точки на Т-образном перекрёстке

К недостаткам данного пересечения можно отнести относительно низкую пропускную способность данного пересечения.

X-образные перекрестки представляют собой пересечение четырех дорог. Такие перекрестки одни из самых распространённых видов в городах с «прямоугольной» и «комбинированной» планировкой.

Схема X-образного перекрестка изображена на рисунке 1.3.

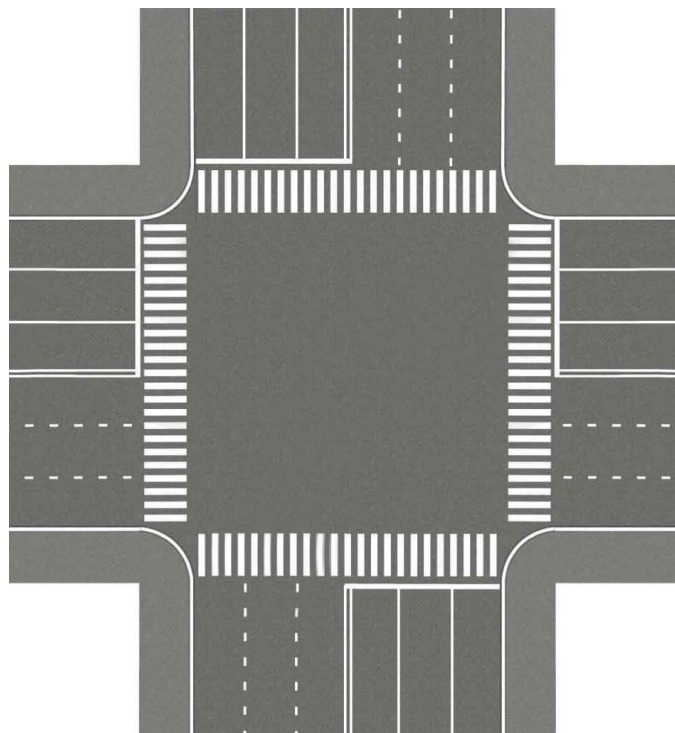


Рисунок 1.3 – Схема X-образного перекрестка

Данный перекресток имеет возможность установки светофоров, пешеходных переходов, а также при необходимости правоповоротных ответвлений для разгрузки перекрестка и сокращения задержек на нем.

Из преимуществ данного перекрестка можно выделить относительно высокое число конфликтных точек между потоками транспортных средств (рисунок 1.4). Также к преимуществам можно отнести небольшую площадь размещения данного перекрестка.

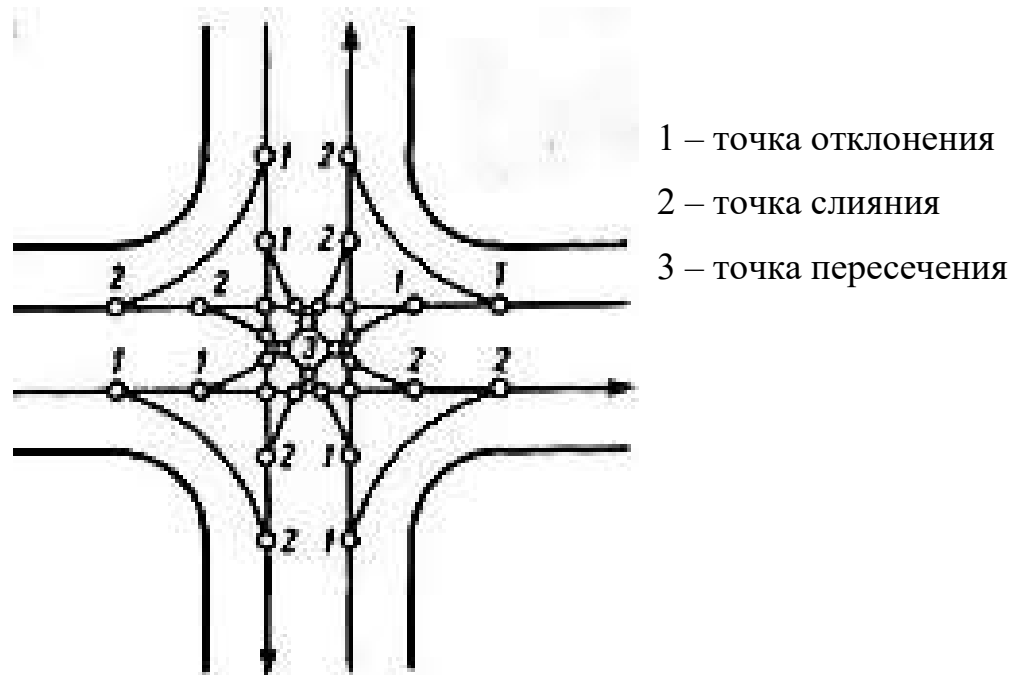


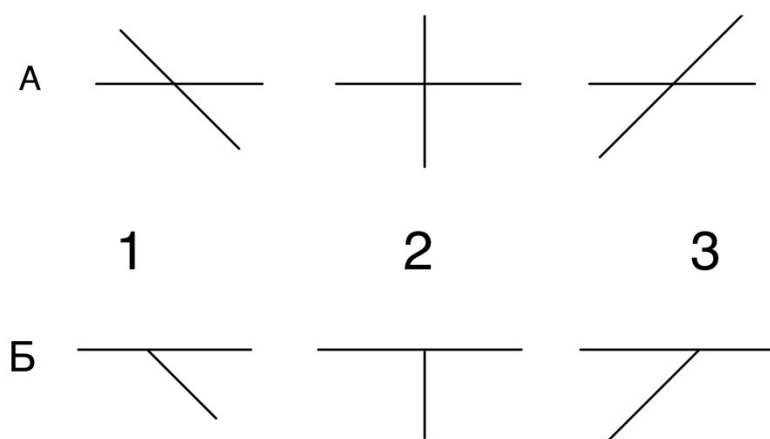
Рисунок 1.4 – Конфликтные точки на X-образном перекрёстке

К недостаткам можно отнести большие задержки и очереди перед светофором, при высоком числе транспортных средств в потоках из-за светофорного регулирования.

По углу пересечения различают три вида перекрёстков:

- угол пересечения меньше 90 градусов
- угол пересечения 90 градусов
- угол пересечения больше 90 градусов

На рисунке 1.6 представлено изображение данных перекрёстков



А – X-образные перекрёстки

Б – Т-образные перекрёстки

1 – пересечение под углом менее 90 градусов

2 – пересечение под углом 90 градусов

3 – пересечение под углом более 90 градусов

Рисунок 1.5 – Графическое изображение перекрёстков с разными углами пересечения

Данный вид пересечения чаще всего применяется при «радиально-кольцевой», «лучевой» и «произвольной» планировки города.

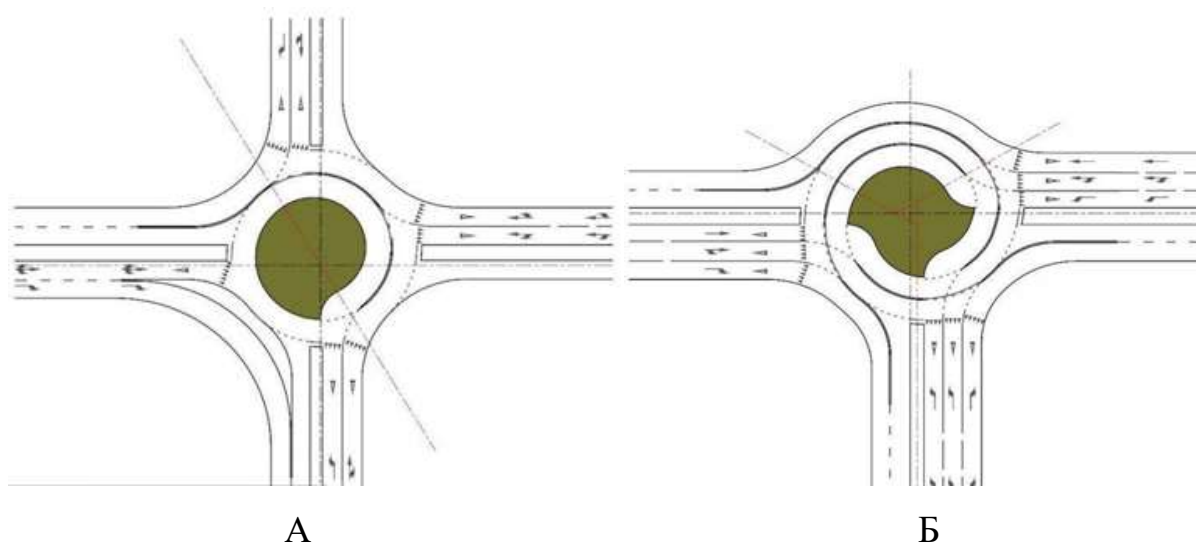
Достоинства данного вида перекрёстков не выделяются относительно других.

К недостаткам перекрёстков с углами отличными от 90 градусов можно отнести более низкий уровень безопасности, согласно исследования приведённым в справочнике по БДД[12], пересечения под углом 90 градусов имеют наименьшее количество происшествий с травматизмом относительно других видов пересечения в данном классе. Количество происшествий с материальным ущербом наоборот выше. Однако результаты этих исследований недостаточно обоснованы.

1.3 Перекрёстки с круговым движением

Круговые перекрестки, в значительной степени облегчают транспортную развязку за счет наличия круга, располагающегося в области пересечения. Как показывает многолетняя практика, количество аварий на подобных перекрестках значительно меньше по сравнению с другими.

Подобные пересечения бывают как X-образные, так и T-образные. На рисунке 1.6 изображены схемы кругового движения.



А – Кольцевое X-образное пресечение

Б – Кольцевое T-образное пресечение

Рисунок 1.6 – Виды кольцевого пересечения

Круговой перекрёсток или кольцевое пересечение — это перекрёсток, где приближающиеся транспортные средства замедляются и начинают круговое движение вокруг центрального «острова» в направлении против часовой стрелки на дорогах с правосторонним движением либо по часовой стрелке на дорогах с левосторонним движением, до выезда на одном из поворотов (ответвлений) с кругового перекрёстка.

Такой перекрёсток обычно не оборудован светофорами и является нерегулируемым. В этом случае приоритет движения транспортных средств

может определяться установленными дорожными знаками и/или дорожной разметкой, а также другими правилами проезда перекрёстков.

Данный вид пересечения обычно проектируется на пересечениях с высоким уровнем интенсивности транспортных потоков.

К достоинствам можно отнести уменьшенные очереди на перекрёсток, сниженное время задержки транспортных потоков, более низкий уровень травматизма при ДТП, т.к. скорости передвижения ниже чем на перегонах или других перекрёстках, а также отсутствие левых поворотов и конфликтных точек «пересечения».

Недостатки данного вида пересечений заключаются в больших площадях занимаемых кольцевым перекрёстком, относительно высокий переобег для автомобилей для левого поворота. Данное пересечение при высокой интенсивности потоков со всех направлений могут справляться с регулированием движения хуже, чем аналогичный Х-образное и Т-образное регулируемое пресечение.

Кольцевые пересечения могут функционировать при суммарной суточной интенсивности движения до 70 - 80 тыс. приведенных авт./сутки, соизмеримой с пропускной способностью транспортных развязок в разных уровнях.

- позволяют обеспечить наиболее безопасные и удобные условия движения на пересечении дорог, заключающиеся в существенном сокращении конфликтных точек и исключении конфликтных точек пересечения транспортных потоков;
- не требуют дополнительных расходов на светофорное регулирование движения;
- обеспечивается рассредоточение конфликтных точек, снижается скорость движения, слияние и разделения транспортных потоков осуществляется под небольшими углами переплетения, что в комплексе

способствует снижению аварийности и особенно тяжести дорожно-транспортных происшествий;

- не возникают большие потери времени из-за остановок на регулируемых пересечениях;
- схема движения на пересечении проста и понятна водителям;
- обеспечиваются лучшие условия движения для выполнения левых поворотов;
- капитальные затраты на устройство не велики;
- меньшее отрицательное воздействие на окружающую среду.

В то же время планировка и организация движения на кольцевых пересечениях могут быть причиной ухудшения ряда транспортно-эксплуатационных показателей:

- водители вынуждены снижать скорость даже в свободных условиях движения;
- при движении по кольцевому пересечению с большим центральным островком значителен перепробег автомобилей транзитного и особенно левоповоротного направлений;
- для устройства пересечения требуется большая площадь земли по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне;
- усложняется организация движения пешеходов и велосипедистов, возникают сложности с размещением пешеходных переходов.

Более высокий уровень обеспечения безопасности движения на кольцевых пересечениях обусловлен следующими факторами:

- меньшим количеством конфликтных точек (рисунок 1.7);
- отсутствием пересечений поворачивающих транспортных потоков;
- движением с пониженными скоростями и, особенно, с меньшим разбросом скоростей.

Существенное влияние на снижение и выравнивание скорости движения оказывают элементы планировки пересечения. Наименьший разброс скоростей движения (среднеквадратическое отклонение скоростей от средней) характерен для кольцевых пересечений с диаметром внешней кромки кольцевой проезжей части не более 25–30 м. Это влияние одинаково как для автомобилей главного, так и для второстепенных направлений. В целом для дороги кольцевое пересечение является «успокоителем» движения, требующим, проведения соответствующих мероприятий по плавному снижению скоростей движения на подходах к пересечению.

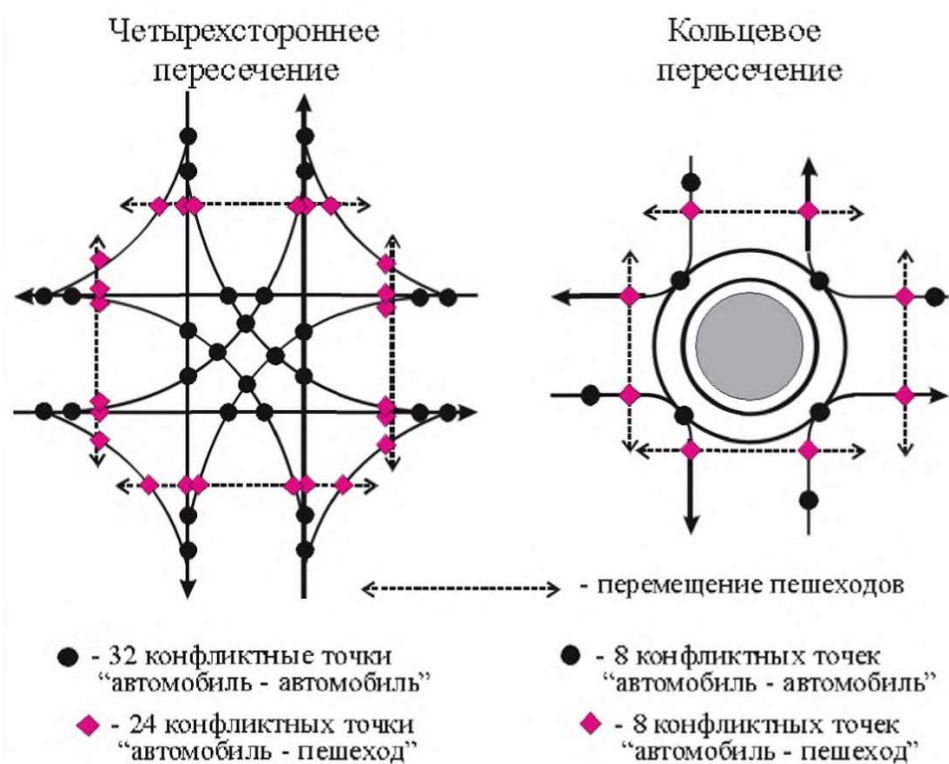


Рисунок 1.7 – Сравнение числа конфликтных точек на Х-образных перекрестках

Режим движения автомобилей на подходах и в зоне кольцевого пересечения в значительной степени зависит от размеров элементов пересечения. Главным в проектировании кольцевых пересечений является создание условий, способствующих выбору водителями оптимальных траекторий и скоростей движения

К основным задачам, решаемым в процессе проектирования кольцевых пересечений, относят:

- снижение скоростей движения транспортных потоков на подходах к кольцевому пересечению;
- обеспечение в пределах кольцевой проезжей части движения с невысокой скоростью;
- выравнивание скоростей транспортных потоков разных направлений в пределах кольцевой проезжей части;
- создание условий для удобного и безопасного выезда с кольцевой проезжей части;
- разработка мер по обеспечению безопасности движения пешеходов и велосипедистов.

1.4 Рекомендации проектирования пересечений в одном уровне

1.4.1 Проектирование пересечений в одном уровне

Основной задачей проектирования пересечений (перекрестка) улиц и дорог в одном уровне является организация пропуска транспорта и пешеходов по пересекающимся улицам и дорогам с наименьшими задержками и наибольшей безопасностью. Пропускная способность перекрестков и безопасность движения на них в значительной мере зависит от правильно принятых планировочных решений.

Пропускная способность перекрестков определяется пропускной способностью пересекающихся улиц, а их размеры - шириной входящих улиц.

В процессе проектирования пересечений в одном уровне необходимо:

- определить число полос движения и установить ширину проезжей части в пределах перекрестка;
- установить направление и ширину пешеходных переходов; определить зоны, не используемые транспортом, для размещения остановок

регулирования движения и безопасности; наметить остановочные пункты общественного транспорта на подходах к перекрестку;

- обеспечить видимость пути для водителей транспорта.

При проектировании пересечений в одном уровне необходимо решить ряд задач:

- определить пропускную способность пересечения, требуемое количество полос движения и ширину проезжей части в пределах пересечения;
- выбрать схемы осуществления правых и левых поворотов, в случае необходимости запроектировать дополнительные полосы (съезды) для осуществления правых и левых поворотов;
- определить зону видимости в пределах пересечения;
- запроектировать пешеходные переходы;
- определить "мертвые зоны", не используемые транспортом для размещения островков безопасности.

В зоне пересечения необходимо обеспечить видимость водителям, подъезжающим по главной и второстепенной дорогам, из условия остановки автомобилей, едущих с расчетными скоростями, до пересекаемых полос движения L_0 и L_d (рис. 1.8). Кроме того, должна быть обеспечена боковая видимость L_b не менее 15–25 м.

На нерегулируемом пересечении в одном уровне выделяют главную улицу и второстепенную. При проходе конфликтных точек (пересечения, вливания и разветвления потоков) преимущество имеют автомобили главной улицы. Пересечение и вливание в потоки автомобилей по главной улице автомобилей второстепенной улицы возможно только при достаточном интервале между автомобилями главной улицы.

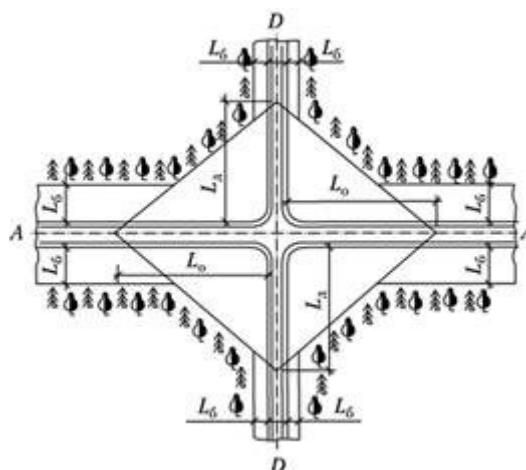


Рисунок 1.8 – Схема обеспечения видимости на пересечениях в одном уровне

Если временной интервал в основном потоке, то за один интервал пройдет n автомобилей второстепенного направления с интервалом между ними, согласно следующему выражению:

где

- промежуток времени между автомобилями на главной дороге;
- граничный интервал времени, который водители, едущие по второстепенной дороге, считают безопасным для пересечения главной дороги;
- интервалы времени между автомобилями, выходящими на пересечение с второстепенной дороги.

Для легковых автомобилей s , для грузовых автомобилей c .

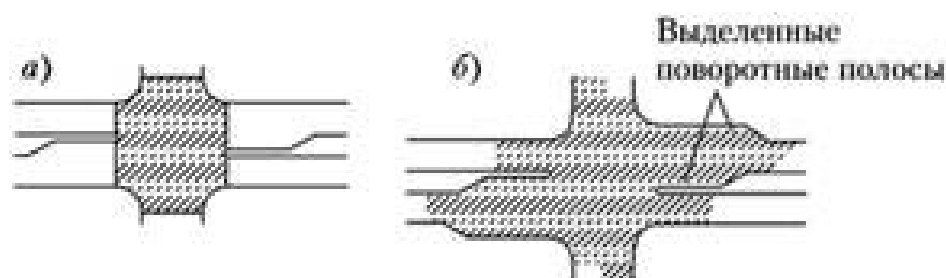
Интенсивность движения на второстепенном направлении резко уменьшается при увеличении интенсивности на главном направлении. Так, при уровне загрузки главного направления $(0,1-0,3) P$, где P – пропускная способность дороги, уровень загрузки на второстепенном направлении может достигать $0,6P$. При повышении уровня загрузки главного направления до $(0,50-0,75) P$ на второстепенном направлении уровень загрузки снижается до $0,2P$.

При интенсивности движения на основной улице в одном направлении более 600 авт./ч на перекрестках в одном уровне производят принудительную регулировку движения с помощью светофоров.

Зарубежный опыт. С целью обеспечения эффективной работы перекрестков в зарубежной практике используется кроме физической площади перекрестка (рис.1.9, а) понятие функциональной площади. Она включает в себя дополнительную за пределами перекрестка площадь (заштрихованная площадь на рис.1.9, б), необходимую для подъезда транспортных средств к перекрестку, совершения маневров на подходе (например, перестроение в крайнюю левую полосу), выезда с перекрестка.

В пределах функциональной площади перекрестка должна быть запрещена остановка транспортных средств.

Площади перекрестка



а – физическая; б – функциональная

Рисунок 1.9 – Площади перекрестка

При высокой интенсивности движения на примыканиях Х-образного пересечения риск ДТП имеет особенно высокий уровень по сравнению с Т-образным пересечением. Разделение Х-образного пересечения на два Т-образных пересечения должно снизить количество конфликтных точек на пересечении и тем самым упростить задачи участников дорожного движения при проезде через пересечение.

Разделение Х-образного пересечения на два Т-образных пересечения может быть выполнено двумя способами: разделение "влево-вправо" и разделение "вправо-влево". На рисунке 1.10 показаны эти способы разделения.



Рисунок 1.10 Способы разделения X-образного перекрестка

Достоинства данного способа организации движения — это ликвидация недостатков X-образных перекрёстков, и получение достоинств T-образных перекрёстков.

К недостаткам относится сложность разделения более высокие затраты на строительство данного пересечения также, существует вероятность невозможности организации данного способа ОДД, в городах.

Также существует разделение T-образных перекрёстков на два разных перекрестков. Схема движения на данном перекрёстке представлена на рисунке 1.11.

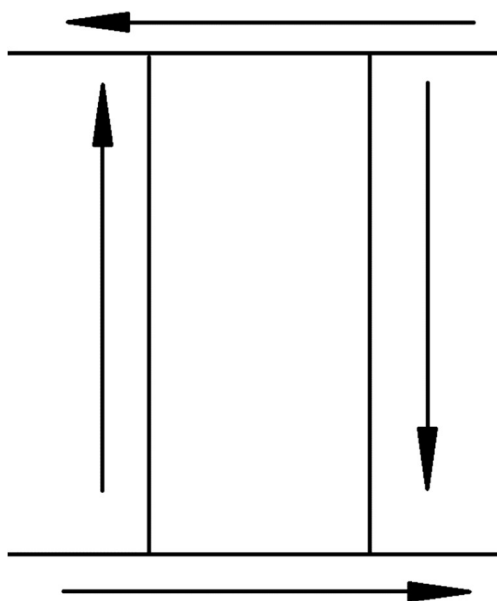


Рисунок 1.11 – Способ разделения T-образного перекрёстка

Данный способ разделения может применяться только между двумя односторонними дорогами.

Достоинство разделения Т-образного перекрёстка заключается в ликвидации конфликтных точек «пересечения», что делает левый поворот более безопасным.

К недостаткам можно отнести невозможность организации данной схемы на дорогах с двухсторонним движением, а также необходимость наличия каналов движения если дороги отнесены не далеко друг от друга.

1.4.2 Кольцевые пресечения

Режим движения автомобилей на подходах и в зоне кольцевого пересечения в значительной степени зависит от размеров элементов пересечения. Главным в проектировании кольцевых пересечений является создание условий, способствующих выбору водителями оптимальных траекторий и скоростей движения

К основным задачам, решаемым в процессе проектирования кольцевых пересечений, относят:

- снижение скоростей движения транспортных потоков на подходах к кольцевому пересечению;
- обеспечение в пределах кольцевой проезжей части движения с невысокой скоростью;
- выравнивание скоростей транспортных потоков разных направлений в пределах кольцевой проезжей части;
- создание условий для удобного и безопасного выезда с кольцевой проезжей части;
- разработка мер по обеспечению безопасности движения пешеходов и велосипедистов.

В документе ОДМ 218.2.071-2016 представлена качественная оценка элементов влияющих на аварийности и пропускную способность пересечения. Данная оценка представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Качественная оценка влияния элементов кольцевого пересечения на аварийность и пропускную способность

Элемент	Уровень безопасности	Пропускная способность
Увеличение ширины въезда на кольцевую проезжую часть	Более опасно из-за увеличения числа возможных боковых столкновений	Увеличивается за счёт въезда на кольцо сразу нескольких ТС
Увеличение ширины кольцевой проезжей части	Более опасно из-за возможных боковых столкновений	Повышается
Увеличение радиуса на участке въезда на кольцевую проезжую часть	Более опасно из-за увеличения скоростей на въезде	Повышается
Увеличение внешнего радиуса кольцевого пересечения	Более опасно, т.к. увеличивается скорость движения по кольцевой проезжей части	Повышается
Уменьшение угла въезда на кольцевую проезжую часть	Условия видимости ухудшаются на въезде, а также увеличиваются скорости при въезде на кольцо	Повышается
Увеличение длины участка уширения перед въездом на кольцевую проезжую часть	Не влияет	Повышается

Исходя из таблицы выше склонность проектирования кольцевых пересечений – это уменьшение безопасности дорожного движения (БДД). Увеличивая пропускную способность кольца, тем самым мы снижаем уровень безопасности на пересечении.

Для разработки планировочного решения кольцевого пересечения требуется следующие данные:

- Сведения об участниках движения:
 - интенсивность движения автомобилей, а также их корреспонденциях
 - состав транспортного потока
 - наличие и интенсивность пешеходных потоков, а также велосипедистов
- Местоположение пересечения (топографическая информация)
 - геометрические характеристики пересекающихся дорог в плане, продольном и поперечных профилях
 - условия видимости
 - сведения о возможных стесненных условиях проектирования пересечения (занятость территории, застройка, коммуникации и т.д.)

Проект кольцевого пересечения выполняют на геоподоснове М 1:500, учитывая геометрию пересекающихся дорог: план, продольные и поперечные профили, условия видимости. В случае использования при планировке кольцевых пересечений САПР, планировочное решение разрабатывают на основе цифровой модели местности.

Процесс проектирования кольцевых пересечений является итерационным процессом, при котором незначительные изменение величин геометрических элементов могут приводить с существенным изменениям пропускной способности и безопасности движения.

Расчетные размеры кольцевого пересечения представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Расчетные скорости

Тип кольцевого пересечения	Диаметр внешней кромки кольцевой проезжей части, м	Количество полос движения на кольце	Расчетная скорость движения на участке въезда на кольцо, км/ч
Кольцевое пересечение с малым диаметром	24-30	1	25
Кольцевое пересечение среднего диаметра	30-40	1(2)	35
	35-50	1-2	40
Кольцевое пересечение большого диаметра	40-55	2(3)	40
	50-60	2(3)	50
Мини-кольцевые пересечения	12-24	1	25
Кольцевые пересечения с зоной переплетения в пределах кольцевой проезжей части	не более 200 м	2	50

Для создания наиболее благоприятных и безопасных условий движения необходимо обеспечить максимальное совпадение скоростей движения транспортных потоков всех направлений, двигающихся по кольцевой проезжей части и скоростей движения въезжающих и выезжающих автомобилей. При оптимальных условиях разность между скоростями взаимодействующих потоков целесообразно назначать в пределах 10%, максимальное расхождение не должно превышать 20%. В случаях, когда разница между скоростями транспортных потоков превышает указанную выше величину, принимают меры по корректировке геометрических элементов кольцевого пересечения и снижению скоростей на примыкающих к пересечению у часиках дорог. Скорости движения на примыкающих участках следует снижать до скоростей на участках въезда (таблица 1.3).

При планировке кольцевых пересечений необходимо учитывать, что связь между геометрическими элементами пересечения не менее важна, чем

их геометрические параметры и положение каждого из них. Безопасность движения и высокая пропускная способность обеспечиваются только взаимной увязкой всех геометрических элементов. Рассматривают следующие элементы и параметры:

- центральная часть кольцевых пересечений:
 - диаметр кольцевого пересечения;
 - кольцевая проезжая часть:
 - ширина полосы движения и их количество;
 - величина поперечного и продольного уклонов проезжей части;
 - центральный островок:
 - размеры;
 - форма;
 - конструктивное решение;
 - краевая полоса кольцевого пересечения, отделяющая кольцевую проезжую часть от обочины (бортового камня тротуара или разделительной полосы безопасности кольцевого пересечения);
- участки въезда и выезда:
 - направляющие островки:
 - размеры и форма (ширина и длина, радиусы закруглений кромок островка);
 - конструктивное решение;
- проезжая часть участков въезда и выезда:
 - ширина полосы движения и их количество;
 - радиус;
- характеристики примыкающих направлений:
 - количество примыкающих направлений;
 - углы между примыкающими направлениями;
 - количество полос движения примыкающего направления;

- ширина полосы движения;
- длина участка изменения ширины (отгона) проезжей части перед въездом на кольцо;
- краевые полосы на участках подходов к кольцевой проезжей части;
- дополнительная полоса для выполнения правых поворотов;
- пешеходные переходы и пешеходные дорожки (тротуары) в зоне кольцевого пересечения;
- велосипедные дорожки и пандусы, обеспечивающие удобное и безопасное движение велосипедистов в зоне кольцевого пересечения;
- проложение путей рельсового транспорта
- условия видимости;
 - элементов пересечения;
 - транспортных средства и других участников движения;
 - технических средств организации дорожного движения.

Геометрические размеры элементов центральной части кольцевого пересечения должны препятствовать движению легковых автомобилей с высокими скоростями и обеспечивать возможность проезда пересечения крупногабаритными грузовыми автомобилями и автобусами.

Диаметр кольцевого пересечения определяет возможность размещения пересечения в пределах полосы отвода. Рекомендуемые значения диаметра для рассматриваемых в «Методических рекомендациях» видов кольцевых пересечений принимают на основании таблицы 1.4. При больших значениях диаметра в зоне кольцевого пересечения возможно движение с высокими скоростями, а они нежелательны.

Необходимость снижения и выравнивания скоростей движения автомобилей на кольцевой проезжей части и изменения траекторий их движения при въезде на кольцо определяет форму и размеры центрального

островка. Конструкция центрального островка должна давать возможность водителю своевременно опознать его как элемент кольцевого пересечения, его как правило, приподнимают над проезжей частью. Исключение составляют центральные островки мини-кольцевых пересечений, когда возможно их выделение текстурой покрытия или разметкой. По форме центральный островок может быть круглым, овальным, каплеобразным или иметь какую-либо другую форму, рисунок 1.15.

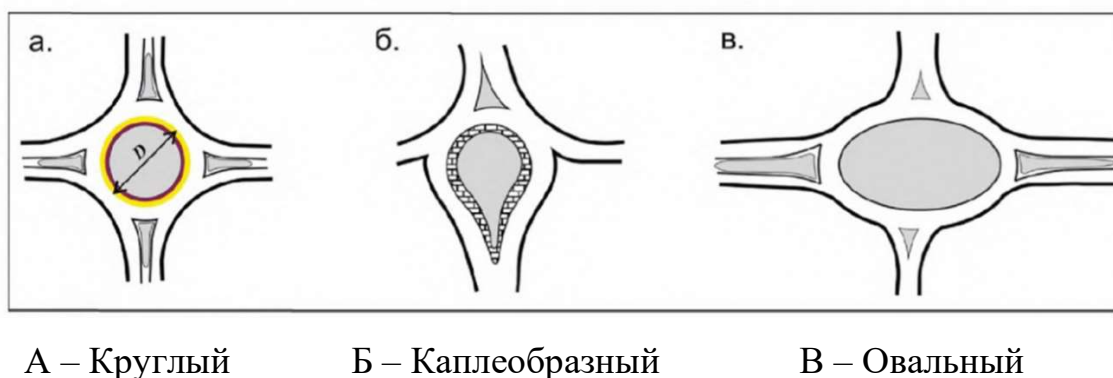


Рисунок 1.12 – Виды центральных островков

Центральные островки овальной или какой-либо другой формы не обеспечивают одинаковое снижение скоростей движения для всех примыкающих направлений. Их применение возможно при более 4-х примыкающих направлениях и в случае малых размеров центрального островка, диаметром до 4 м, когда скорости движения автомобилей на всех направлениях не высоки.

Каплеобразные центральные островки устраивают в качестве планировочных элементов неполных транспортных развязок.

Для обеспечения постоянной и одинаковой скорости для транспортных потоков всех направлений при движении по кольцу предпочтительнее центральный островок, имеющий форму окружности.

Внешний диаметр кольцевой проезжей части двухполосных кольцевых пересечений не должен быть менее 40 м. Минимальные ширины кольцевой

проезжей части двухполосных кольцевых пересечений и диаметры центрального островка, предназначенные для движения автопоездов с полуприцепами в зависимости от диаметра внешней кромки кольцевой проезжей части представлены в таблице 1.4.

Таблица – 1.4 Минимальные рекомендуемые ширины полос кольцевой проезжей части и диаметры центрального островка двухполосных кольцевых пересечений, предназначенных для движения автопоездов с полуприцепами [10]

Диаметр внешней кромки проезжей части, м	Диаметр центрального островка, м	Минимальная рекомендуемая ширина кольцевой проезжей части, м
45	25,4	9,8
50	31,4	9,3
55	36,8	9,1
60	41,8	9,1
65	47,6	8,7
70	52,6	8,7

Ширина каждой полосы движения много полосного кольцевого пересечения может составлять 4,30 - 4,90 м, при этом общая ширина кольцевой проезжей части составляет 8,50 - 9,80 м для двухполосной кольцевой проезжей части и 12,80 - 14,60 м - для трехполосной [17].

Между внешней кромкой кольцевой проезжей части и обочиной или бортовым камнем для обеспечения проезда крупногабаритных грузовых автомобилей предусматривают краевую полосу кольцевой проезжей части шириной не менее 0,6 м, имеющую одинаковую с проезжей частью дорожную одежду.

Для предварительного назначения количества полос движения на участке въезда рекомендуется использовать данные, приведенные в таблице 1.5[17].

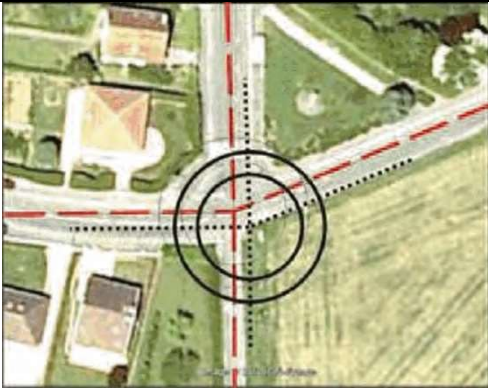
Таблица 1.5 – Предварительное назначение количества полос движения на участке въезда

Суммарная интенсивность движения при въезде на кольцевую проезжую часть, авт./час	Количество полос на участке въезда
до 1000	1
1000-1300	1 (проверочный расчёт пропускной способности)
1300-1800	2
свыше 1800	более 2 (проверочный расчёт пропускной способности)

Таблица 1.6 – Этапы проектирования кольцевого пересечения

№ п.п.	Этап и его описание	Примечание схема
1	На основании анализа исходных данных устанавливают предварительные размеры основных планировочных элементов пересечения: диаметр кольцевого пересечения, количество полос, ширина проезжих частей участков въезда - выезда и кольцевой проезжей части.	Данные берутся из раздела «методологические рекомендации»
2	На плане показывают оси пересекающихся дорог, окружность внешней кромки кольцевой проезжей части, кольцевую проезжую часть и центральный островок	

Продолжение таблицы 1.6

№ п.п.	Этап и его описание	Примечание схема
3	Для наилучшего вписывания кольцевого пересечения в существующую застройку или рельеф определяют положение кольцевой проезжей части и центрального островка, смещая их относительно осей пересекающихся дорог	
4	Определяют размеры направляющего островка с учётом размещения зоны накопления для пешеходов	
5	По касательным к центральному островку сопрягают левые кромки проезжих частей участков въезда и выезда	
6	Правые кромки проезжих частей участков въезда и выезда сопрягают по касательным с внешней кромкой кольцевой проезжей части	

Окончание таблицы 1.6

№ п.п.	Этап и его описание	Примечание схема
7	Повторяют этапы 5 и 6 для всех примыкающих дорог	—
8	Выполняют анализ планировочного решения пересечения. При необходимости планировочное решение корректируют, начиная с этапа 2	Перечислено в разделе «Оценка планировочного решения»

1.5 Методика расчета элементов светофорного цикла

Светофорный объект — совокупность светофоров, установленных на объекте улично-дорожной сети и предназначенных для регулирования очередности движения транспорта и пешеходов через него, а также сам такой объект. Примером светофорного объекта является регулируемый перекрёсток. Циклом светофорного регулирования называется периодически повторяющаяся совокупность всех фаз регулирования. Фаза регулирования, в свою очередь, представляет совокупность основного и следующего за ним промежуточного такта регулирования.

При расчете цикла и его элементов учитываются прогнозируемая интенсивность движения и потоки насыщения для каждого направления движения данной фазы. Поэтому перед расчетом режима регулирования необходимо составить схему организации движения транспорта и пешеходов на перекрестке, то есть обозначить пофазный разъезд транспортных средств.

При расчете режима регулирования необходимо соблюдать порядок расчета. По данным прогнозируемой интенсивности пересечения определяют поток насыщения в данной фазе для каждого направления движения.

Для определения потока насыщения на проектируемом перекрестке применяется приближенный эмпирический метод. Для движения в прямом

направлении по проезжей части без продольных уклонов и разметки поток насыщения можно определить по формуле (1.1), ед./час:

$$M_n = 525 \cdot B, \quad (1.1)$$

где M_n – поток насыщения в приведенных единицах, ед./час;

B – ширина проезжей части в данном направлении движения, м.

Если для выполнения маневров в правом или левом направлении на перекрестке нельзя выделить отдельную полосу, то поток насыщения уменьшается, так как поворачивающие автомобили задерживают основной поток, движущийся в прямом направлении.

Если поток насыщения определяется для выделенного маневра движения, то в таком случае поток насыщения определяется согласно формулам (1.2) и (1.3), ед./час:

для одностороннего движения:

$$M_{nij} = \frac{1800}{1+1,525/R}, \quad (1.2)$$

для двухстороннего движения:

$$M_{nij} = \frac{3000}{1+1,525/R}, \quad (1.3)$$

где R – радиус поворота при маневре, м.

Если для выполнения поворотных маневров на перекрестке нельзя выделить отдельную полосу, то поток насыщения уменьшается, так как поворачивающие автомобили создают задержки для основного потока.

Приближенная оценка потока насыщения в таком случае осуществляется в предположении, что каждый автомобиль, поворачивающий налево с общей полосы движения эквивалентен 1,75 автомобиля, движущегося в прямом направлении 1, а поворачивающие направо – 1,25 автомобиля прямого направления движения.

Тогда поток насыщения определяется по формуле (1.4), ед./час:

$$M_n = \frac{525 \cdot B_{пч} \cdot 100}{a + 1,75 \cdot b + 1,25 \cdot c}, \quad (1.4)$$

где a, b, c – соответственно доли автомобилей, движущихся по полосе в прямом направлении, выполняющих поворот налево или направо;

$B_{пч}$ – ширина проезжей части в данном направлении данной фазы, м.

Фазовые коэффициенты определяют для каждого из направлений движения на перекрестке в данной фазе регулирования по формуле (1.5):

$$Y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{ij}}, \quad (1.5)$$

где N_{ij} – фактическая интенсивность движения на пересечении в приведенных единицах в заданном направлении, ед./час;

M_{ij} – поток насыщения для заданного направления, ед./час.

При расчете выбирается наибольшее значение фазового коэффициента. Промежуточный такт предназначен для безопасного и полного освобождения перекрестка автомобилями, заканчивающими маневр на пересечении по разрешающему сигналу светофора в конце основного такта (зеленый сигнал).

Минимальная длительность промежуточного такта определяется по формуле (1.6), с:

$$t_{пi} = \frac{V_a}{7,2a_T} + \frac{3,6(l_i + l_a)}{V_a}, \quad (1.6)$$

где V_a – средняя скорость движения автомобилей на перегоне и в зоне перекрестка, $V_a = 40$ км/ч;

a_T – среднее замедление без применения экстренного торможения при включении запрещающего сигнала светофора, $a_T = 3$ м/с²;

l_i – расстояние от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки на пересечении, м;

l_a – средняя длина транспортных средств, м.

Длительность промежуточного такта безопасности не следует выбирать менее 3 с, так как меньшее время не обеспечит выполнения назначения промежуточного такта.

Оптимальная длительность цикла регулирования, обеспечивающая минимальную среднюю задержку автомобиля упересечения определяется по формуле (1.7), с:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_{\text{п}} + 5}{1 - Y}, \quad (1.7)$$

где $T_{\text{п}}$ – суммарное потерянное время на пересечении, с;

Y – суммарный фазовый коэффициент, характеризующий загрузку пересечения.

Суммарный фазовый коэффициент определяется по формуле (1.8):

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1.8)$$

Длительность основного такта в каждой фазе регулирования пропорциональна расчетному фазовому коэффициенту для данной фазы. Следовательно, длительность всех основных тактов всех фаз цикла определяется по формуле (1.9), с:

$$t_{oi} = \frac{(T_{\text{ц}} - T_{\text{п}}) y_i}{Y}. \quad (1.9)$$

Длительность основных тактов необходимо проверить на обеспечение пропусков в соответствующих направлениях пешеходных потоков согласно формуле (1.10):

$$t_{\text{пеш}} = 5 + \frac{B_{\text{пеш}}}{V_{\text{пеш}}}, \quad (1.10)$$

где $B_{\text{пеш}}$ – ширина проезжей части, пересекаемая пешеходами, м;

$V_{\text{пеш}}$ – средняя скорость движения пешеходов, $V_{\text{пеш}} = 1,3$ м/с.

При необходимости длительность тактов корректируют согласно формуле (1.11), с:

$$T_{\text{ц}} = \frac{B}{2A} + \sqrt{\frac{B^2}{4A^2} - \frac{C}{A}}, \quad (1.11)$$

где $A = 1 - y_{\text{н}}$;

$$B = 2,5 \cdot T_{\text{п}} - T_{\text{п}} \cdot y_{\text{н}} + T_{\text{o}} + 5;$$

$$C = (T_{\text{п}} + T_{\text{o}}) \cdot (1,5T_{\text{п}} + 5).$$

Зная уточненное значение цикла регулирования, возможно определить расчетную длительность основных тактов.

1.6 Методы расчета пропускной способности в одном уровне

В настоящее время существует несколько способов расчета пропускной способности пресечений. Например, в России есть документ, утверждающий методику расчета [5], а зарубежный опыт содержится в HCM 2000 и HCM 2010.

В ОДМ 218.2.020-2012 для упрощения процедуры расчетов определяется максимальная допустимая интенсивность движения на второстепенном направлении. Соответственно, все потоки второстепенного направления сводятся к одному условному, значение которого используется в расчете максимальной допустимой интенсивности движения на второстепенном направлении.

Методика, приведенная в руководствах HCM 2000 и HCM 2010 (США), детально рассматривает процедуру расчета пропускной способности на любом из второстепенных направлений движения на перекрестке. При этом сами потоки на второстепенных направлениях ранжируются в зависимости от того, сколько конфликтных точек они пересекают при движении через перекресток. Сначала рассчитывается пропускная способность направления первой конфликтной точки, которую проходит поток второстепенного направления.

Методика руководства HCM 2000 учитывает эффект импеданса – дополнительных помех, создаваемых дополнительными конфликтными точками, следующими за первой конфликтной точкой главного и второстепенного транспортных потоков, а также конфликтные точки, создаваемые пешеходами.

Результаты сравнительного анализа приведены ниже на рис. 2 и табл. 2. Сравнение выполнено на примере Т-образного перекрестка при отсутствии пешеходного движения. По результатам сравнительного анализа можно сделать вывод, что методика ОДМ 218.020-2012 дает завышенные значения пропускной способности второстепенных направлений движения по сравнению с методикой HCM 2000, когда второстепенный поток проходит несколько конфликтных точек (в данном случае направление 5). Соответственно, возникают ошибки оценки длины очереди, которая должна быть учтена при расчете геометрических параметров перекрестка (длины участков накопления). [5]

Рассмотрим методику расчета пропускной способности HCM 2000[18], последовательность расчета представлена на рисунке 1.18.

ОДМ 218.2.020-2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог». (Разд. 6. Пропускная способность пересечений; 6.1 Пропускная способность пересечений в одном уровне);

Руководство HCM 2000 (CHAPTER 17 UNSIGNALIZED INTERSECTION). В результате сравнения было выявлено, что: Методика ОДМ 218.2.020-2012 учитывает интенсивность главного потока, состав потока, наличие продольных уклонов, наличие/отсутствие канализирования движения, состав потока второстепенного направления Методика руководства HCM 2000 учитывает эффект импеданса – дополнительных помех, создаваемых дополнительными конфликтными точками, следующими за первой конфликтной точкой главного и второстепенного транспортных потоков, а также конфликтные точки, создаваемые пешеходами.



Рисунок 1.13 – Последовательность расчета пропускной способности на нерегулируемых и кольцевых пересечениях

Методика руководства HCM 2000 учитывает эффект импеданса – дополнительных помех, создаваемых дополнительными конфликтными точками, следующими за первой конфликтной точкой главного и второстепенного транспортных потоков, а также конфликтные точки, создаваемые пешеходами. Результаты сравнительного анализа приведены ниже на рис. 1.14 и табл. 1.7.

Сравнение выполнено на примере Т-образного перекрестка при отсутствии пешеходного движения.

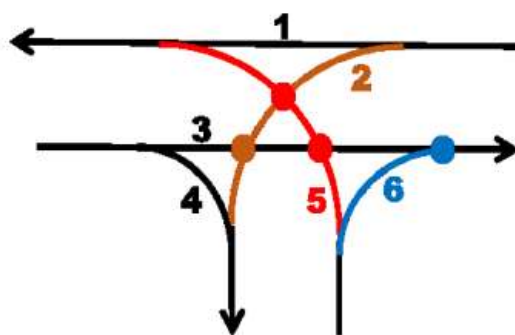


Рисунок 1.14 – Конфликтные зоны Т-образного перекресткам без пешеходных потоков

Таблица 1.7 – Сравнительная таблица методик расчёта пропускной способности

Интенсивность главного потока, авт./час	Значения пропускной способности второстепенных направлений, авт/ч					
	Направление 2		Направление 5		Направление 6	
	НС М 2000	ОДМ 218.2.02 0.2012	НСМ 2000	ОДМ 218.2.020 .2012	НСМ 2000	ОДМ 218.2.020. 2012
100	1231	1428	731	1428	878	892
200	1095	1246	574	1246	792	846
300	973	1017	398	1017	714	804
400	865	907	230	907	644	758
500	768	835	67	835	579	693
600	682	794	исчерпана	794	521	641

По результатам сравнительного анализа можно сделать вывод, что методика ОДМ 218.020-2012 дает завышенные значения пропускной способности второстепенных направлений движения по сравнению с методикой НСМ 2000, когда второстепенный поток проходит несколько

конфликтных точек (в данном случае направление 5). Соответственно, возникают ошибки оценки длины очереди, которая должна быть учтена при расчете геометрических параметров перекрестка (длины участков накопления).

ВЫВОД ПО ГЛАВЕ

1. Пересечения на УДС – это наиболее опасные участки дорог, на которых происходит большая часть дорожно-транспортных происшествий, они определяют пропускную способность дорожной сети вследствие снижения скорости движения транспортных средств

2. Одноуровневые пересечения подразделяются на кольцевые, Х-образные и Т-образные.

Наиболее эффективными и безопасными являются Х-образные и Т-образные перекрестки, которые имеют угол пересечения 90 градусов. Перекрестки с другим углом, отличающимся от 90 градусов, считаются пересечениями неправильной формы, что отрицательно влияет на их безопасность и пропускную способность.

К преимуществам кольцевых пересечений относятся их безопасность, вследствие меньшего числа конфликтных точек по сравнению с Х-образными объектами. К недостаткам кольцевого пересечения можно отнести невысокую пропускную способность, невозможность организации выделенной полосы для движения общественного транспорта, значительную величину занимаемого пространства, что критично для городских условий.

3. При проектировании пересечения в одном уровне выполняется составление плана пересечения, на котором отображается схема правых и левых поворотов, расположение пешеходных переходов, количество и ширина полос движения.

При проектировании необходимо определить размеры основных планировочных элементов кольцевого пересечения: диаметра кольца, количество полос, ширину проезжей части пересечения, а также участков

въезда и выезда. Определяют наличия и размеры направляющего островка с учётом размещения зоны накопления для пешеходов.

4. Х-образные и Т-образные пересечения бывают регулируемые и нерегулируемые. Регулирование осуществляется посредством светофорного объекта, цикл регулирования которого представляет собой совокупность всех фаз управления движением транспорта по каждому из направлений движения транспорта.

В настоящее время разработаны эффективные методики расчета функционирования светофорного объекта.

5. Существующие аналитические методы не учитывают всех факторов, оказывающих существенное влияние на пропускную способность узлов УДС, результаты получаемые разными методами расчета пропускной способности существенно разнятся, что не позволяет осуществлять выбор конфигурации узлов в процессе их проектирования

По результатам выполненного анализа поставлены следующие задачи диссертационной работы:

1. Рассмотреть существующие узлы УДС в одном уровне, их классификацию, определить факторы, влияющие на пропускную способность пересечения, осуществить анализ существующих методов и средств проектирования узлов УДС в одном уровне.

2. Разработать методику оценки пропускной способности узлов УДС в одном уровне.

3. Разработать рекомендации по проектированию узлов УДС в одном уровне.

4. Осуществить производственную проверку и определить технико-экономические результаты выполненного научного исследования

2 Теоретические основы определения пропускной способности узлов УДС в одном уровне

2.1. Имитационное моделирование транспортных потоков

Для создания модели транспортного потока необходимо учесть весь комплекс условий, так как все элементы системы «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда» (ВАДС) взаимосвязаны и формализация процессов, связанных с дорожным движением, ведет к проблеме адекватности модели.

Существует несколько видов моделей:

- макроскопические модели транспортного потока;
- микроскопические модели транспортного потока.

Макроскопические модели транспортного потока воспроизводят агрегированные свойства взаимодействий транспортных средств используя для этого макроскопические переменные:

- средняя скорость $v(x,t)$, м/ч;
- плотность транспортного потока $\rho(x,t)$ авт/км;
- интенсивность движения $q(x,t)$, авт/ч;

где x и t представляют соответственно переменные пространства и времени.

Плотность транспортного потока $\rho(x,t)$ представляет собой число транспортных средств на единицу длины, то есть является показателем наполнения рассматриваемого сечения связи в определенный момент времени. Относительно микроскопических переменных плотность может быть получена с помощью средней дистанции \bar{d} и числа автомобилей N_{veh} как:

$$\rho = \frac{N_{veh}}{L} = \frac{N_{veh}}{\sum_{i=1}^{N_{veh}} d_i} = \frac{1}{\bar{d}}, \quad (2.1)$$

где L – длина рассматриваемого сегмента транспортной сети

Интенсивность $q(x,t)$, (или объем движения) являются числом транспортных средств, проходящего через сечение дороги в единицу времени. Относительно микроскопических переменных интенсивность транспортного потока может быть определена как обратная величина среднего времени проезда \bar{h} . Рассматривая период времени Δt , интенсивность движения может быть выражена как:

$$q = \frac{N_{veh}}{\Delta t} = \frac{N_{veh}}{\sum_{i=1}^{N_{veh}} h_i} = \frac{1}{\bar{h}}. \quad (2.2)$$

Средняя скорость $v(x,t)$, может быть определена как средняя временная и пространственная скорость:

- средняя временная скорость
- это среднее арифметическое скоростей транспортных средств, которые проходят сечение во время определенного периода;
- пространственная средняя скорость – это среднее арифметическое скоростей транспортных средств, которые присутствуют в сегменте дороги в определенное время.

Модели данного типа были разработаны, для математической интерпретации зависимость между скоростью, плотностью и интенсивностью транспортного потока:

$$q(x,t) = v(x,t) \cdot \rho(x,t); \quad (2.3)$$

$$v(x,t) = f(q(x,t), \rho(x,t)), \quad (2.4)$$

где $f(\cdot)$ – некоторая функция.

Зависимость интенсивности движения q от плотности транспортного потока ρ принято называть фундаментальной (или основной) диаграммой транспортного потока (рис. 2.1). Левая часть кривой (показана сплошной линией) отражает устойчивое состояние потока, при котором по мере увеличения плотности транспортный поток проходит фазы свободного, затем

частично связанного и наконец связанного движения, достигая точки максимально возможной интенсивности, т.е. пропускной способности (точка $q_{\max} = P_a$).

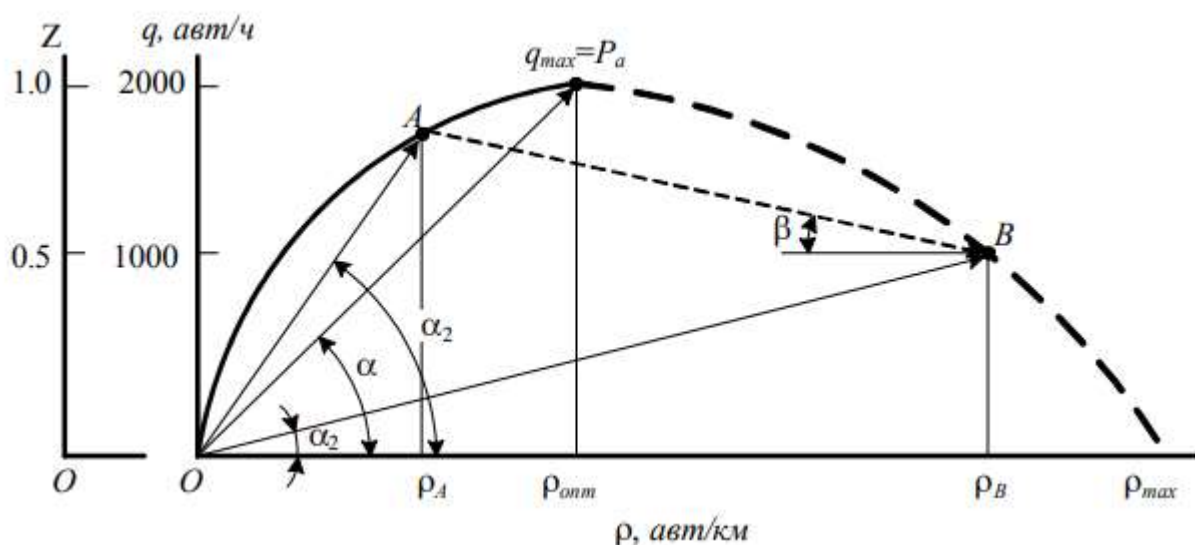


Рисунок 2.1 – Основная диаграмма транспортного потока в координатах $q - \rho$

В процессе этих изменений скорость потока падает – она характеризуется тангенсом угла наклона α радиус-вектора, проведенного от точки O к любой точке кривой, характеризующей изменение q . Соответствующие точке $q_{\max} = P_a$ значения плотности и скорости потока считаются оптимальными по пропускной способности ($\rho_{\text{опт}}$ и $v_{\text{опт}}$). При дальнейшем росте плотности (за точкой P_a перегиба кривой) поток становится неустойчивым (эта ветвь кривой показана прерывистой линией). Переход потока в неустойчивое состояние происходит вследствие несинхронности действий водителей для поддержания дистанции безопасности (действия «торможение–разгон») на любом участке пути и особенно проявляется при неблагоприятных погодных условиях. Все это создает «пульсирующий» (неустойчивый) поток.

В точках O и ρ_{\max} интенсивность движения $q = 0$, т. е. соответственно на дороге нет транспортных средств или поток находится в состоянии затора (неподвижности).

При изменении состояния покрытия, условий видимости для водителей, состава потока, вертикального и горизонтального профилей дороги изменяется характер диаграммы.

Основная диаграмма транспортного потока может быть построена и в других координатах, например $v - \rho$ и $q - v$ (рис. 2.2–2.3).,

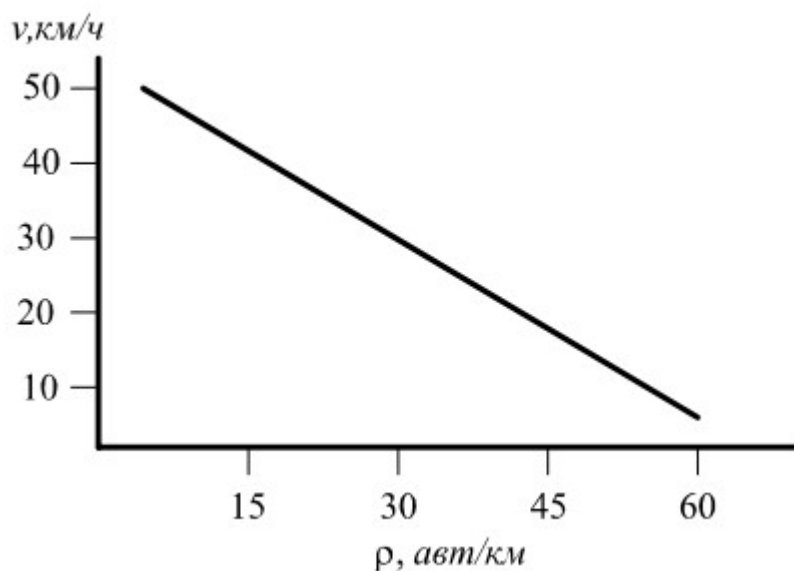


Рисунок 2.2 – Основная диаграмма транспортного потока в координатах $v - \rho$

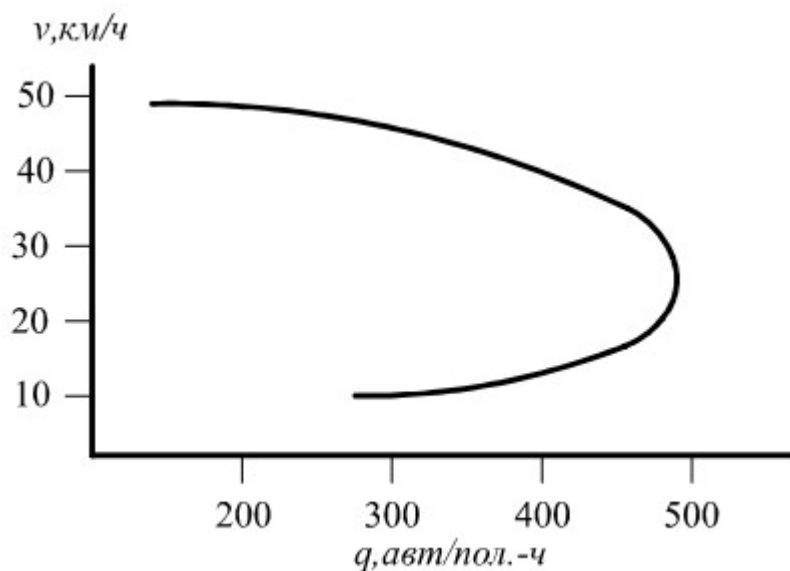


Рисунок 2.3 – Основная диаграмма транспортного потока в координатах $v - q$

Макроскопические модели бывают двух видов:

- Макроскопические модели первого порядка;
- Макроскопические модели второго порядка.

Макроскопические модели первого порядка. Модель Лайтхила-Уизема-Ричардса (LWR-модель). Модель транспортного потока известна как LWR-модель или модель первого порядка. Ключевая идея модели LWR – модели состоит в том, что интенсивность транспортного потока q может быть выражена как функция плотности ρ и наличием фундаментальной зависимости между макроскопическими переменными.

В модели предполагается:

- существование взаимно-однозначной зависимости между скоростью $v(x,t)$, и плотностью потока $\rho(x,t)$;
- выполнение закона сохранения массы (числа транспортных средств).

Дискретная форма макроскопической модели первого порядка. Модель транспортного потока, названная СТМ-моделью (Cell-Transmission model – СТМ). Данная модель была разработана с целью уменьшения вычислительных сложности непрерывных моделей.

В СТМ-модели связь автострады разделена на множество небольших секций или ячейки, i длиной d и число автомобиля в каждой ячейке обновляется для каждого временного шага t . Все автомобили в ячейке i движутся в расположенную вниз по ходу движения ячейку $i + 1$ основываясь на результате сравнения максимального числа автомобилей, который может быть принят расположенной вниз по течению ячейкой, максимальным значением потока, и максимальным числом автомобиля, который может быть выпущен вверх по ходу движения ячейка

Макроскопические модели второго порядка. Дискретная модель второго порядка METANET. В модели METANET каждая связь $m \in M_{net}$ разделена на сегменты длиной L_m (рис.. 2.4), причем для всех сегментов

определены одинаковые характеристики, такие как число полос движения n , пропускная способность и т.д.

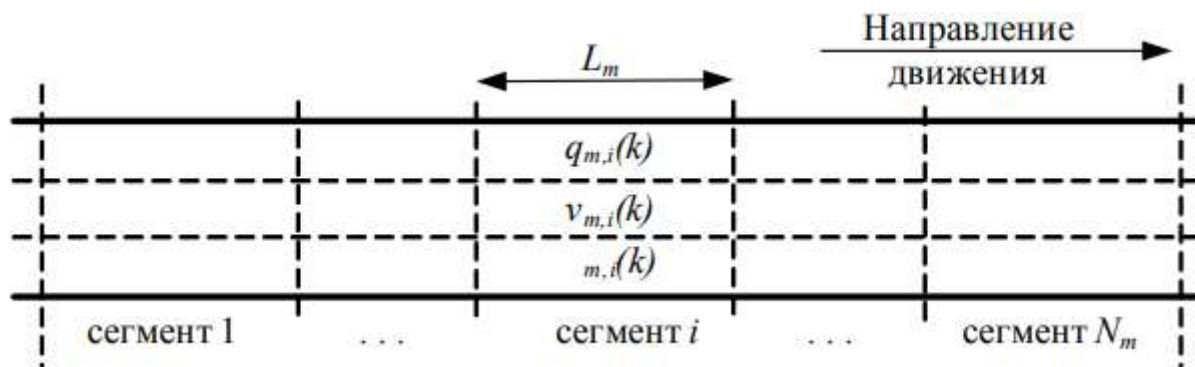


Рисунок 2.4 – Фрагмент транспортной сети METANET

Состояние транспортного потока в каждом сегменте, i связи m во время k описывается макроскопическими переменными – плотностью $\rho_{m,i}(k)$, скоростью $v_{m,i}(k)$ и интенсивностью $q_{m,i}(k)$ транспортного потока.

Величину шага моделирования T и длину сегмента L_m выбирается из следующих соображений: за один шаг моделирования транспортное средство, находящееся в ячейке $i-1$ и движущееся с максимальной скоростью, не может переместиться в ячейку $i+1$; шаг моделирования не должен превышать шага управления светофорным объектом.

Микроскопические модели транспортного потока. Исследователи начали обращать внимание на поведение водителей при ускорении в режиме свободного потока в начале 1980-ых. В это время появляется такой важный инструмент в изучении транспортных потоков, поведения водителей, разработке и оценке различных стратегий управления и менеджмента в дорожном движении, как микроскопическое моделирование.

Для различных сценариев движения микроскопические модели определяют поведение транспортного потока, описывая на основе взаимодействие между отдельными транспортными средствами. При этом принято для описания пространства состояния модели использовать следующие переменные:

- n – номер транспортного средства;

- x_n, v_n, a_n, L_n продольная позиция, скорость, ускорение, и длина транспортного средства i ;
- δ_n – расстояние между транспортным средством n и $n + 1$ (в группе),
- h_n – время движения для транспортного средства n ;
- s_n – положение транспортного средства n ;
- t_n – время реакции водителя транспортного средства n .

Взаимосвязь этих переменных проиллюстрированы, на примере движения двух транспортных средства n и $n+1$, движущиеся по одной полосе движения в системе координат время-пространство (рис. 2.5). Предполагается, что длина транспортного средства L_n является расстоянием от заднего до переднего бампера автомобиля. Расстояние между передним бампером ведущего автомобиля и задним бампером ведущего расстоянием называют дистанцией следования δ_n .

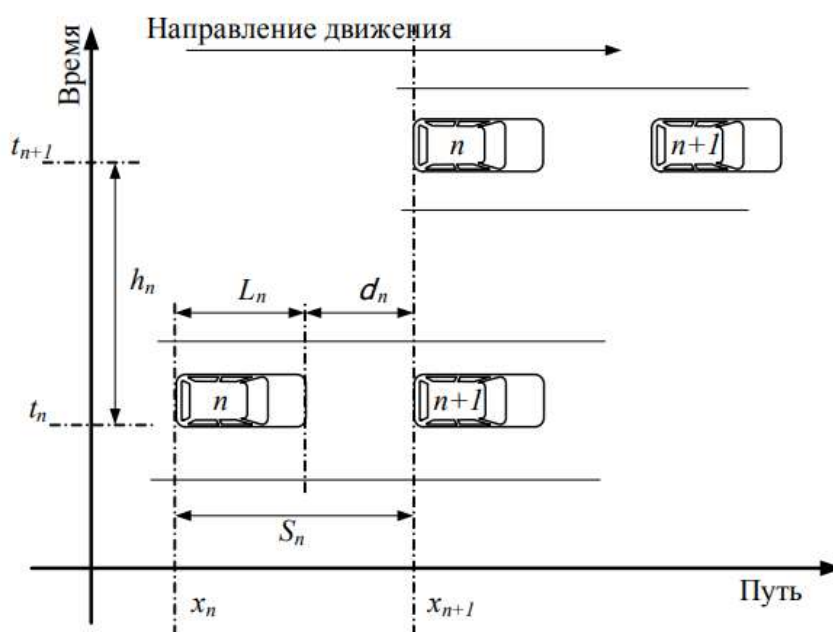


Рисунок 2.5 – Пространство состояний микроскопических моделей

Микроскопические модели определяют состояние транспортного потока, описывая индивидуальные задачи водителя в различных сценариях движения. Задачами водителя являются: поддержание желаемого управления,

изменение скорости, принятие решений по управлению и т.д., которые должны быть выполнены для достижения пункта назначения.

Модели следования за лидером. Задачей вождения в продольном направлении включает действия, для достижения желательной скорости и поддержанию безопасного расстояния между автомобилями. Решение о смене полосы движения и принятие интервала между следующими по соседней полосе автомобилями для совершения маневра перестроения, является задачей поперечного вождения. Обе задачи могут быть описаны относительно состояния окружающей среды транспортного потока или с учетом других автомобилей в транспортном потоке.

Продольное поведение водителя может быть классифицировано следующим образом:

- поведение в условиях свободного потока;
- поведение следование за лидером;
- поведение в условиях остановка – движение.

В условиях свободного потока плотность очень низка, и среднее расстояние движения является большим. Таким образом, транспортные средства могут двигаться со своей желаемой скоростью. Поскольку плотность начинает увеличиваться из-за увеличивающегося спроса, транспортные средства начинают двигаться на более близких расстояниях, чтобы максимизировать емкость полосы движения. Индивидуальные транспортные средства вынуждены следовать друг за другом с уменьшенной скоростью. Как только достигается критическая плотность (при которой емкость полосы движения используется максимально), тогда движение автомобилей переходит в режим остановка – движение. Это поведение транспортного потока соответствует правой части основной диаграммы транспортного потока.

Модели смены полосы движения. Модели данного вида описывают процесс принятия решения водителями о выполнении маневра смены полосы

движения, который может быть рассмотрен как последовательность трех шагов:

- принятие решения о смене полосы движения;
- выбор целевой полосы движения;
- принятие интервала для совершения маневра.

Использование модели следования за лидером в задаче поддержания дистанции. Основным требованием, предъявляемым к автотранспортным средствам, является обеспечение безопасности дорожного движения. Выполнение данного требования, в условиях непрерывного роста скоростей и интенсивности транспортных потоков, представляет собой важнейшую техническую и социально-экономическую задачу. Многочисленные исследования показывают, что основной причиной дорожно-транспортных происшествий является человеческий фактор. Зависимость процесса управления движением автомобиля от психофизиологического состояния водителя создает трудности в решении проблемы обеспечения безопасности движения. Устранение указанной зависимости следует решать путем автоматизации управления движением автомобиля в рамках концепции интеллектуального транспортного средства.

Модели клеточных автоматов.

Модели клеточных автоматов делят дорогу на малые сегменты. В данный момент времени каждый сегмент может или не может быть занят автомобилем. Кроме того, скорость автомобиля v дискретизирована и может только иметь дискретные значения, которые находятся в диапазоне между нулем и v_{\max} . Относительно времени дискретизации, временной шаг моделирования выбирается таким образом, чтобы во время одного временного шага, автомобиль с определенной скоростью v проезжал n сегмент. Динамика автомобиля обновляется согласно следующим правилам:

- ускорение: Если скорость автомобиля не достигла своего максимального значения v_{\max} и также если расстояние до впереди идущего автомобиля
- больше чем $v + 1$, то скорость увеличивается на единицу: $v \leftarrow v+1$.
- рандомизация: С вероятностью p , скорость каждого автомобиля уменьшена на единицу.
- движение: во время временного шага каждый автомобиль продвинется вперед с n сегмента.

Преимущество данной модели состоит в ее простоте, и она не требует значительных вычислительных ресурсов для описания транспортного потока, поскольку поведение автомобиля описано с использованием терминологии дискретных систем, а не от дифференциальных уравнений. Главный недостаток этих моделей заключается в том, что они не включают динамику потока и являются простыми кинематическими моделями.

2.2 Методика определения пропускной способности

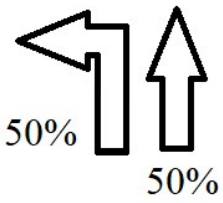
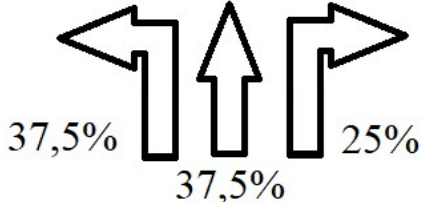
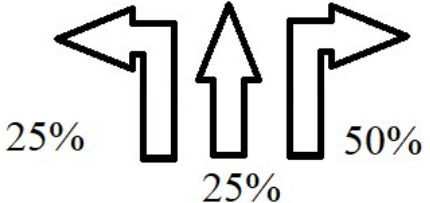

Для построения модели необходимо составить критерии оценки пропускной способности на пересечении. Основным критерием будет максимальное число транспортных средств, прошедших через пересечение за час.

Сформируем классификацию условий движения для построения модели. Ключевой параметр классификации будет интенсивность транспортных потоков на пересечении.

Так же, как и входящие потоки, необходимо отметить распределение ТС на пересечении, при преобладании левого или правого поворота, могут возникать задержки при выполнении маневра, поэтому необходимо учитывать эти данные при расчете пропускной способности.

Для корректного построение модели следует учесть распределение ТС по направлениям.

Таблица 2.1 – Классификация условий движения по распределению транспортных потоков на перекрёстке

Критерий	Описание	Графическое изображение
Левый поворот 0%	В данном случае отсутствует левый поворот или он запрещен	
Левый поворот 50%	«Левый поворот» занимает 25% от общей интенсивности	
Левый поворот 50%	«Левый поворот» преобладает над другими направлениями. 50% от общей интенсивности	
Левый поворот 50%	«Левый поворот» значительно преобладает над другими направлениями 75% от общей интенсивности	

Предложенная классификация позволяет определить условия движения на пересечении в зависимости от левого поворота.

2.3. Пакеты прикладных программ моделирования транспортных потоков

Программы для моделирования движения транспортных потоков принято делить на программы, относящиеся к микро- меза- и макроуровням моделирования, а также на программы, поддерживающие сразу несколько уровней.

На микроуровне транспортные средства рассматриваются как индивидуальные сущности, обладающие своими характеристиками и поведением. Здесь преобладают модели «разумного водителя», в которых ускорение автомобиля описывается некоторой функцией от скорости этого автомобиля, расстояния до впереди идущего автомобиля и скорости относительно лидера [20]. На мезоуровне отдельно взятые машины не моделируются, но учитываются поведенческие особенности водителей. К этому уровню относятся кластерные модели [20], оперирующие группами автомобилей, движущихся с приблизительно одинаковой скоростью на небольшом расстоянии друг от друга, и модели, использующие распределения вероятностей для описания скоростей транспортных средств на определенных участках дороги. На макроуровне транспортная сеть рассматривается единое целое, а потоки автомобилей – как потоки частиц в жидких средах [20].

В таблице 2.2 приведена классификация программ моделирования транспортных потоков в зависимости от масштаба моделирования.

Таблица 2.2 – Программы моделирования в зависимости от масштаба

Масштаб моделирования		
Макромоделирование	Мезомоделирование	Микромоделирование
Aimsun, DYNEV, Emme, OmniTRANS, OREMS, TransCAD, TransModeler, VISUM, CUBE VOYAGER	Aimsun, Cube, Dynameq, DynusT, DYNASMART, TRANSIMS, TransModeler	Aimsun, CORSIM, CityTrafficSimulator, CORSIM, DRACULA, DYNASIM, MATSim, Quadstone Paramics, Sidra Intersection, Sidra Trip, SimTraffic, SIAS Paramics, TransModeler, SUMO, VISSIM

Пакеты для макро- и мезомоделирования позволяют решать такие задачи как планирование транспортной инфраструктуры и общественного транспорта, графическая обработка сети, анализ и оценка транспортных сетей, прогноз запланированных мероприятий, создание платформы для транспортных информационных систем. Пакеты микромоделирования транспортных потоков интенсивно развиваются в связи с ростом вычислительных мощностей, возможностей 3D визуализации и обработки большого количества имеющихся данных, собираемых с миллионов транспортных средств. Это позволяет получать и учитывать данные о скоростях и маршрутах автомобилей.

Многие пакеты, поддерживающие микромоделирования, позволяют создавать транспортные схемы и накладывать их на карты (такие карты служат фоновыми изображениями, на которые наносятся транспортные сети городов). Особо следует выделить в этой области возможности пакета Aimsun, рис. 2. В большинстве пакетов для микромоделирования существует возможность устанавливать максимальную и минимальную скорость движения, типы дорожных участков, их пропускную способность и т.д. В табл. 2 представлены

результаты ряда независимых исследований, сравнивающих известные пакеты. Детальные обзоры пакетов можно найти в [20].

ВЫВОД ПО ГЛАВЕ

1. Для создания модели транспортного потока необходимо учесть весь комплекс условий, так как все элементы системы «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда» (ВАДС) взаимосвязаны и формализация процессов, связанных с дорожным движением, ведет к проблеме адекватности модели.

2. Макроскопические модели, транспортного потока воспроизводят агрегированные свойства взаимодействий транспортных средств используя для этого макроскопические переменные: средняя скорость, плотность транспортного потока, интенсивность движения.

3. Микроскопические модели определяют поведение транспортного потока, описывая на основе взаимодействие между отдельными транспортными средствами. При этом принято для описания пространства состояния модели использовать следующие: номер транспортного средства, продольная позиция, скорость, ускорение, длина транспортного средства, расстояние между транспортными средствами, время движения для транспортного средства, положение транспортного средства, время реакции водителя транспортного средства.

4. Наиболее предпочтительным для расчета пропускной способности является методы и программные комплексы имитационного моделирования транспортных потоков, так как данные методы позволяют определить пропускную способность узла УДС с учетом всех основных факторов, оказывающих влияние на транспортные потоки.

3 Методика оценки пропускной способности узлов УДС в одном уровне.

Существуют несколько способов оценки пропускной способности, аналитические и имитационные. Аналитические способы не позволяют точно дать оценку пропускной способности, так как невозможно учесть все факторы, влияющие на пропускную способность. Имитационные методы дают более точную картину, при условии, что все факторы учтены при создании модели.

Существует несколько видов программ моделирования транспортных потоков, а именно макро моделирования, микро моделирования, мезомоделирования. Для определения пропускной способности пересечения нам необходимы программы микро моделирования.

Рассмотрим AIMSUN NEXT 20. Данные программы позволяют создать все условия движения на пресечении, начиная от ограничений скорости и геометрических параметров пересечения, вплоть до пешеходных потоков и общественного транспорта.

3.1 Построение модели

Для корректной оценки необходимо воссоздать условия близкие к реальной ситуации. Для этого воспользуемся сервисами, вшитые в AIMSUNNEXT.

На рисунке 3.1 изображён получившийся перекресток.

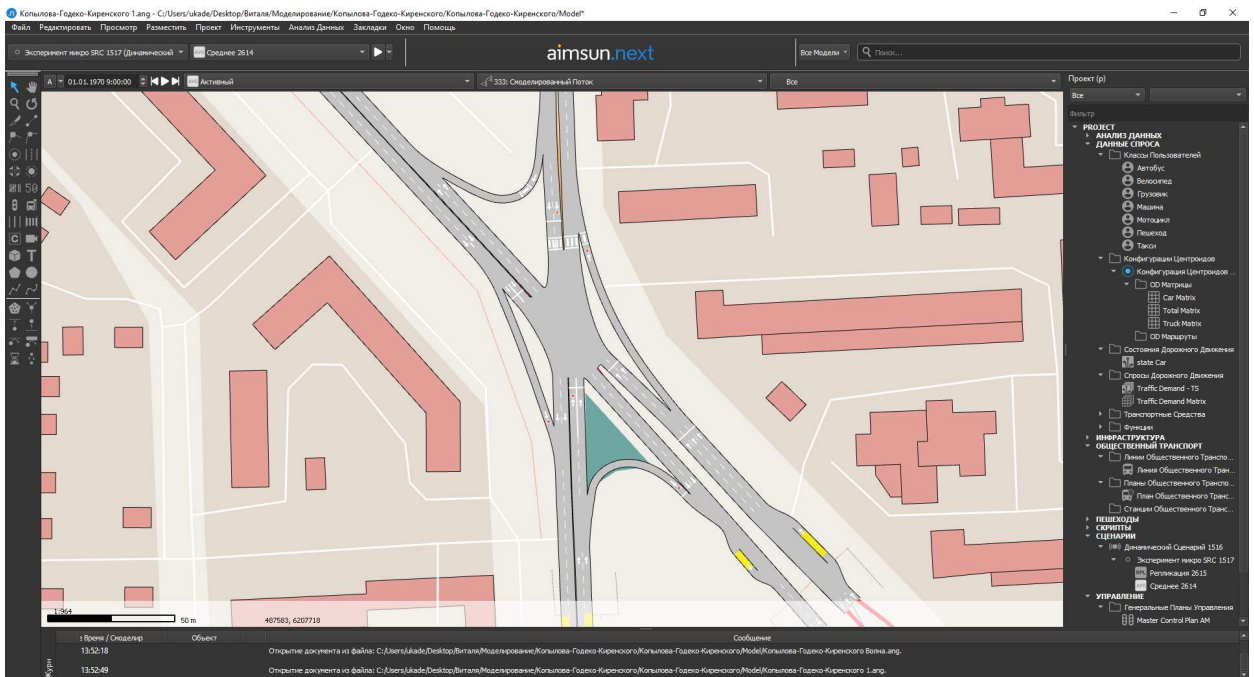


Рисунок 3.1 – Схема выбранного пересечения в AIMSUNNEXT

Сначала создадим основу для расположения сети дорог, для этого воспользуемся сервисом OpenStreetMap. На полученной схеме располагаем дороги там, где они фактически находятся.

Далее при помощи инструментов создаём пересечения дорог. Соединив дороги убираем лишние повороты там, где есть шлюз убираем правый поворот, а также если необходимо левый. В этом же меню обозначим рассчитанный светофорный цикл и фазы движения транспортных потоков.

Далее расставляем знаки приоритета и необходимую разметку (сплошные и пешеходные переходы). В меню Traffic State определяем доли распределения по направления движения, тут же обозначаем входящие транспортные потоки (рисунок 3.2).

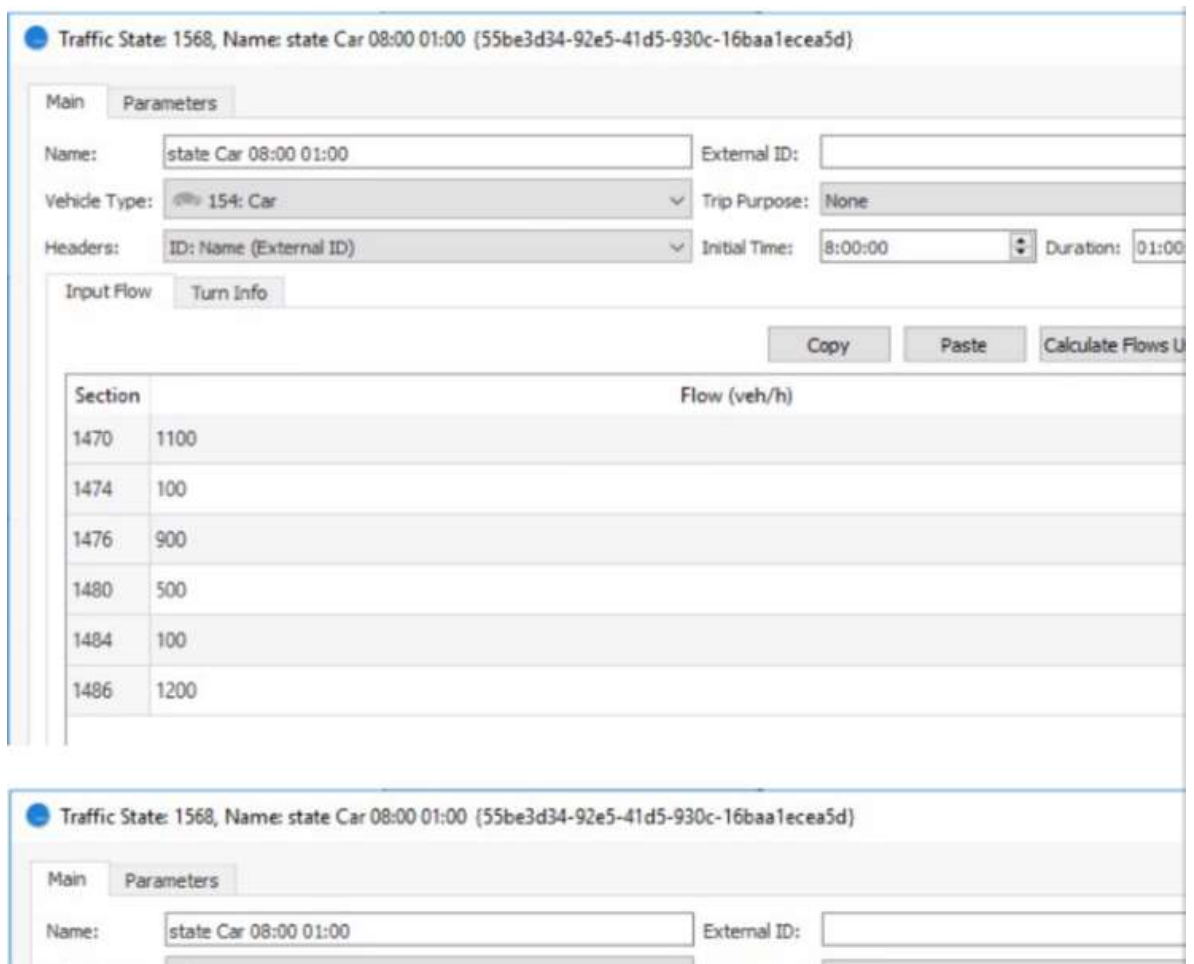


Рисунок 3.2 – Окно инструмента TrafficState

После добавления входящих потоков располагаемся «центроиды» (центры притяжения) возле входов и выходов из сети. Для этого обозначаем вход и выход из сети (рисунок 2.3)

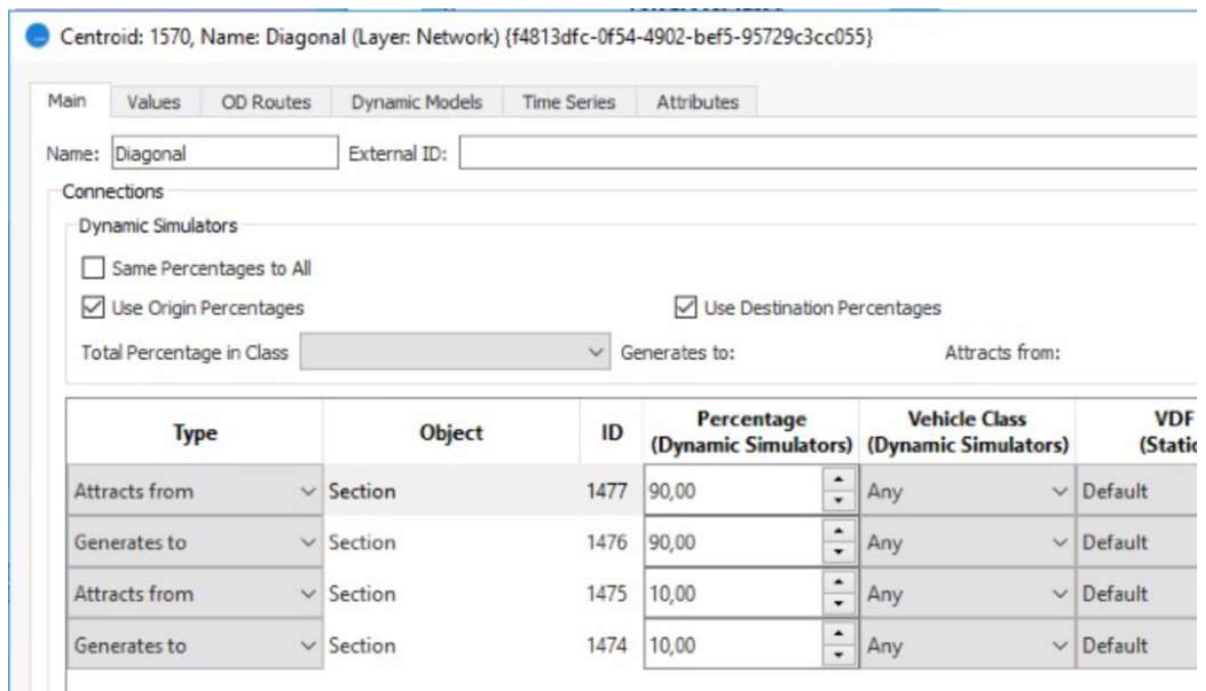


Рисунок 3.3 – Окно центроида

Далее создаём матрицу транспортных потоков (рисунок 3.4)

	1570: Diagonal	1571: Marañon	1572: Reig	1573: Travessera	1574: CampNou	Total
1570: Diagonal		350	250	400	25	1025
1571: Marañon	350		25	400	20	795
1572: Reig	200	50		150	15	415
1573: Travessera	600	300	100		30	1030
1574: CampNou	20	15	5	30		70
Total	1170	715	380	980	90	3335

Рисунок 3.4 – Матрица транспортных потоков

Создав матрицу делим число ТС по долям между легковыми и грузовыми в меню OD Matrix в соотношении 5% грузовых к 95% легковых.

После всех манипуляций создаём динамический сценарий в ходе которого мы получим данные об задержках и прочих параметров необходимых для оценки ОДД на данном пересечении (рисунок 3.5)

Временной Ряд	Значение	Стандартное Отклонение	Единицы
Время в Пути - Все	117,63	40,63	сек/км
Время в Пути - Машина	117,10	40,10	сек/км
Время в Пути - Грузовик	127,25	48,42	сек/км
Время Задержки - Все	51,56	40,39	сек/км
Время Задержки - Машина	51,18	39,89	сек/км
Время Задержки - Грузовик	58,56	48,30	сек/км
Время Ожидания - Виртуальная Очередь - Все	0,07	0,26	секунд
Время Ожидания - Виртуальная Очередь - Машина	0,07	0,26	секунд
Время Ожидания - Виртуальная Очередь - Грузовик	0,09	0,34	секунд
Время Остановки - Все	42,62	38,60	сек/км
Время Остановки - Машина	42,37	38,20	сек/км
Время Остановки - Грузовик	47,07	45,14	сек/км
Входной Поток - Все	3819	Не Определено	трансп ср-в/ч
Входной Поток - Машина	3622	Не Определено	трансп ср-в/ч
Входной Поток - Грузовик	197	Не Определено	трансп ср-в/ч
Гармоническая Скорость - Все	30,60	11	км/ч
Гармоническая Скорость - Машина	30,74	11	км/ч
Гармоническая Скорость - Грузовик	28,29	10,77	км/ч
Количество Остановок - Все	0,15	Не Определено	#/трансп ср-в/км
Количество Остановок - Машина	0,15	Не Определено	#/трансп ср-в/км
Количество Остановок - Грузовик	0,15	Не Определено	#/трансп ср-в/км
Количество Смен Полосы - Все	652,70	Не Определено	#/км
Количество Смен Полосы - Машина	628,95	Не Определено	#/км
Количество Смен Полосы - Грузовик	23,75	Не Определено	#/км
Макс. Виртуальная Очередь - Все	3	Не Определено	трансп ср-в

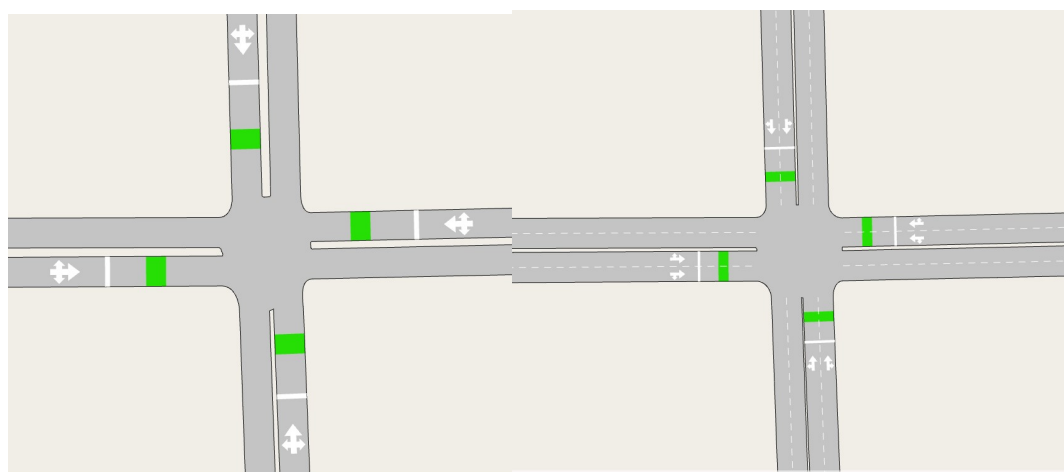
Рисунок 3.5 – Результаты симуляции

ВЫВОД ПО ГЛАВЕ

Была построена модель перекрестка с числом полос от 1 до 3 на Х-образном пересечении и от 1 до 2 на кольцевом пересечении. Проверка будет проводиться в зависимости от левого поворота. С увеличением объема интенсивности левого поворота в 25%, от 0% до 75%, а также с повышением интенсивности от 500 авт./час по 20% с каждым шагом.

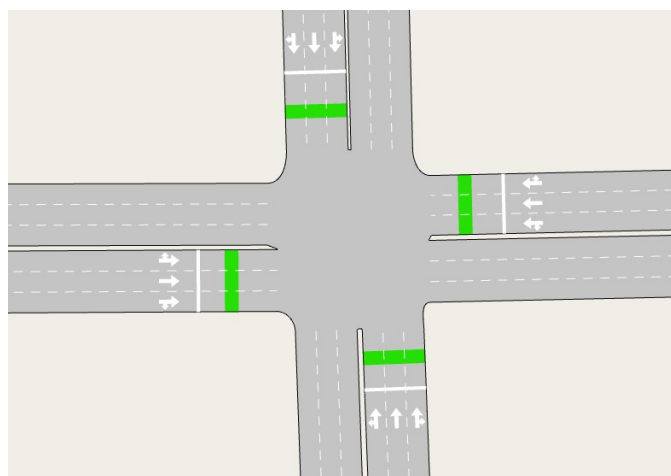
4 Применение представленной методики на моделях пресечений в AIMSUN NEXT

Для оценки пропускной способности пересечения необходимо построить модель пересечения, в программе AIMSUN. Графическое изображение моделей представлено на рисунках 4.1–4.2.



А

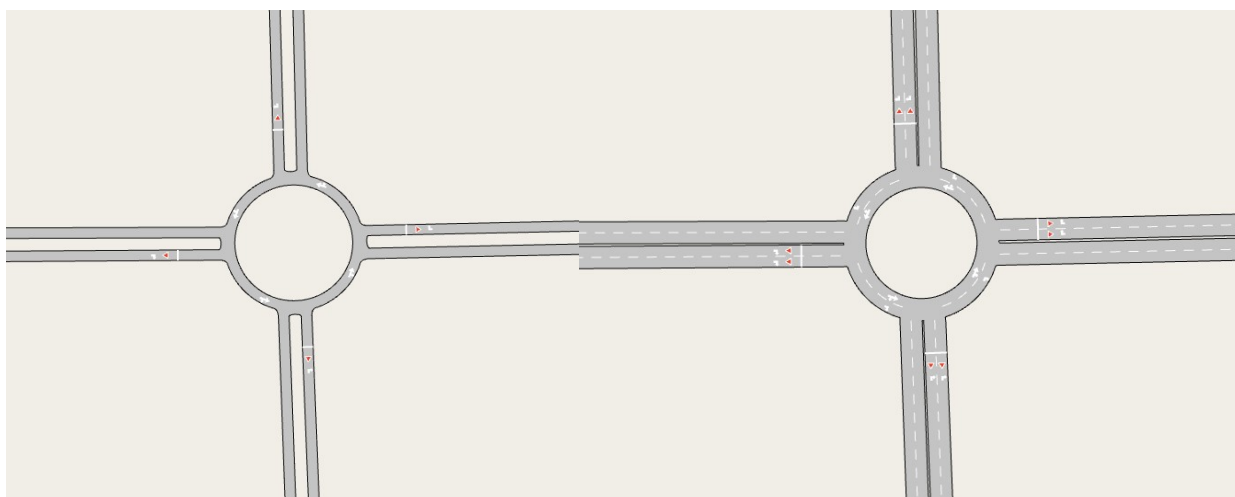
Б



В

- А – пересечение дорог с двухполосным движением**
- Б – пересечение дорог с четырехполосным движением**
- В – пересечение дорог с шестиполосным движением**

Рисунок 4.1 – Модели х-образных перекрёстков



А

Б

А – пересечение дорог с двухполосным движением

Б – пересечение дорог с четырехполосным движением

Рисунок 4.2 – Модели кольцеобразных перекрёстков

4.1 Расчет элементов светофорного цикла

Для пресечений с регулируемым пересечением необходимо рассчитать светофорный цикл, для корректности данных. Производим расчет цикла согласно пункту 1.3

В таблице 4.1-4.4 приведены полученные расчеты светофорного цикла для регулируемого пересечения.

Таблица 4.1 – Значения светофорного цикла с левым поворотом в 0% от общей интенсивности

Параметр	Расчетное значение
Поток насыщения, ед./час:	
Север-Юг	1890
Запад-Восток	1890
Фазовые коэффициенты:	
1 фаза	0,265
2 фаза	0,265
Длительность промежуточного такта, с:	
1 фаза	3
2 фаза	3

Окончание таблицы 4.1

Параметр	Расчетное значение
Суммарный фазовый коэффициент	0,53
Длительность цикла, с	30
Длительность основного такта, с	
1 фаза	12
2 фаза	12

Таблица 4.2 – Значения светофорного цикла с левым поворотом в 25% от общей интенсивности

Параметр	Расчетное значение
Поток насыщения, ед./час:	
Север-Юг	1148
Запад-Восток	1148
Фазовые коэффициенты:	
1 фаза	0,436
2 фаза	0,436
Длительность промежуточного такта, с:	
1 фаза	3
2 фаза	3
Суммарный фазовый коэффициент	0,872
Длительность цикла, с	110
Длительность основного такта, с	
1 фаза	52
2 фаза	52

Таблица 4.3 – Значения светофорного цикла с левым поворотом в 50% от общей интенсивности

Параметр	Расчетное значение
Поток насыщения, ед./час:	
Север-Юг	1208
Запад-Восток	1208
Фазовые коэффициенты:	
1 фаза	0,414
2 фаза	0,414
Длительность промежуточного такта, с:	
1 фаза	3
2 фаза	3
Суммарный фазовый коэффициент	0,828
Длительность цикла, с	82
Длительность основного такта, с	
1 фаза	38
2 фаза	38

Таблица 4.4 – Значения светофорного цикла с левым поворотом в 75% от общей интенсивности

Параметр	Расчетное значение
Поток насыщения, ед./час:	
Север-Юг	1947
Запад	1947
Восток	1947
Фазовые коэффициенты:	
1 фаза	0,257
2 фаза	0,257
3 фаза	0,257
Длительность промежуточного такта, с:	
1 фаза	3
2 фаза	3
3 фаза	3
Суммарный фазовый коэффициент	0,771
Длительность цикла, с	67
Длительность основного такта, с	
1 фаза	24
2 фаза	24
3 фаза	24

Полученные значения позволяют эффективно настроить светофорное регулирование.

4.2 Результаты моделирования пресечений

Производим оценку пропускной способности следующим методом. Зададим начальный входящий поток и далее с шагом в 20%, до предела пропускной способности. При достижении предела прекращаем расчет.

В таблице 4.5 и на рисунке 4.3-4.6 представлены значения, полученные на х-образном пересечении с разным количеством полос.

В таблице 4.6 и на рисунке 4.7-4.10 представлены значения, полученные на кольцевом пересечении с разным количеством полос.

Таблица 4.5 – Значения интенсивности на X-образных пересечениях

Заданная интенсивность	Интенсивность левоповоротного движения от общего числа транспортных средств в одном направлении											
	0%			25%			50%			75%		
	Число полос в одном направлении											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2000	1935	1958	1958	2063	2062	2056	1869	2040	2038	1708	2097	2046
2400	2053	2369	2369	2330	2348	2332	1944	2453	2453	1738	2396	2335
2800	2049	2792	2792	2521	2717	2711	1962	2850	2848	1731	2895	1460
3200	2041	3149	3141	2556	3221	3203	1948	3213	3173	1794	3203	2238
3600	—	3640	3630	2551	3640	3621	1913	3608	3614	1755	2476	1613
4000	—	3875	3889	2575	4052	4046	—	3965	3972	—	2489	—
4400	—	3828	4158	—	4419	4405	—	4308	4419	—	—	—
4800	—	3913	4366	—	4844	4835	—	4389	4811	—	—	—
5200	—	—	4355	—	5212	5252	—	4435	5205	—	—	—
5600	—	—	4399	—	5486	5614	—	—	5495	—	—	—
6000	—	—	4520	—	5499	5937	—	—	5898	—	—	—
6400	—	—	4644	—	5331	6348	—	—	6096	—	—	—
6800	—	—	—	—	—	6824	—	—	6277	—	—	—
7200	—	—	—	—	—	7013	—	—	—	—	—	—
7600	—	—	—	—	—	7361	—	—	—	—	—	—
8000	—	—	—	—	—	7542	—	—	—	—	—	—
8400	—	—	—	—	—	7288	—	—	—	—	—	—

Таблица 4.6 – Значения интенсивности на кольцевых пересечениях

Заданная интенсивность	Интенсивность левоповоротного движения от общего числа транспортных средств в одном направлении							
	0%		25%		50%		75%	
	Число полос в одном направлении							
	1	2	1	2	1	2	1	2
2000	1972	1975	2065	2067	1978	2036	1950	2090
2400	2389	2388	2335	2353	2211	2454	2034	2384
2800	2813	2825	2570	2719	2137	2847	2124	2626
3200	3162	3168	2565	3219	2180	3168	—	2692
3600	3466	3666	2504	3638	—	3539	—	2713
4000	3483	4072	2613	4007	—	3595	—	2725
4400	3553	4458	—	4102	—	3643	—	—
4800	—	4863	—	4112	—	3600	—	—
5200	—	5116	—	4094	—	—	—	—
5600	—	5320	—	—	—	—	—	—
6000	—	5341	—	—	—	—	—	—
6400	—	—	—	—	—	—	—	—

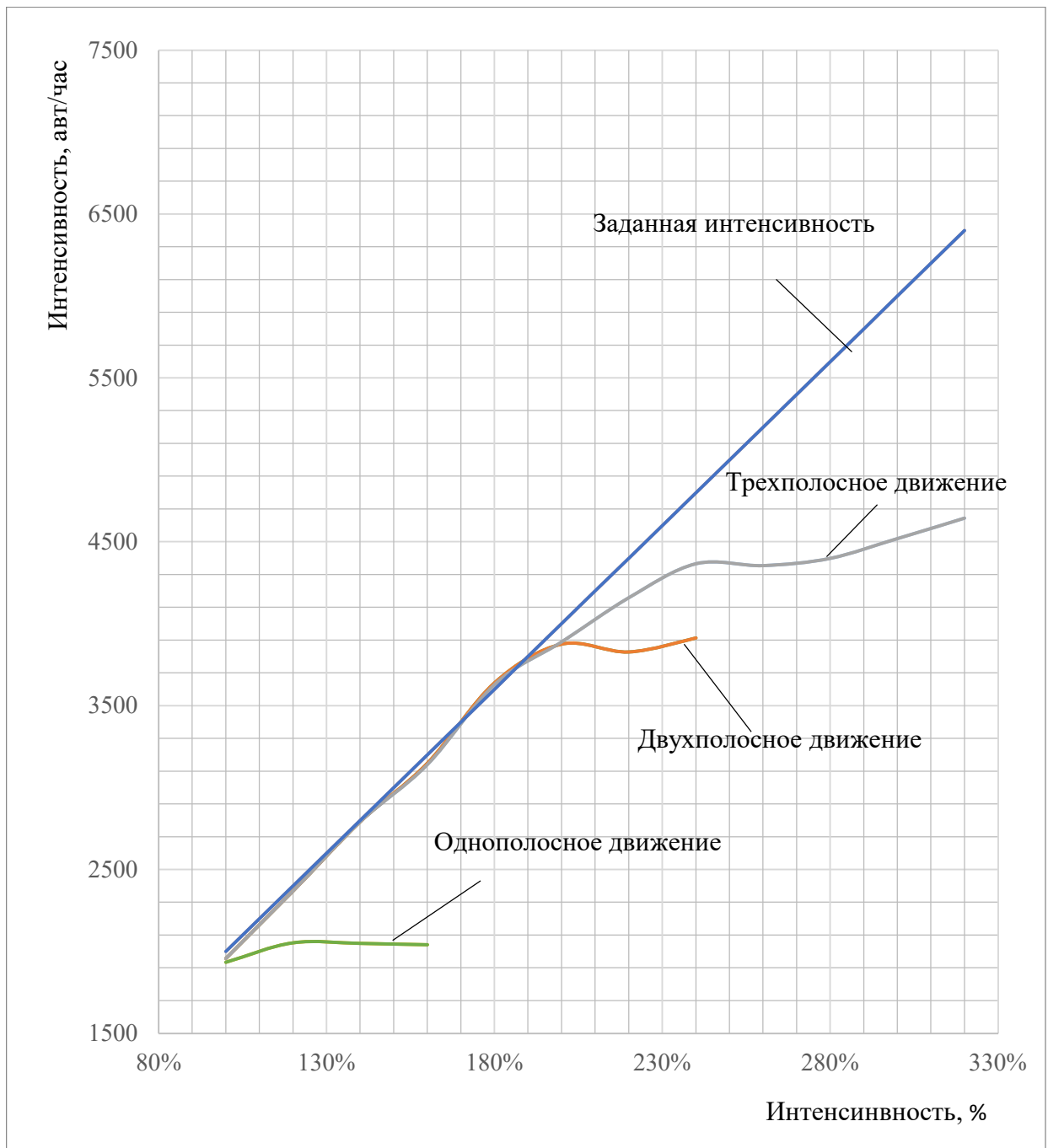


Рисунок 4.3 – График предельной интенсивности на x-образном Пересечении с 0% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 0% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 2053 авт./час
- двухполосном движении равна 3640 авт./час
- трехполосном движении равна 3889 авт./час

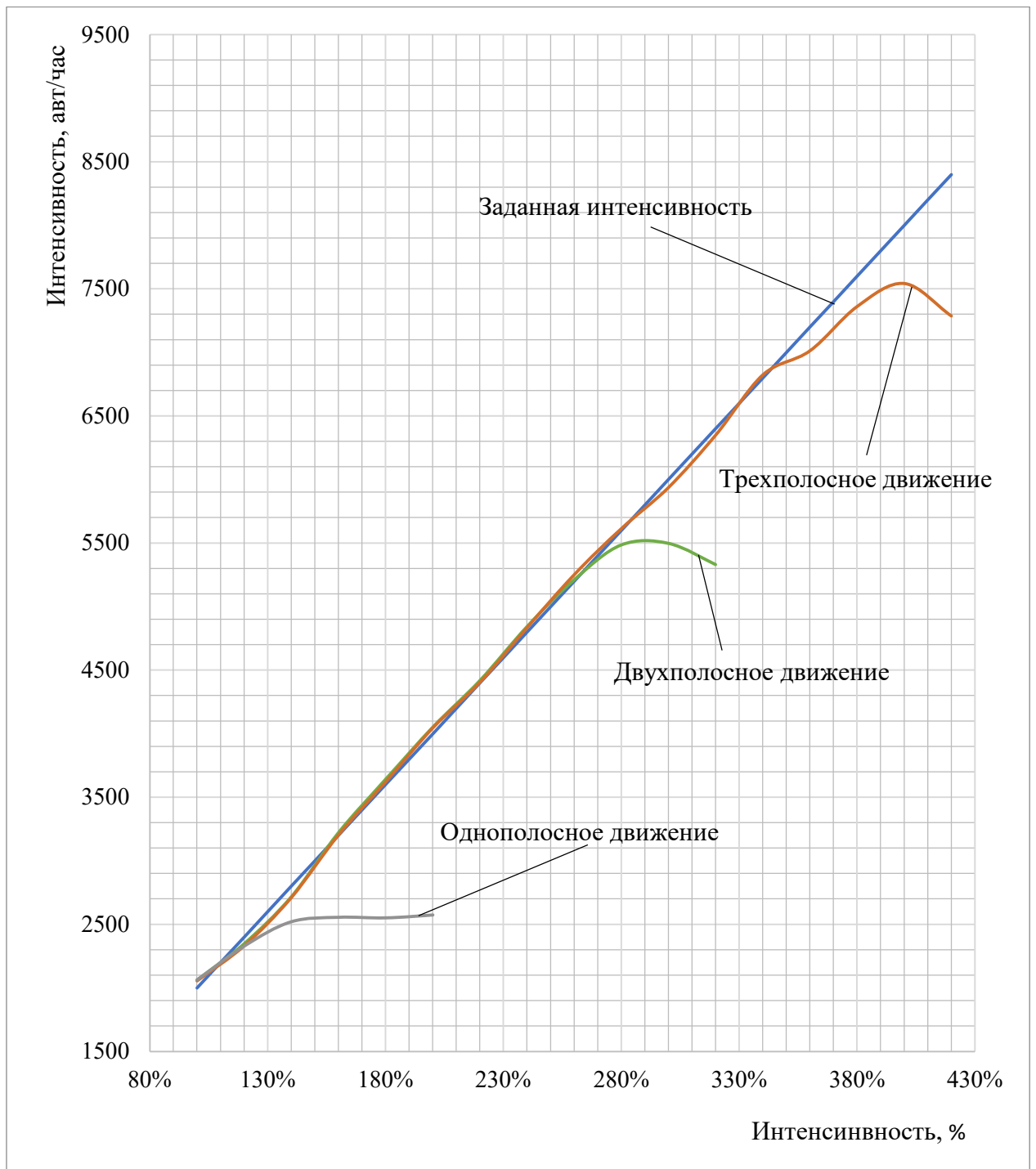


Рисунок 4.4 – График предельной интенсивности на х-образном Пересечении с 25% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 25% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 6824 авт./час
- двухполосном движении равна 5212 авт./час
- трехполосном движении равна 3889 авт./час

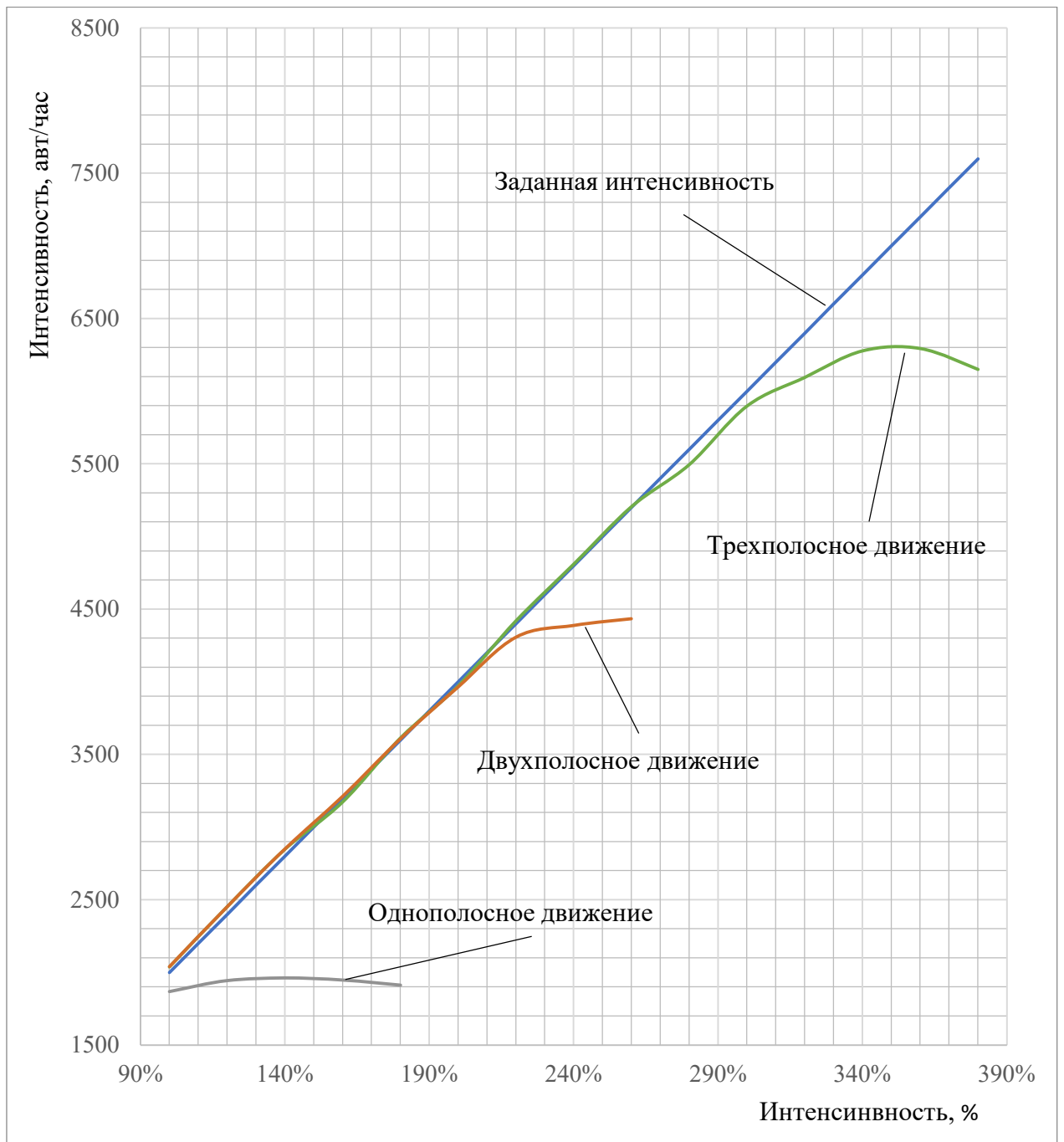


Рисунок 4.5 – График предельной интенсивности на х-образном

Пересечении с 50% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 50% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 1944 авт./час
- двухполосном движении равна 4308 авт./час
- трехполосном движении равна 5898 авт./час

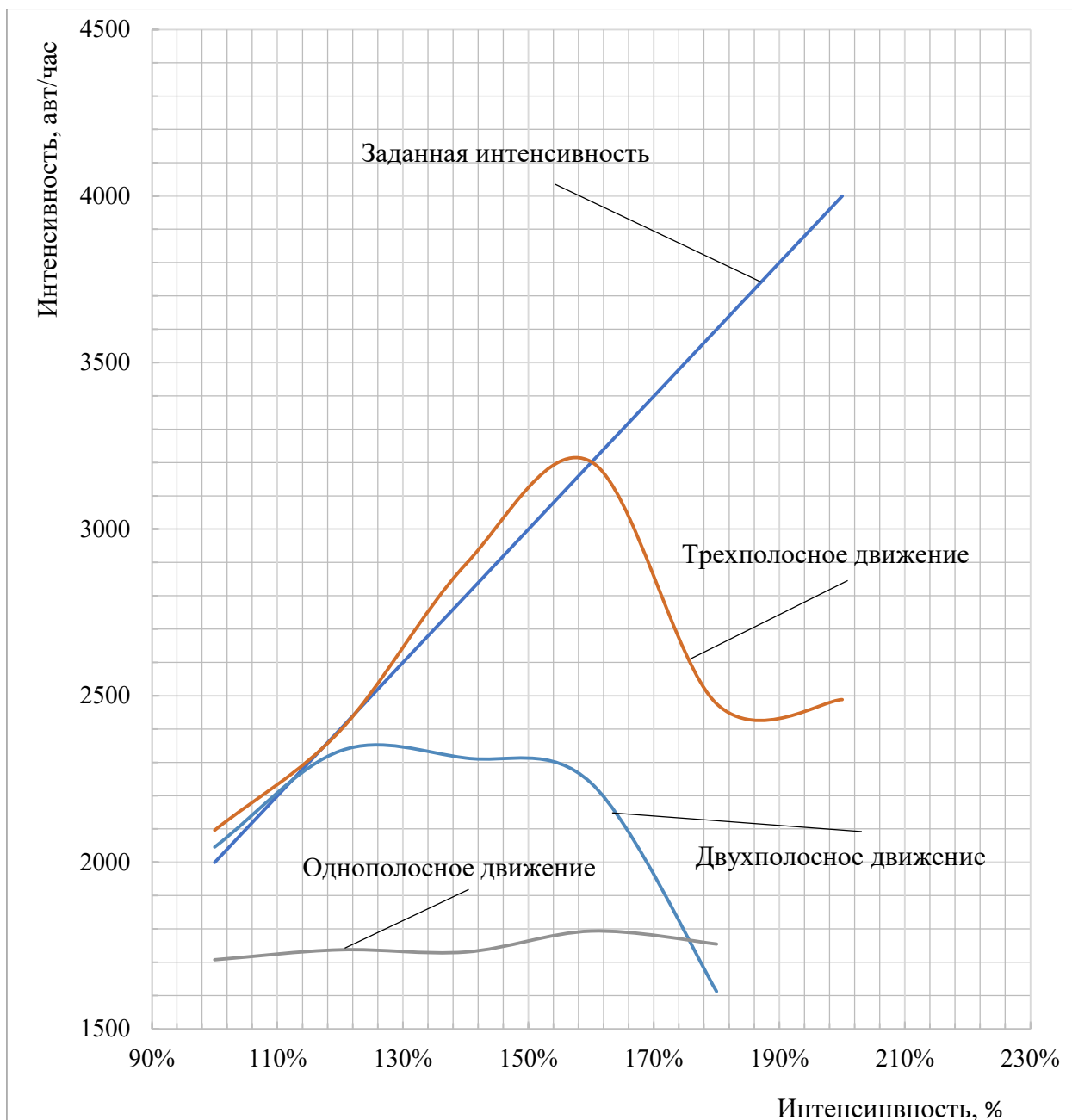


Рисунок 4.6 – График предельной интенсивности на x-образном Пересечении с 75% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 75% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 1731 авт./час
- двухполосном движении равна 3203 авт./час
- трехполосном движении равна 2335 авт./час

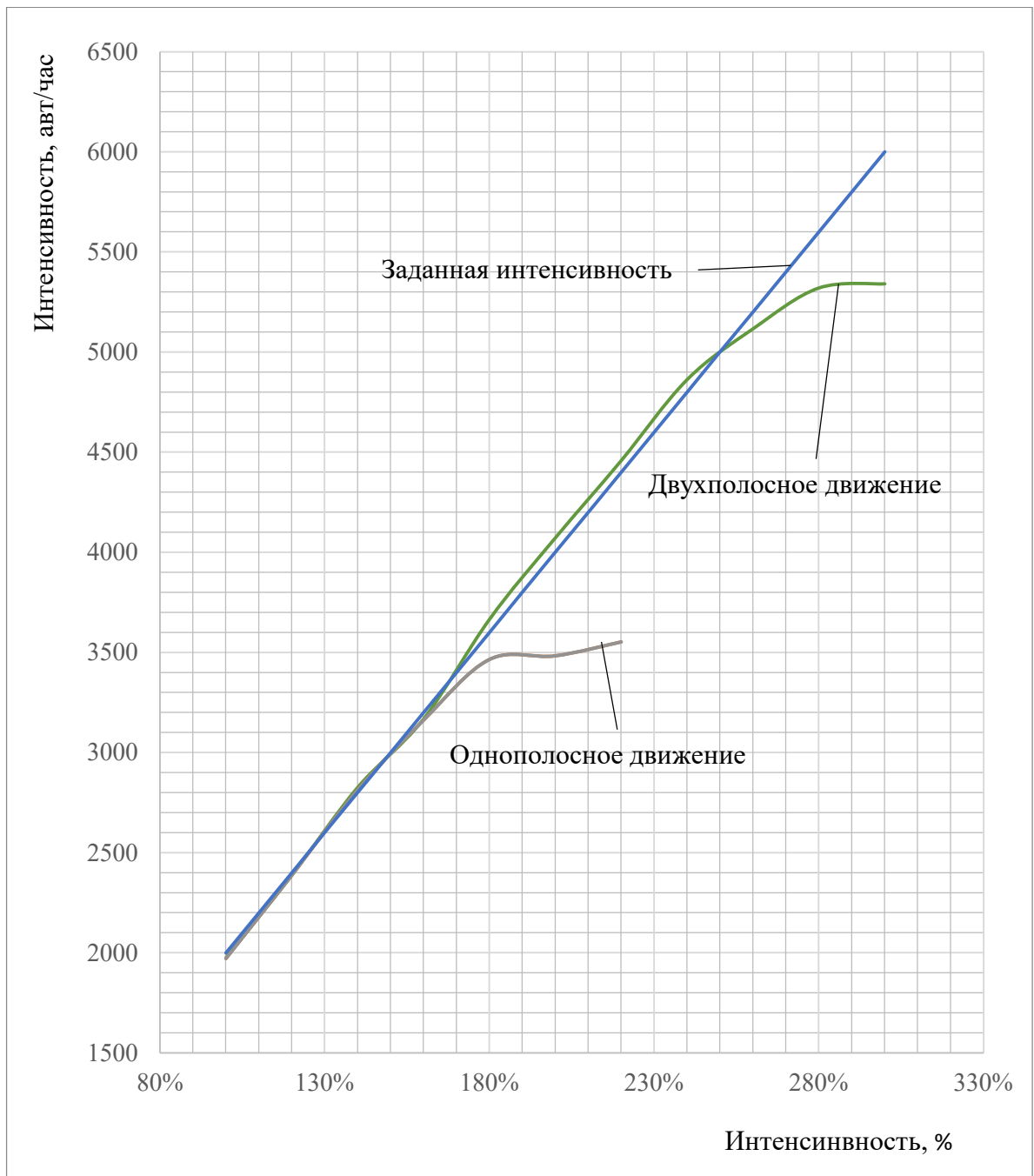


Рисунок 4.7 – График предельной интенсивности на кольцевом Пересечении с 0% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 0% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 3162 авт./час
- двухполосном движении равна 5116 авт./час

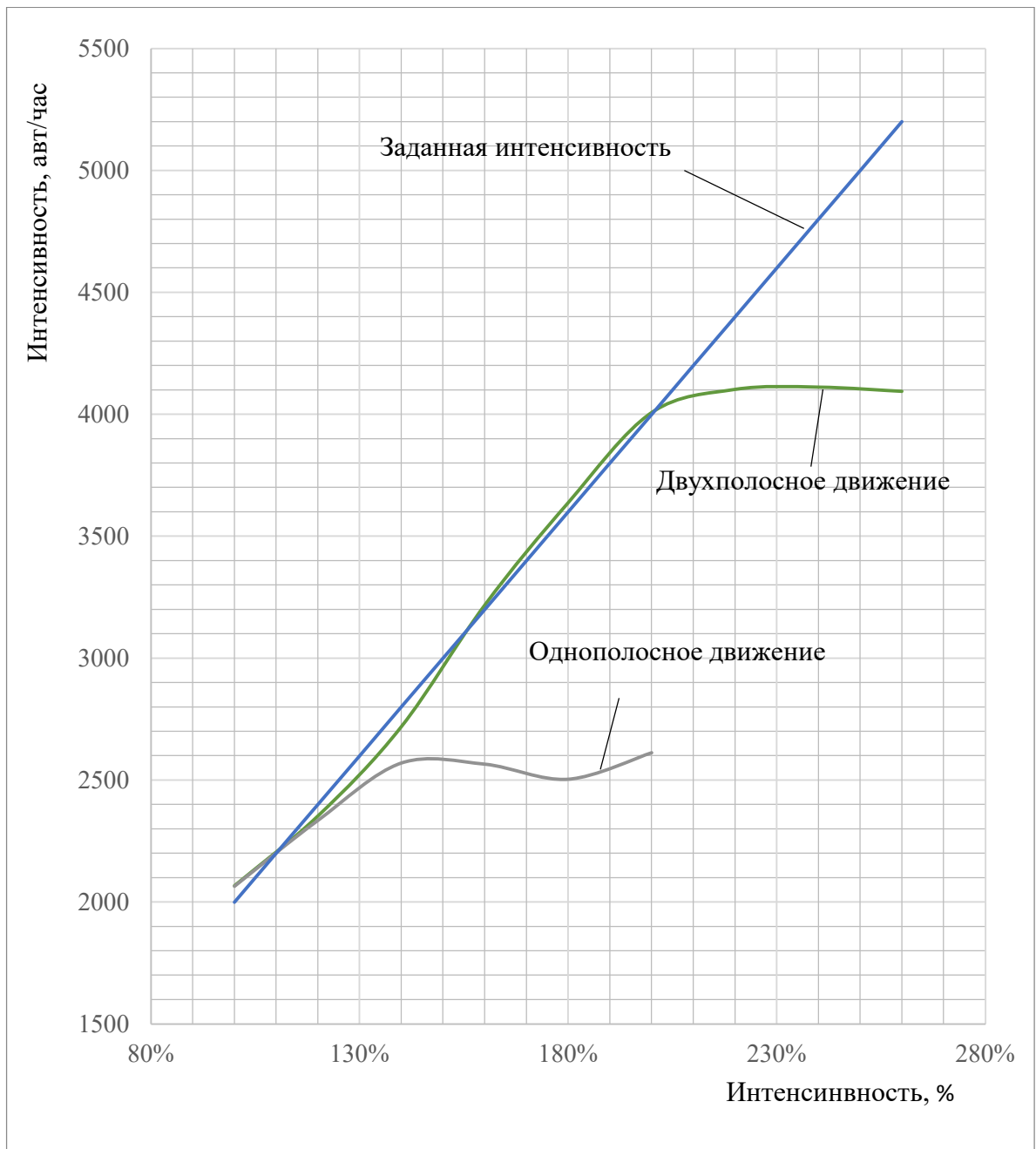


Рисунок 4.8 – График предельной интенсивности на кольцевом
Пересечении с 25% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 25% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 2335 авт./час
- двухполосном движении равна 4007 авт./час

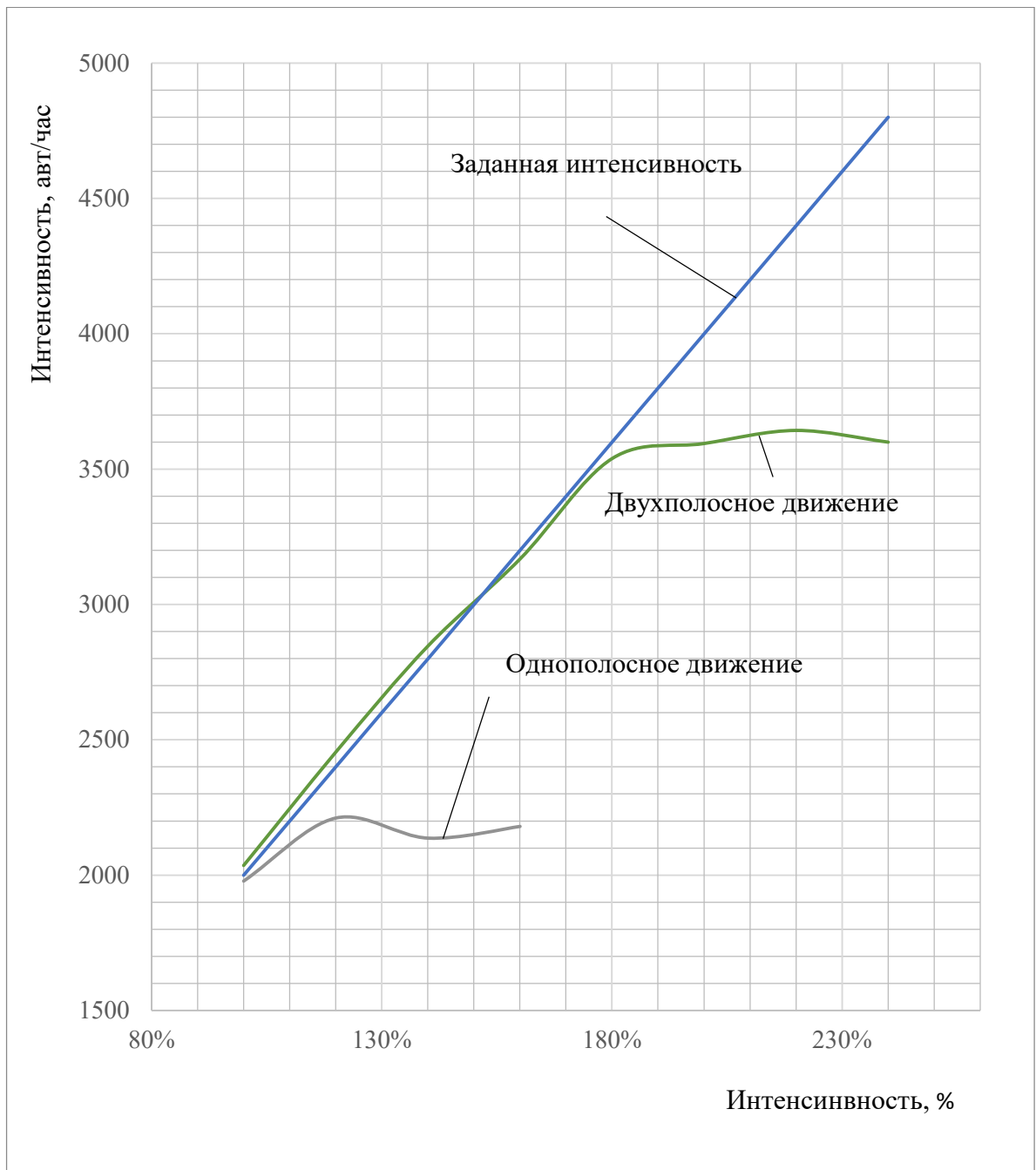


Рисунок 4.9 – График предельной интенсивности на кольцевом Пересечении с 50% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 50% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 1978 авт./час
- двухполосном движении равна 3539 авт./час

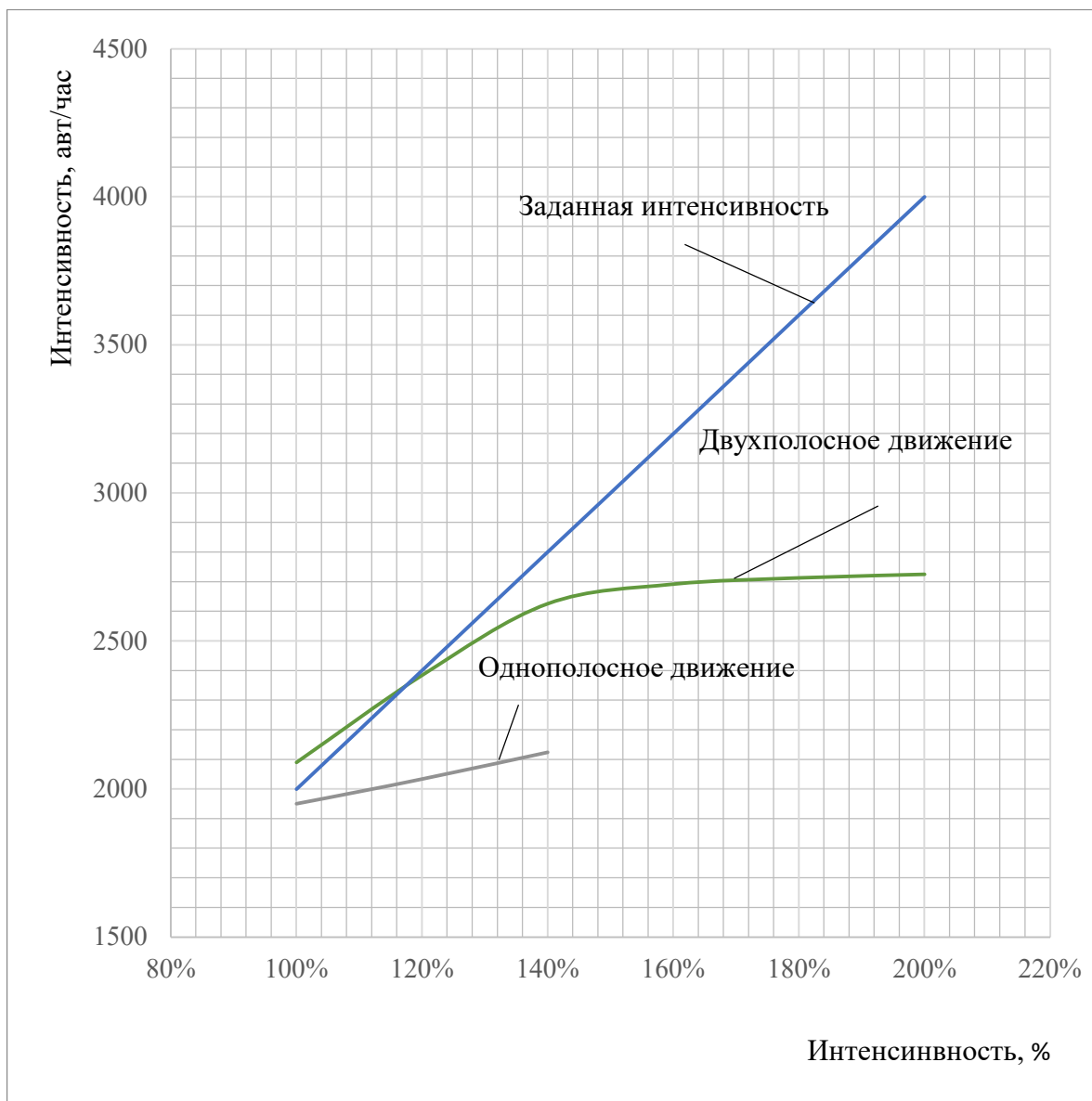
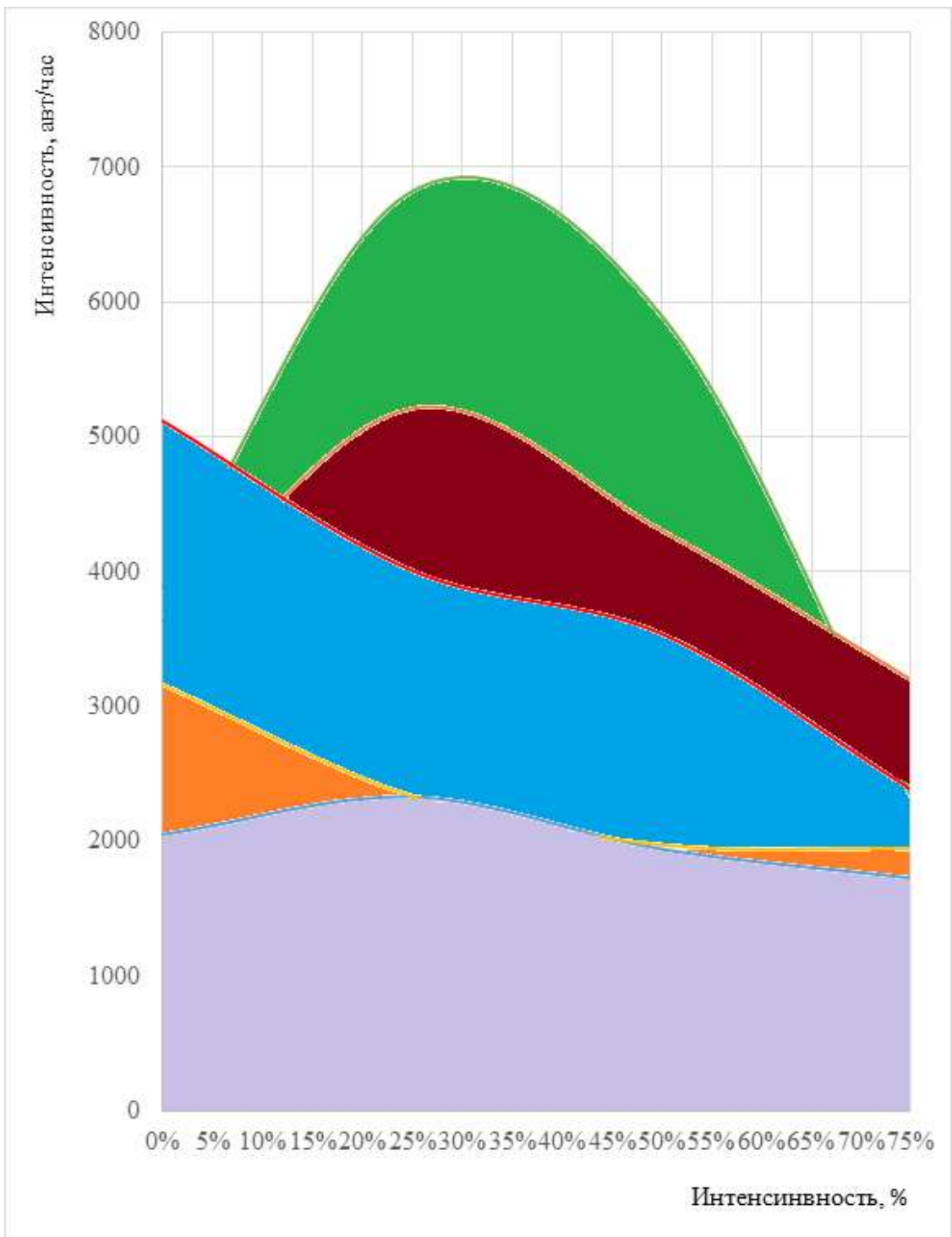


Рисунок 4.10 – График предельной интенсивности на кольцевом Пересечении с 75% интенсивности левого поворота

При величине левого поворота в 75% интенсивности пропускная способность пересечения при:

- однополосном движении равна 1950 авт./час
- двухполосном движении равна 2384 авт./час

На рисунке 4.11 изображена предельная интенсивность на х-образных и кольцевых пересечениях.



- X-образное трехполосное пересечение
- X-образное двухполосное пересечение
- кольцевое двухполосное движение
- кольцевое однополосное движение
- X-образное однополосное пересечение

Рисунок 4.11 – График предельной интенсивности на одноуровневом пресечении

Всего было проведено 158 замеров интенсивности с разным числом транспортных средств в час. Замеры проводились на одноуровневых пересечениях с числом полос движения от одной до трех, на регулируемом пересечении и от одной до двух на кольцевом пересечении.

Согласно, графикам можно предсказать с высокой достоверностью максимально возможную пропускную способность на одноуровневом пересечении в зависимости от удельного веса левого поворота, который будем измерять процентах от общей интенсивности потока.

Согласно рисунку 4.11 при высокой интенсивности транспортных потоков более эффективным является Х-образное пересечение. Его максимальная пропускная способность при трех полосах движения составляет 6824 автомобиля в час. Две полосы обеспечивают пропускную способность 5212 автомобилей в час. Одна полоса обеспечила проезд 2330 автомобилей в час.

Кольцевое пересечение оказалось менее эффективным с максимальной пропускной способностью 5116 автомобилей в час на двухполосном кольце и 4007 автомобилей в час на однополосном кольце.

Выбор типа пересечения можно произвести по рисунку 4.11. Согласно величине общей интенсивности и объема левого поворота от основного потока.

На рисунке 4.11 видна зависимость пропускной способности от величины левого поворота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. В данной выпускной квалификационной работе в соответствии с целевым заданием была разработана методика выбора типа пересечения в одном уровне.

2. Построена модель перекрестка в AIMSUN NEXT 20.

3. Рассчитаны элементы светофорного цикла для пересечений.

4. Был построена графическая зависимость пропускной способности X-образных пересечений с числом полос от одной до трех, а также и кольцевых пересечений с числом полос от одной до двух.

5. Была выявлена с высокой достоверностью предельная пропускная способность различных видов пересечений.

Для X-образного пересечения:

- трехполосное движение 6824 автомобиля в час;
- двухполосное движение 5212 автомобилей в час;
- однополосное движение 2330 автомобилей в час.

Для кольцевых пересечений:

- двухполосное движение 5116 автомобилей в час;
- однополосное движение 4007 автомобилей в час.

6. В ходе проведенных исследований была выявлена зависимость пропускной способности пересечения от левого поворота.

В ходе работы были составлены рекомендации по выбору типа пересечения в зависимости от условий движения на пересечении, где было два главных параметра:

- объем левого поворота от основного движения;
- интенсивность на пересечении.

На основе этих параметров можно сделать выбор типа пересечения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения : учеб. для ВУЗов. – Москва : Транспорт, 1993. – 271 с.
- 2 Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов / Г.И. Клинковштейн. – Москва: Транспорт, 2001. – 247 с.
- 3 ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – Введ. 01.01.2006. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 127 с.
- 4 СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – Введ. 20.05.2011. – Москва: ФЦС, 2011. – 98 с.
- 5 ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – Введ. 01.03.2012. – Москва: Росавтодор, 2012. – 49 с.
- 6 Правила дорожного движения Российской Федерации 2008. - М.: Эксмо, 2008.-192 с.
- 7 СНиП 2.05.02-85 Строительные нормы и правила. Конструктивные параметры дороги. Правила дорожного движения. – Москва: НИП, 1994. – 63 с.
- 8 ГОСТ Р 52290-2004 Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования. - Введ. 01.01.2006. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 84 с.
- 9 СТО-4 2-07-2021. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной Деятельности. - Красноярск: ИПЦСФУ ПИ, 2014 — 47 с.
- 10 Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.:ИКЦ Академкнига, 2005. – 279 с.

11 Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: Учеб. Для вузов / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. И доп. – М.: транспорт, 2001. – 247 с.

12 РунэЭльвик, АннэБоргерМюсен, ТрулсВаа. Справочник по безопасности дорожного движения/Пер. с норв. Под редакцией проф. В.В.Сильянова. М.: МАДИ(ГТУ), 2001. – 754с.

13 Технические науки в России и за рубежом: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Москва, январь 2015 г.). — М.: Буки-Веди, 2015. –140 с.

14 Теория транспортных потоков: моногр ./ А.А. Власов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 124 с.

15 А.Ю. Михайлов, Е.Л. Попова. Анализ математических моделей расчётов интервалов следования в главных потоках для преобладающих дорожных условий Российской Федерации. Вестник СибАДИ.2020

16 Михайлов А.Ю., Попова Е.Л., Гайворонский И.Л. Анализ методик расчета пропускной способности пересечений в одном уровне. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018

17 ОДМ 218.2.071-2016 Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог . – Москва: Информавтодор, 2017. – 162 с.

18 Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) // Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. 2000. 1134 p.

19 Roundabouts: An Informational Guide [Text] // U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. – Publication Number : FHWA–RD–00–67. June, 2000. – p. 277.

20 В.Н. Задорожный, Е.Б. Юдин Обзор программ моделирования транспортных потоков. Омский государственный технический университет, г. Омск

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Презентационный материал

Министерство науки высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**
«Политехнический институт»
Кафедра «Транспорт»



Выпускная квалификационная работа

«Совершенствование организации дорожного движения через перекрёстки»

Руководитель:

А.И. Фадеев

Студент:

В.В. Укадеров

Красноярск 2022

Цель работы

Совершенствование организации движения через перекрестки посредством разработки методики выбора пересечения в одном уровне.

Задачи

1. Анализ современного состояния вопроса проектирования перекрестков в одном уровне.
2. Создание классификации пресечений и определение факторов, влияющих на пропускную способность.
3. Разработка методики определения предельной пропускной способности пересечения в разных условиях движения.
4. Формирование рекомендаций по выбору пресечений.

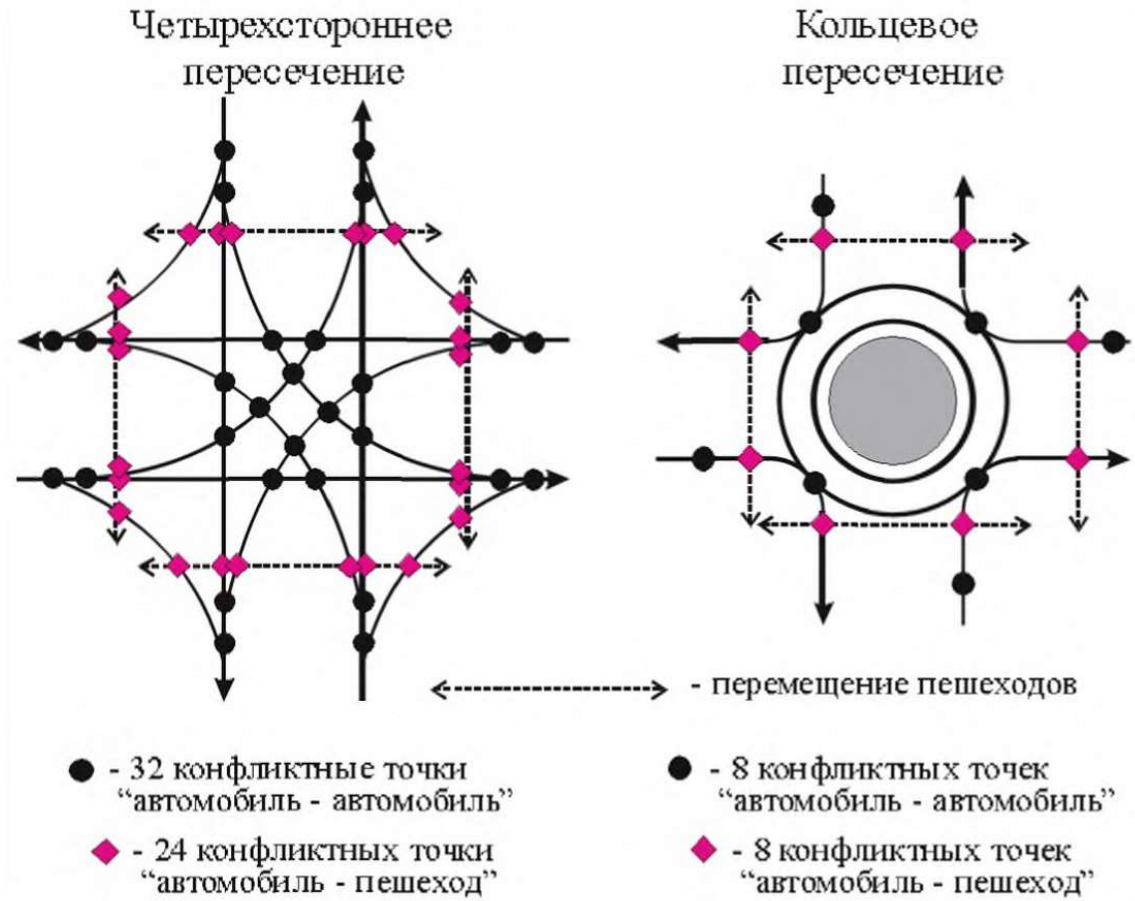
Предмет исследования

Пересечения дорог в одном уровне на улично-дорожной сети.

Объект исследования

Факторы, влияющие на пропускную способность одноуровневого пересечения.

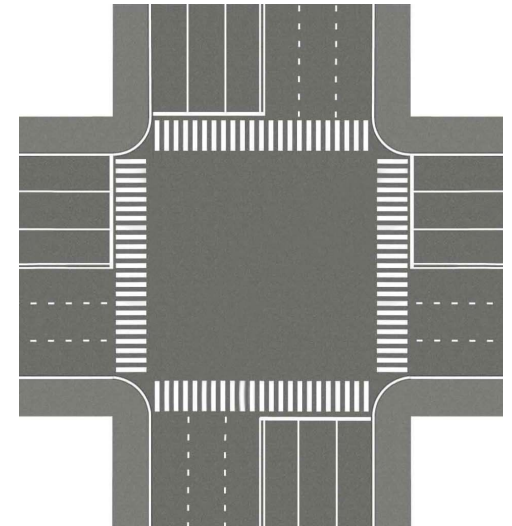
Пересечения на УДС – это наиболее опасные участки дорог, на которых происходит большая часть дорожно-транспортных происшествий, они определяют пропускную способность дорожной сети вследствие снижения скорости движения транспортных средств



Одноуровневые пересечения подразделяются на кольцевые, X-образные и T-образные.

Наиболее эффективными и безопасными являются X-образные и T-образные перекрестки, которые имеют угол пересечения 90 градусов. Перекрестки с другим углом, отличающимся от 90 градусов, считаются пересечениями неправильной формы, что отрицательно влияет на их безопасность и пропускную способность.

К преимуществам кольцевых пересечений относятся их безопасность, вследствие меньшего числа конфликтных точек по сравнению с X-образными объектами. К недостаткам кольцевого пересечения можно отнести невысокую пропускную способность, невозможность организации выделенной полосы для движения общественного транспорта, значительную величину занимаемого пространства, что критично для городских условий.



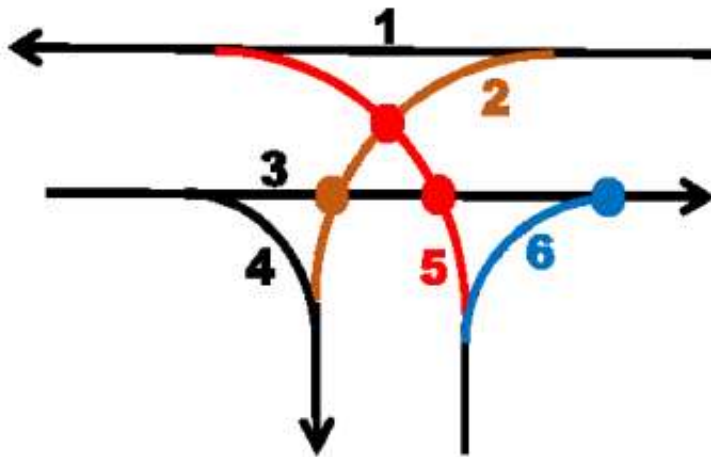
При проектировании пресечения в одном уровне выполняется составление плана пересечения, на котором отображается схема правых и левых поворотов, расположение пешеходных переходов, количество и ширина полос движения.

Необходимо определить размеры основных планировочных элементов кольцевого пересечения: диаметра кольца, количество полос, ширину проезжей части пересечения, а также участков въезда и выезда. Определяют наличие и размеры направляющего островка с учётом размещения зоны накопления для пешеходов.

X-образные и T-образные пересечения бывают регулируемые и нерегулируемые. Регулирование осуществляется посредством светофорного объекта, цикл регулирования которого представляет собой совокупность всех фаз управления движением транспорта по каждому из направлений движения транспорта.

В настоящее время разработаны эффективные методики расчета функционирования светофорного объекта.

Существующие аналитические методы не учитывают всех факторов, оказывающих существенное влияние на пропускную способность узлов УДС, результаты получаемые разными методами расчета пропускной способности существенно разнятся, что не позволяет осуществлять выбор конфигурации узлов в процессе их проектирования



Интенсивность главного потока, авт./час	Значения пропускной способности второстепенных направлений, авт/ч					
	Направление 2		Направление 5		Направление 6	
	НСМ 2000	ОДМ 218.2.02 0.2012	НСМ 2000	ОДМ 218.2.020 .2012	НСМ 2000	ОДМ 218.2.02 0.2012
100	1231	1428	731	1428	878	892
200	1095	1246	574	1246	792	846
300	973	1017	398	1017	714	804
400	865	907	230	907	644	758
500	768	835	67	835	579	693
600	682	794	Исчерпана	794	521	641

Моделирование транспортных потоков

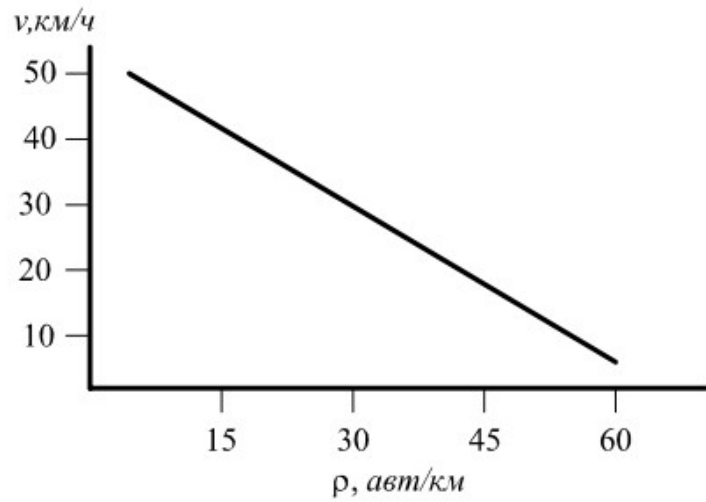
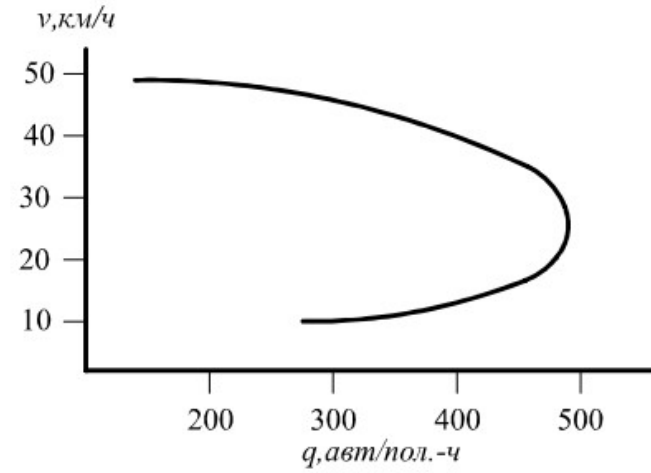
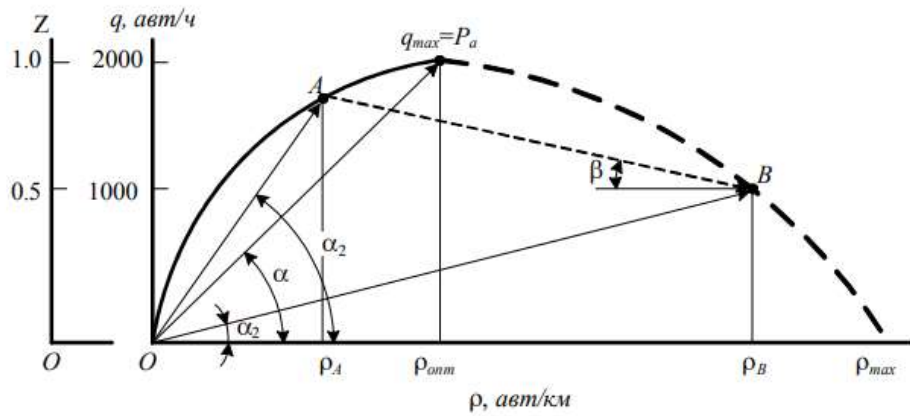
Для создания модели транспортного потока необходимо учесть весь комплекс условий, так как все элементы системы «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда» (ВАДС) взаимосвязаны и формализация процессов, связанных с дорожным движением, ведет к проблеме адекватности модели.

Существует несколько видов моделей:

Макроскопические модели транспортного потока воспроизводят агрегированные свойства взаимодействий транспортных средств используя для этого макроскопические переменные:

- средняя скорость $v(x, t)$, м/ч;
- плотность транспортного потока $\rho(x, t)$ авт/км;
- интенсивность движения $q(x, t)$, , авт/ч;

где x и t представляют соответственно переменные пространства и времени.



Микроскопические модели транспортного потока

Для различных сценариев движения микроскопические модели определяют поведение транспортного потока, описывая на основе взаимодействия между отдельными транспортными средствами. При этом принято для описания пространства состояния модели использовать следующие переменные:

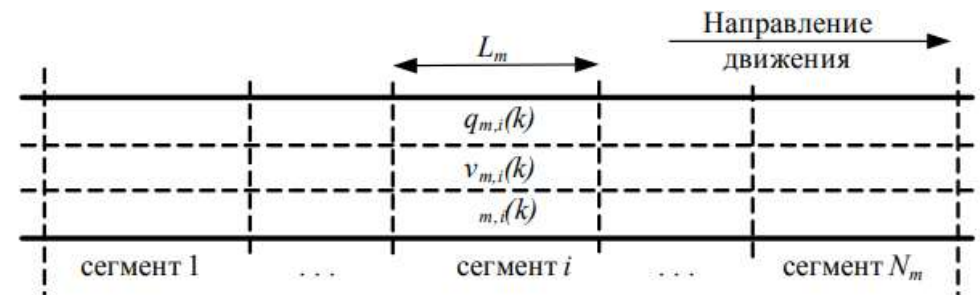
- n – номер транспортного средства;
- x_n, v_n, a_n, L_n продольная позиция, скорость, ускорение, и длина транспортного средства i ;
- δ_n – расстояние между транспортным средством n и $n + 1$ (в группе),
- h_n – время движения для транспортного средства n ;
- s_n – положение транспортного средства n ;
- τ_n – время реакции водителя транспортного средства n .

Макроскопические модели первого порядка. Модель Лайтхила-Уизема-Ричардса (LWR-модель). Модель транспортного потока известна как LWR–модель или модель первого порядка. Ключевая идея модели LWR – модели состоит в том, что интенсивность транспортного потока q может быть выражена как функция плотности ρ и наличием фундаментальной зависимости между макроскопическими переменными.

В модели предполагается:

- существование взаимно-однозначной зависимости между скоростью $v(x,t)$, и плотностью потока $\rho(x,t)$;
- выполнение закона сохранения массы (числа транспортных средств).

Макроскопические модели второго порядка. Дискретная модель второго порядка METANET. В модели METANET каждая связь $m \in M_{net}$ разделена на сегменты длиной L_m (рис.. 2.4), причем для всех сегментов определены одинаковые характеристики, такие как число полос движения n , пропускная способность и т.д.

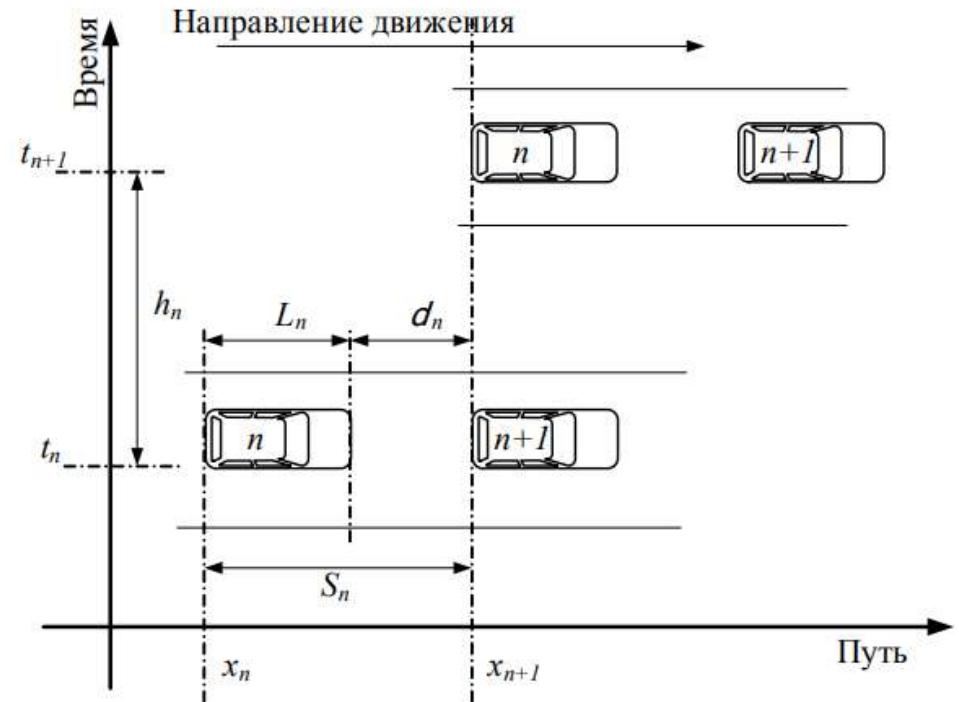


Микроскопические модели транспортного потока

Для различных сценариев движения микроскопические модели определяют поведение транспортного потока, описывая на основе взаимодействия между отдельными транспортными средствами. При этом принято для описания пространства состояния модели использовать следующие переменные:

- n – номер транспортного средства;
- x_n, v_n, a_n, L_n продольная позиция, скорость, ускорение, и длина транспортного средства i ;
- δ_n – расстояние между транспортным средством n и $n + 1$ (в группе),
- h_n – время движения для транспортного средства n ;
- s_n – положение транспортного средства n ;
- τ_n – время реакции водителя транспортного средства n .

Модели следования за лидером. Задачей вождения в продольном направлении включает действия, для достижения желательной скорости и поддержанию безопасного расстояния между автомобилями. Решение о смене полосы движения и принятие интервала между следующими по соседней полосе автомобилями для совершения маневра перестроения, является задачей поперечного вождения. Обе задачи могут быть описаны относительно состояния окружающей среды транспортного потока или с учетом других автомобилей в транспортном потоке.



Модели смены полосы движения.

Модели данного вида описывают процесс принятия решения водителями о выполнении маневра смены полосы движения, который может быть рассмотрен как последовательность трех шагов:

- принятие решения о смене полосы движения;
- выбор целевой полосы движения;
- принятие интервала для совершения маневра.

Использование модели следования за лидером в задаче поддержания дистанции. Основным требованием, предъявляемым к автотранспортным средствам, является обеспечение безопасности дорожного движения. Выполнение данного требования, в условиях непрерывного роста скоростей и интенсивности транспортных потоков, представляет собой важнейшую техническую и социально-экономическую задачу. Многочисленные исследования показывают, что основной причиной дорожно-транспортных происшествий является человеческий фактор. Зависимость процесса управления движением автомобиля от психофизиологического состояния водителя создает трудности в решении проблемы обеспечения безопасности движения. Устранение указанной зависимости следует решать путем автоматизации управления движением автомобиля в рамках концепции интеллектуального транспортного средства.

Модели клеточных автоматов. Модели клеточных автоматов делят дорогу на малые сегменты. В данный момент времени каждый сегмент может или не может быть занят автомобилем. Кроме того, скорость автомобиля v дискретизирована и может только иметь дискретные значения, которые находятся в диапазоне между нулем и v_{\max} . Относительно времени дискретизации, временной шаг моделирования выбирается таким образом, чтобы во время одного временного шага, автомобиль с определенной скоростью v проезжал n сегмент.

Динамика автомобиля обновляется согласно следующим правилам:

- ускорение: Если скорость автомобиля не достигла своего максимального значения v_{\max} и также если расстояние до впереди идущего автомобиля больше чем $v + 1$, то скорость увеличивается на единицу: $v \leftarrow v + 1$.
- рандомизация: С вероятностью p , скорость каждого автомобиля уменьшена на единицу.
- движение: во время временного шага каждый автомобиль продвинется вперед с n сегмента.

Методика определения пропускной способности пересечения

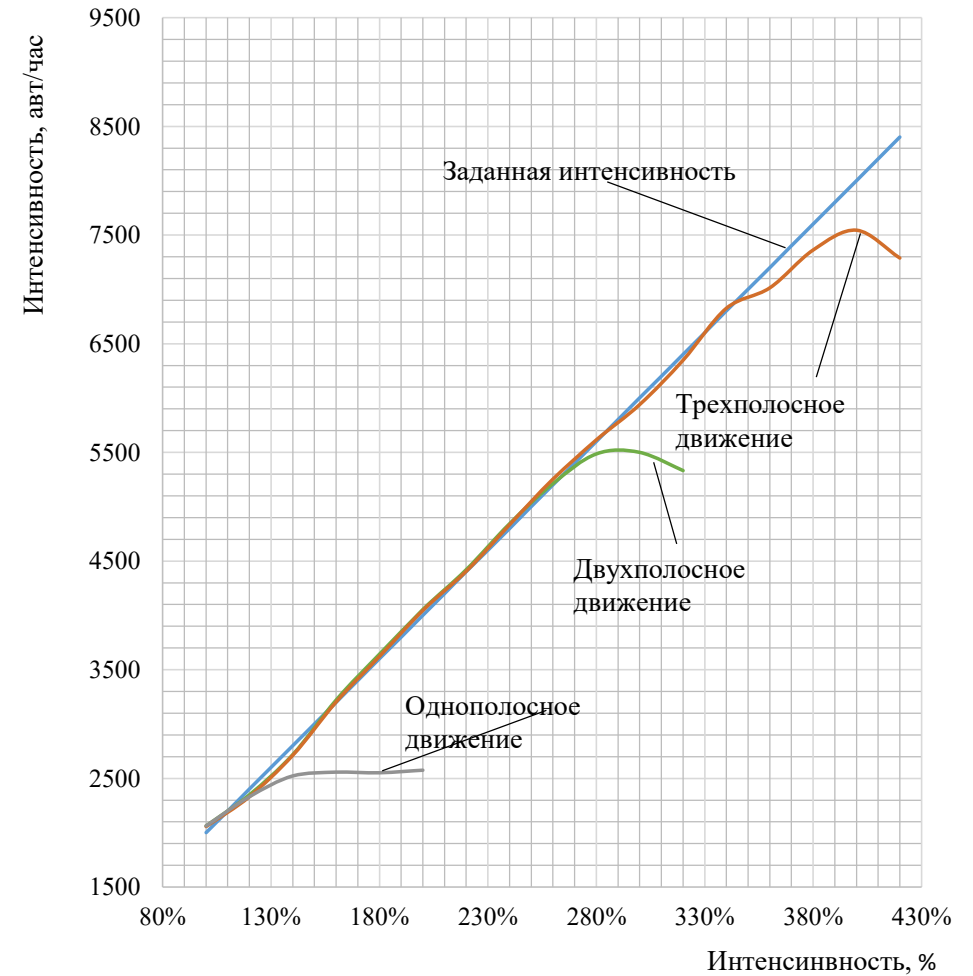
- Построение модели пересечений в AIMSUN NEXT с числом полос от 1 до 3 на X-образном и от 1 до 2 на кольцевом пересечении
- Расчет светофорного цикла для пересечения с регулируемым движением
- Необходимо проводить измерения пропускной способности на каждом виде пересечения с увеличением общей интенсивности на 20% с каждым шагом
- Измерять интенсивность в зависимости от левого поворота начиная с 0% до 75%, с шагом в 25%.

Результаты интенсивности на х-образных пересечениях

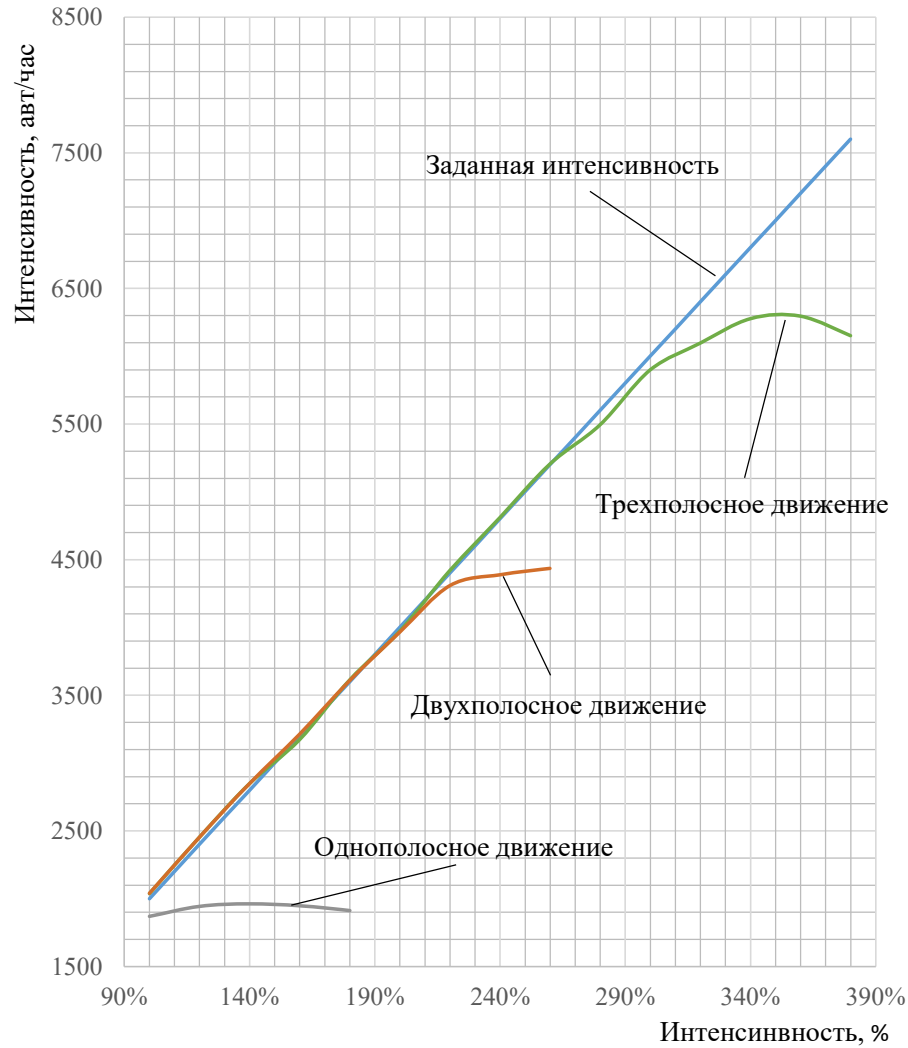
0%



25%



50%

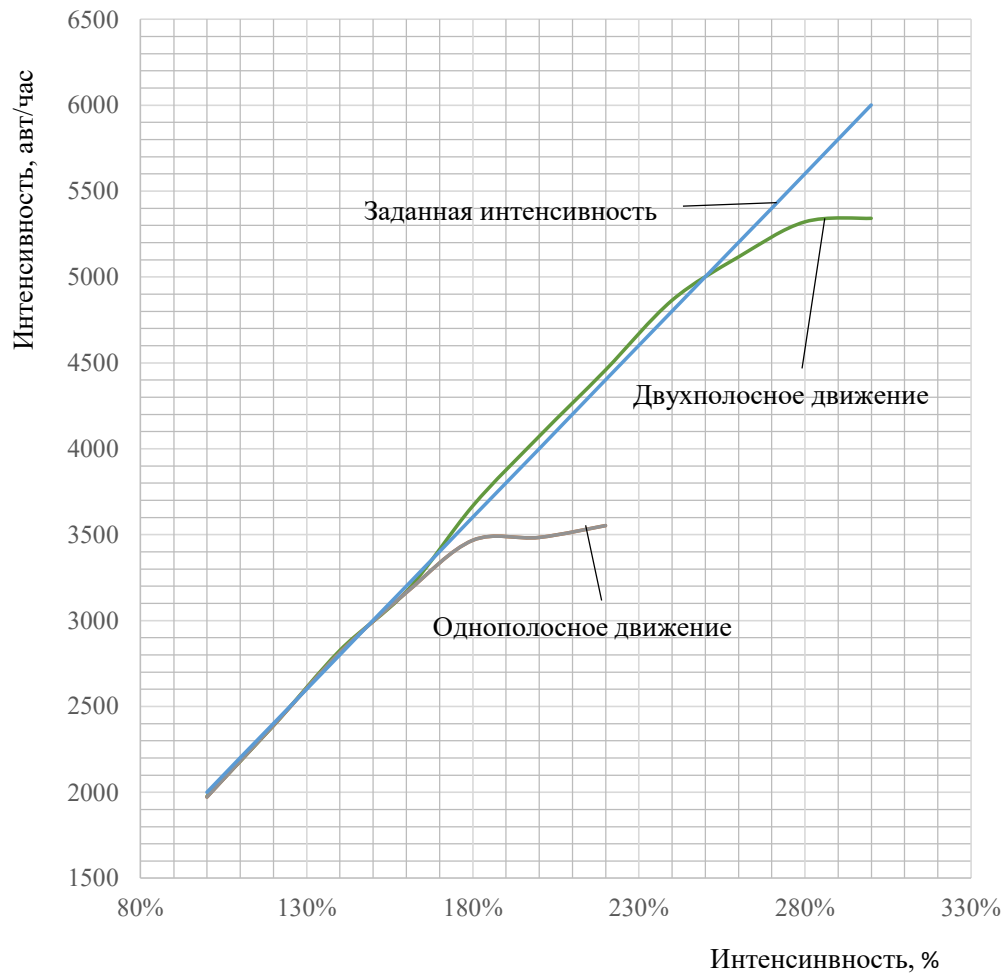


75%

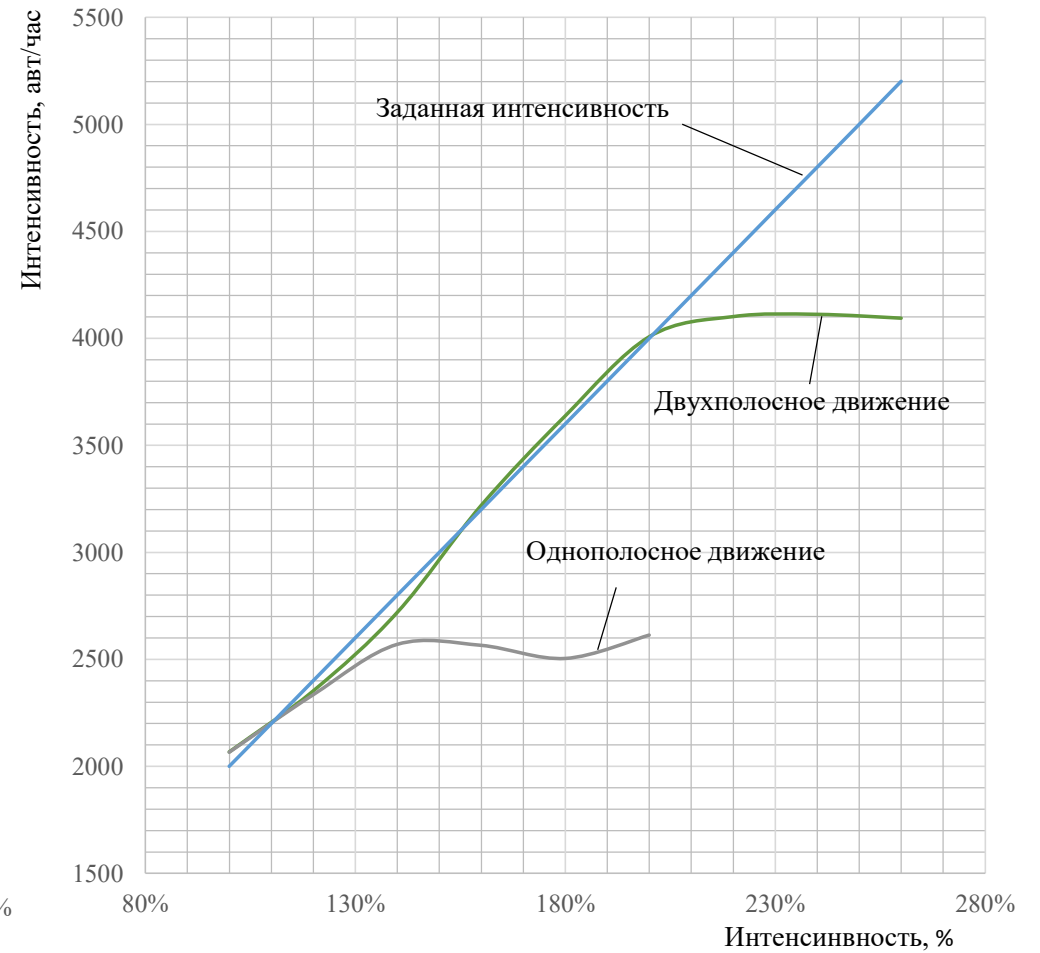


Результаты интенсивности на кольцевых пересечениях

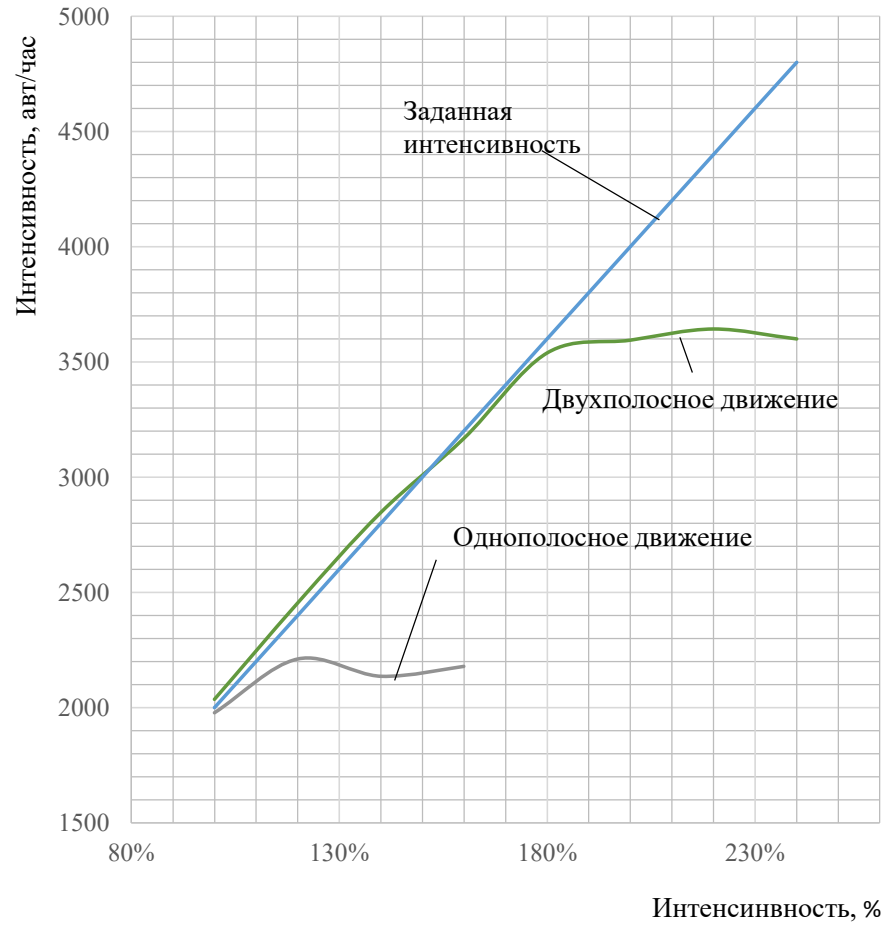
0%



25%



50%



75%

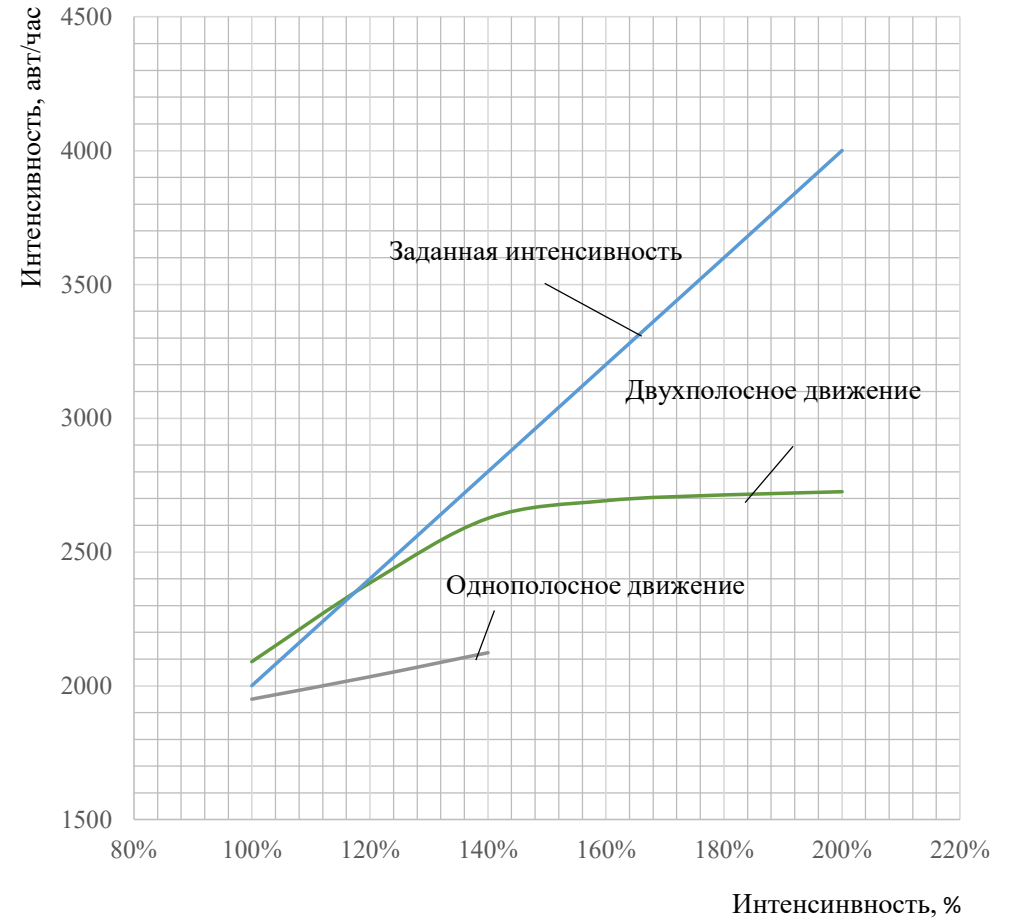
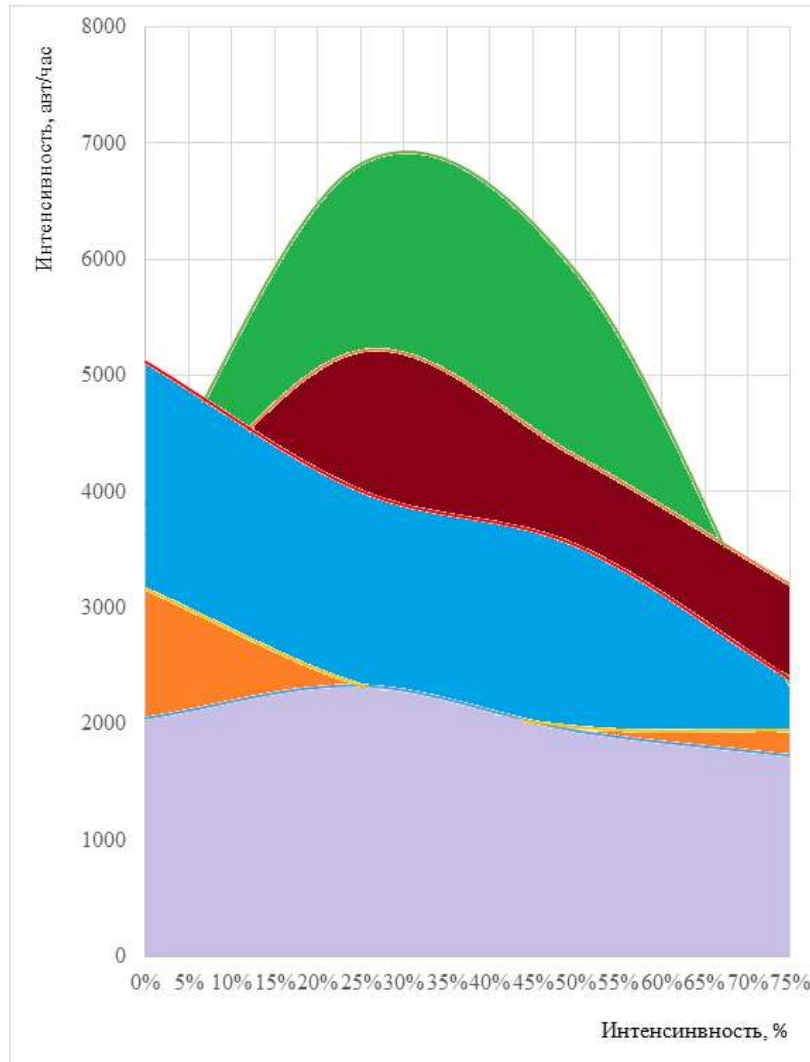


Диаграмма выбора типа пересечения



- X-образное трехполосное пересечение
- X-образное двухполосное пересечение
- кольцевое двухполосное движение
- кольцевое однополосное движение
- X-образное однополосное пересечение

Заключение

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. В данной выпускной квалификационной работе в соответствии с целевым заданием была разработана методика выбора типа пересечения в одном уровне.
2. Был построена графическая зависимость пропускной способности X-образных пересечений с числом полос от одной до трех, а также и кольцевых пересечений с числом полос от одной до двух.
3. Была выявлена с высокой достоверностью предельная пропускная способность различных видов пересечений.

Для X-образного пересечения:

трехполосное движение 6824 автомобиля в час;
двухполосное движение 5212 автомобилей в час;
однополосное движение 2330 автомобилей в час.

Для кольцевых пересечений:

двухполосное движение 5116 автомобилей в час;
однополосное движение 4007 автомобилей в час.

4. В ходе проведенных исследований была выявлена зависимость пропускной способности пересечения от левого поворота.

Спасибо за внимание



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
«Политехнический институт»
Кафедра «Транспорта»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.С. Яковлев

« 16 » 06 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Совершенствование организации дорожного
движения через перекрёстки

23.04.01 – Технология транспортных процессов

23.04.01.01 – Организация перевозок и управление на автомобильном
транспорте

Руководитель

Выпускник

Рецензент

А.И. Фадеев д.т.н., доцент А.И. Фадеев
В.В. Укадеров В.В. Укадеров
А.А. Тарских нач. отд ТПиМ А.А. Тарских,
МКУ «Управление капитального строительства»

Красноярск 2022