

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Волгоградский государственный технический университет»

На правах рукописи

СИЛЬЧЕНКОВ ДМИТРИЙ ДМИТРИЕВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА
КОЛЬЦЕВОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ СО СВЕТОФОРНЫМ
РЕГУЛИРОВАНИЕМ И ПРОРЕЗАННЫМ ЦЕНТРАЛЬНЫМ
ОСТРОВКОМ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Комаров Юрий Яковлевич

Волгоград – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
ГЛАВА 1. КОЛЬЦЕВОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ, КАК ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	12
1.1 Общие сведения о кольцевых пересечениях	12
1.2 Организация движения на КПСРПЦО	27
1.3 Выводы по разделу	30
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КПСРПЦО НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ	31
2.1 Описание программного комплекса Aimsun	31
2.2 Применение КПСРПЦО на примере реального перекрестка	38
2.3 Сравнение безопасности дорожного движения на КПСРПЦО и при других технологиях организации дорожного движения	43
2.4 Определение транспортных условий применения КПСРПЦО	53
2.5 Выводы по разделу	62
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДЕРЖЕК ОТ ОРГАНИЗАЦИОННО – ПЛАНИРОВОЧНЫХ ФАКТОРОВ КПСРПЦО И ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	64
3.1 Исследование закономерностей транспортных задержек от организационно – планировочных факторов КПСРПЦО и характеристик дорожного движения по главной дороге	70
3.2 Исследование закономерностей транспортных задержек от организационно – планировочных факторов КПСРПЦО и характеристик дорожного движения по второстепенной дороге	81
3.3 Выводы по разделу	91
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КПСРПЦО	93
4.1 Определение параметров КПСРПЦО для пересечения пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады в г. Волгограде	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А	137
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	138
ПРИЛОЖЕНИЕ В	162
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	186

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. При сохраняющихся высоких темпах автомобилизации в Российской Федерации транспортная инфраструктура городов развивается более инертно, что приводит к росту транспортных заторов, к потерям в дорожном движении (ДД), эмоционально – психологическому напряжению водителей и пассажиров, находящихся в транспортном заторе, что, зачастую, побуждает их к нарушениям правил дорожного движения (ПДД), влечет за собой рост аварийности. Государство пытается решить данную проблему, проводит политику в области обеспечения безопасности дорожного движения (БДД). За последние несколько десятилетий были приняты к реализации следующие нормативно-правовые акты: Программы повышения безопасности дорожного движения в 2006-2012 г. [1] и 2013-2020 г. [2], Стратегия безопасности дорожного движения [3], Указ Президента РФ №204 от 7 мая 2018 г «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [4], направленный на достижение следующего целевого показателя – 4 погибших на 100000 жителей к 2024 г., со стремлением к нулевому уровню смертности к 2030 г. Для достижения данного показателя предлагаются следующие пути: развитие и повышение качества улично – дорожной сети (УДС), внедрение новых стандартов обустройства автомобильных дорог, снижение и устранение мест концентраций дорожно – транспортных происшествий (ДТП), внедрение новых технологий организации дорожного движения, в том числе с применением автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД), интеллектуальных транспортных систем (ИТС), усиление ответственности граждан за нарушение ПДД и др. Данные нормативные документы показывают, что повышение БДД и разработка новых технологий в организации дорожного движения (ОДД) являются приоритетными направлениями государственной политики и важным фактором обеспечения устойчивого социально-экономического и демографического развития страны [3].

По открытым статистическим данным о ДТП, предоставляемыми сайтом ГИБДД [5], можно определить места концентрации ДТП только на федеральных автомобильных дорогах. По крупным городам такой информации не предоставляется. Для федеральных автодорог и городских условий места концентрации ДТП – это места, обусловленные несколькими одновременно действующими факторами [6, 7] : нарушения ПДД, в частности: несоблюдение скоростного режима, режима труда и отдыха, правил обгона, стоянки и т.д., на которых осуществляется интенсивное ДД, имеющие места притяжения граждан, «неудачное» планировочное решение и др.

В городских условиях эмоционально – психологическое состояние человека – водителя более напряжено, ему необходимо обнаружить и проанализировать больше объектов, чем за городом. В городских условиях водитель быстрее устает, из – за чего возрастает вероятность совершения неверного действия. Сейчас активно ведется обсуждение о снижении разрешенной скорости движения в городах [8, 9], особенно в центральных частях, которые являются местами притяжения граждан и концентрации ДТП. Сторонники приводят следующие аргументы: при снижении скорости кинетическая энергия транспортного средства снижается по квадратичной зависимости, следовательно, снижается остановочный путь автомобиля, вероятность гибели пешехода при ДТП, тяжесть последствий ДТП для пешеходов, водителей и пассажиров; обращаются к зарубежному (европейскому) опыту, где в столицах многих стран разрешенная скорость движения составляет 40 – 50 км/ч. Противники приводят доводы, что снижение скорости приведет к росту транспортных заторов и, следовательно, ухудшению экологической обстановки в городах, увеличению длительности поездок.

Общеизвестно, что в центральных частях крупных городов расположено большое количество мест притяжения граждан со значительным числом памятников архитектуры что, не позволяет развивать УДС в необходимом объеме, использовать европейскую модель развития городов [10] в РФ. Все это приводит к дальнейшему росту транспортных заторов, экономическим и экологическим потерям в ДД, эмоционально – психологическому напряжению водителей и

пассажиров, находящихся в транспортном заторе, что, зачастую, побуждает их к нарушениям ПДД, влечет за собой рост аварийности.

Применение «каноничных» методов и технологий ОДД [11 – 14] не дает значительных результатов по снижению транспортных задержек, заторов и повышения БДД, ввиду высокого уровня автомобилизации, мобильности населения, отставания развития УДС от уровня автомобилизации [15].

Таким образом, исследования, направленные на решение транспортных проблем, в частности на снижение потерь времени участниками дорожного движения, которые в соответствии с ФЗ № 443 «Об организации дорожного движения в Российской Федерации ...» [16] являются критерием эффективности ОДД, в городах путем развития технологий организации круговых пересечений с разработкой алгоритмов обоснования оптимальных решений, являются актуальными особенно для центральных частей крупных городов.

Степень разработанности темы. Степень разработанности темы. Работы в области исследований круговых пересечений ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как: ОАО Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (НииАТ), ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ), ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ) и др. Весомый вклад в исследование круговых пересечений внесли следующие отечественные и зарубежные ученые: Виталин С. В., Жанказиев С. В., Зедгенизов А. В., Лагерева Р. Ю., Левашев А. Г., Липницкий А. С., Литвинов А. В., Михайлов А. Ю., Новиков И. А., Поздняков М. Н., Поспелов П. И., Сидоров Б. А., Сильянов В. В., Солодкий А. И., Чичин С. В., Чумаков Д. Ю., Шаром М. И., Щит Б. А., Tollazzi T., Mauro R., Branco F., Bulla L.A., Castro W., Brilon W., Mauro R., и др.

Анализ нормативно – технической литературы, а также научных работ в области применения круговых пересечений в городских условиях показывает, что исследования по определению оптимальных параметров круговых пересечений со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком (КПСРПЦО) в зависимости от характеристик движения не получили должного развития.

Цель исследования – повышение эффективности использования кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком.

Задачи исследования:

1. Анализ применения и существующих технологий ОДД на круговых пересечениях.
2. Разработка имитационной модели дорожного движения на участке УДС крупного города, проверка ее валидатности.
3. Обоснование области применения КПСРПЦО, как технологии ОДД, на одноуровневых пересечениях.
4. Исследование закономерностей транспортных задержек от организационно – планировочных факторов КПСРПЦО и характеристик дорожного движения.
5. Разработка математических зависимостей, позволяющих определить оптимальные параметры КПСРПЦО.
6. Разработка методики и рекомендаций по применению КПСРПЦО на УДС.

Объектом исследования является дорожное движение на кольцевом пересечении со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком.

Предметом исследования является эффективность организации дорожного движения на кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком.

Рабочая гипотеза. Малое количество КПСРПЦО на УДС городов обусловлено отсутствием системной информации о возможности применения,

методик расчета параметров, транспортных задержках и т.д., может быть повышено за счет создания методики обоснования параметров и рекомендаций по применению данной технологии ОДД.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования являются научные работы и нормативно-методические документы отечественных и зарубежных авторов в области круговых и регулируемых пересечений. При решении поставленных задач использовались методы анализа, натурного обследования транспортных потоков, компьютерного моделирования (микромодели ДД), метод планирования эксперимента и равномерного поиска, методы статистической обработки экспериментальных данных.

Научная новизна работы заключается:

1. Классифицированы рекомендации по организации движения пешеходов на кольцевых пересечениях.
2. Впервые обоснована область эффективного применения КПСРПЦО в зависимости от средних интенсивностей дорожного движения на пересекающихся улицах (дорогах) с учетом доли левоповоротного движения по основному направлению.
3. Определены зависимости времени задержки от организационно – планировочных факторов и характеристик дорожного движения на КПСРПЦО.
4. Впервые предложено рассматривать кольцевую часть КПСРПЦО как совокупность полуколец. Предложен параметр «пропускная способность полосы движения полукольца (ПСПК)». Установлена зависимость «ПСПК» от организационно – планировочных факторов на КПСРПЦО.
5. Определены зависимости числа полос движения и режима работы светофорной сигнализации на КПСРПЦО от характеристик дорожного движения.

Практическая значимость результатов исследования:

1. Разработана методика определения основных геометрических параметров кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком (диаметр центрального островка, количество полос на кольцевой части транспортной развязки) и параметров

светофорной сигнализации (длительность светофорного цикла и фаз регулирования). Применение адаптированной методики расчета параметров светофорной сигнализации позволяет уменьшить среднюю транспортную задержку на транспортной развязке в среднем на 28 %, а в наиболее вероятном режиме работы, когда сумма фазовых коэффициентов по главной и второстепенной дороги находится в границах 0,5..0,7, – 40 %.

2. Разработана номограмма выбора планировочного решения перекрестка, отличающаяся от существующих тем, что определена область эффективного применения кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком, с учетом доли левоповоротного движения по основному направлению;

3. Разработанная математическая модель дорожного движения на улично – дорожной сети крупного города в программном комплексе Aimsun позволяет оценить применение кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком, как высоко эффективное средство в борьбе с транспортными заторами. При применении кольцевого пересечения со светофорным регулированием и с прорезанным центральным островком с диаметром 40 м на пересечении пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады средняя транспортная задержка на пересечении уменьшилась в 8,7 раз.

Область исследования диссертационной работы соответствует паспорту специальности ВАК 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам 8 – «Исследования в области технологий организации дорожного движения, развития технических средств организации дорожного движения», 9 – «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности».

Положения, выносимые на защиту:

1. Область эффективного применения КПСРПЦО в зависимости от характеристик транспортных потоков на участке УДС.

2. Установленные закономерности задержек от транспортных и организационно – планировочных факторов на КПСРПЦО.

3. Область применения методики Ф. Вебстера по расчету транспортной задержки на КПСРПЦО.

4. Разработанная методика обоснования параметров и рекомендаций по применению КПСРПЦО.

Степень достоверности научных положений и результатов, полученных в ходе выполнения диссертационного исследования, подтверждается хорошим согласованием результатов с современными результатами практических работ и экспериментальных исследований в области круговых и регулируемых пересечений.

Апробации работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на внутривузовских научно-практических конференциях ВолгГТУ (Волгоград, 2016 – 2021), XXII Региональная конференция молодых учёных Волгоградской области (Волгоград, 2017), международной научно-практической конференции «Развитие науки в современном мире» (Душанбе, 2017), международной научно – практической конференции «Инновационные процессы в научной среде» (Прага, 2017), международной научно-практической конференции «Результаты современных научных исследований и разработок» (Минск, 2017); VII Международной научно – практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2021), XV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России» (Волгоград, 2021), научных семинарах кафедры «Автомобильный транспорт» ВолгГТУ в 2016 – 2021 годах, в статьях, определенных в перечне ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ в том числе: 3 печатные работы опубликованы в изданиях, определенных в перечне ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК

Министерства науки и высшего образования РФ, 1 работа в издании, входящем в базу данных Scopus.

Материалы диссертационного исследования используются в учебном процессе при обучении бакалавров по направлению 23.03.01 «Технология транспортных процессов» по дисциплине «Моделирование дорожного движения» и магистров по направлению 23.04.01 «Технология транспортных процессов» по дисциплине «Автоматизированные системы управления дорожным движением» на факультете автомобильного транспорта Волгоградского государственного технического университета, при выборе параметров кольцевых пересечений в ООО «Иноватор-строитель».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 108 наименований. Текст диссертации изложен на 187 страницах, включает 29 таблиц, 59 иллюстраций, 3 приложения.

Основное содержание работы:

Во введении обоснована актуальность проблемы, определены цели и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая ценность, изложены положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе проведен анализ применения и существующих технологий ОДД на круговых пересечениях. Выявлены основные преимущества и недостатки круговых пересечений. Установлено, что КПСРПЦО нашли ограниченное применение на УДС городов ввиду отсутствия научно-методической основы их применения. Определены основные идеи КПСРПЦО: предоставление преимущества движению главному направлению, заключающегося в организации сквозного проезда через центральный островок, и снижение вероятности блокировки транспортного узла левоповоротными потоками. На основе анализа научно-методической литературы установлены принципы ОДД на КПСРПЦО. Классифицированы существующие отечественные и зарубежные рекомендации по организации движения пешеходов вблизи кольцевых пересечений.

Во второй главе анализируется ДД на реальном пересечении пр. им. В. И. Ленина и ул. 7-ой Гвардейской Бригады в г. Волгограде. Описывается создание

модели ДД в программном комплексе Aimsun, проводится проверка ее валидности. На откалиброванной модели перекрестка строится модель КПСРПЦО с диаметром 40 м. В результате чего достигается снижение средней транспортной задержки на пересечении в 8,7 раз. Расчетными методами показано, что КПСРПЦО безопаснее перекрестка с двумя фазами регулирования и кольцевого пересечения, так как совмещает в себе элементы кольцевого пересечения и принцип разделения транспортных потоков во времени. На основе моделирования ДД в программном комплексе Aimsun разработана номограмма выбора планировочного решения перекрестка, оценивающая область эффективного применения КПСРПЦО.

В третьей главе приведены результаты исследований закономерностей транспортных задержек от организационно – планировочных факторов КПСРПЦО и характеристик дорожного движения.

В четвертой главе на основе анализа экспериментальных и расчетных данных получены зависимости для определения числа полос на КПСРПЦО. Впервые было предложено рассматривать круговую часть КПСРПЦО как совокупность полуколец, так как в зависимости от транспортных потоков по главному и второстепенному направлению дорожно-транспортные ситуации (ДТС) на полукольцах могут отличаться друг от друга. Адаптирована методика расчета светофорной сигнализации Ф. Вебстера для условий КПСРПЦО, определена ее эффективность, систематизированы рекомендации по применению КПСРПЦО, как технологии ОДД на одноуровневых пересечениях. Приведена методика обоснования параметров КПСРПЦО. Проведена апробация предлагаемой методики для пересечения пр. им. В. И. Ленина и ул. 7-ой Гвардейской Бригады.

ГЛАВА 1. КОЛЬЦЕВОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ, КАК ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

1.1 Общие сведения о кольцевых пересечениях

В 1877 г. француз Юджин Энард предложил проект кольцевого пересечения возле площади Оперы в г. Париже (показано на рисунке 1.1) [17, 18, 19].

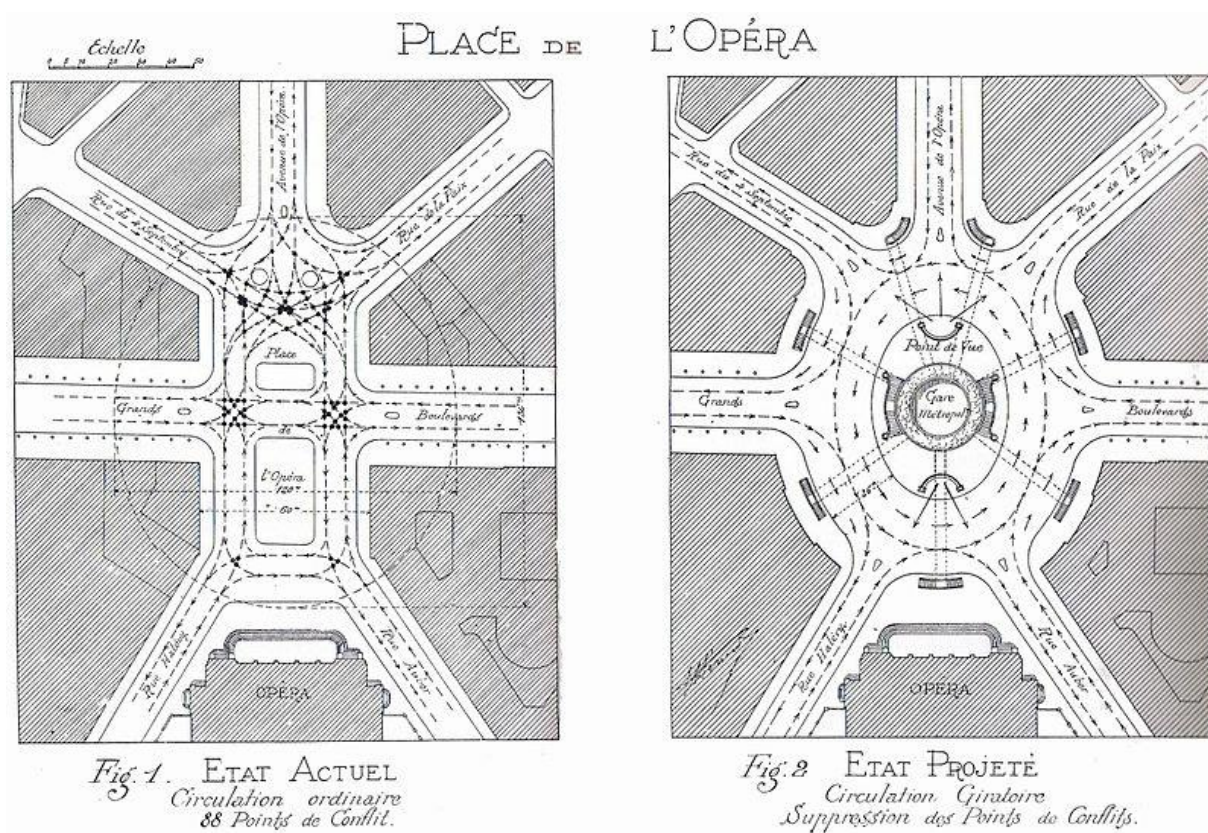
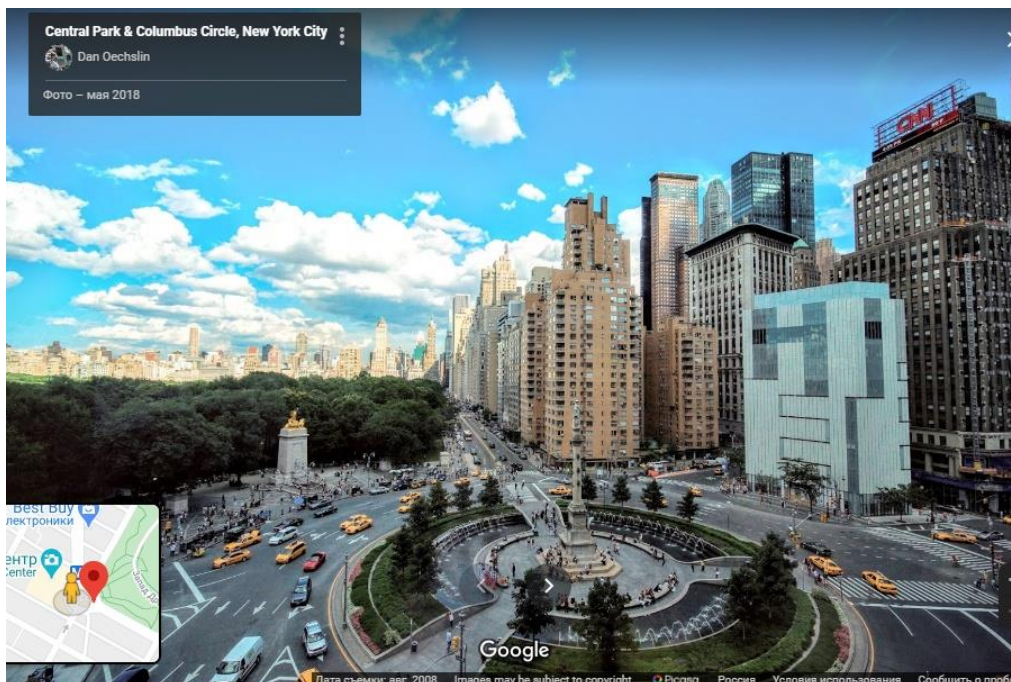


Рисунок 1.1 – Проект Юджина Энарда по созданию кругового движения

Один из первых проектов по применению кругового движения был реализован в США на площади им. Х. Колумба в г. Нью-Йорке в 1907 г. (приведено на рисунке 1.2) [17].



а – 1907 год [17]



б – 2008 год

Рисунок 1.2 – Площадь им. Х. Колумба

Самая известная в мире развязка с круговым движением – пл. Шарля де Голля, расположенная в г. Париже (см. рисунок 1.3). На данной развязке пересекается 12 улиц, на кольцевой части пересечения расположено 10 полос движения, при этом ДД осуществляется без светофорного регулирования.



Рисунок 1.3 – Площадь Шарля де Голля в г. Париже [20]

Кольцевые пересечения имеют следующие преимущества по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне:

- позволяют обеспечить наиболее безопасные и удобные условия движения на пересечении дорог, заключающиеся в существенном сокращении числа конфликтных точек и исключении конфликтных точек пересечения транспортных потоков, конфликтные точки рассредоточиваются по транспортной развязке, слияние и разделения транспортных потоков осуществляется под небольшими углами переплетения, снижается скорость движения, что в комплексе способствует снижению аварийности, тяжести ДТП, повышению уровня БДД [21, 22, 23];
- не требуют дополнительных расходов на светофорное регулирование движения;
- не возникают большие потери времени из – за остановок на регулируемых пересечениях;

- схема движения на пересечении проста и понятна водителям;
- обеспечиваются безопасные условия для выполнения левых поворотов;
- капитальные затраты на устройство и организацию минимальны;
- снижается отрицательное воздействие на окружающую среду.

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

- 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 [24];
- эксплуатационные расходы по содержанию транспортного узла значительно выше по сравнению с регулируемыми и нерегулируемыми перекрестками.

Основные элементы кругового пересечения показаны на рисунке 1.4 [24].

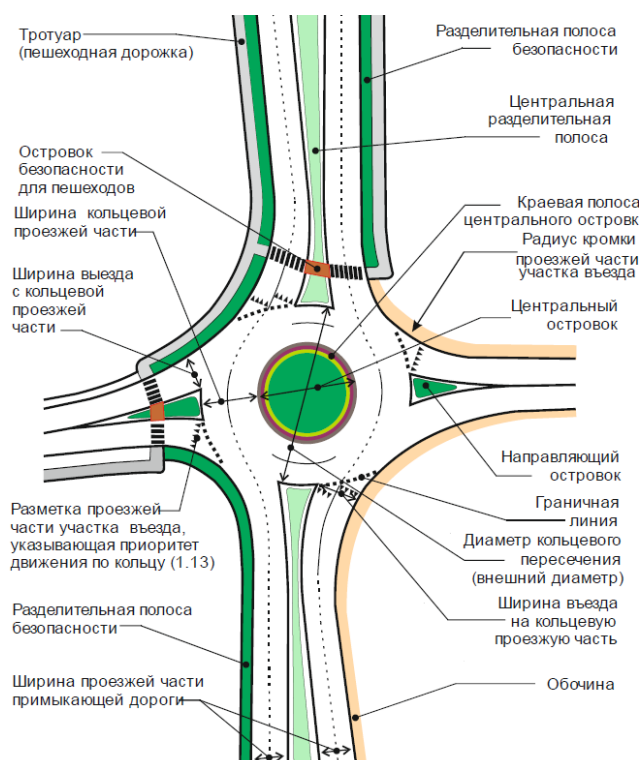


Рисунок 1.4 – Основные элементы кругового пересечения [24]

Кольцевые пересечения имеют множество классификаций [24, 38 – 51].

В работе будем придерживаться приведенной ниже классификации, основанной на «ОДМ 218.2.071-2016. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог», «Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Повышение эффективности использования кольцевых развязок» и «Указания по разметке автомобильных дорог (ВСН 23-75)» [24, 39, 40]:

- «мини – кольцевые пересечения (диаметр внешний кромки кольцевой проезжей части 12 – 24 м)» [24, 39, 40];
- «с малым диаметром островка (диаметр внешний кромки кольцевой проезжей части 24 – 30 м)» [24, 39, 40];
- «со средним диаметром (диаметр внешний кромки кольцевой проезжей части 30 – 50 м)» [24, 39, 40];
- «большого диаметра (диаметр внешний кромки кольцевой проезжей части 40 – 60 м)» [24, 39, 40];
- «пересечения на неполных транспортных развязках (диаметр внешний

кромки кольцевой проезжей части 12 – 60 м)» [24, 39, 40];

- «пересечения с зоной переплетения в пределах кольцевой проезжей части (диаметр внешний кромки кольцевой проезжей части не более 200 м)» [24, 39, 40];

- «площади с круговой схемой движения» [24, 39, 40];

- «совмещенные кольцевые пересечения» [24, 39, 40];

- кольцевые пересечения со сложной организацией движения в центральной части (так называемые в зарубежной литературе magic roundabout или «магические круги» [52 – 55]).

- «турбокольцевые пересечения» [56, 57], хотя в источнике [39] отнесены к следующей в списке группе;

- кольцевые пересечения со сложной (нестандартной) планировкой: кольцевые пересечения с секторальным центральным островком, кольцевые пересечения с прорезанным центральным островком, в частности, со светофорным регулированием (КПСРПЦО), перекрестно – кольцевые пересечения со светофорным регулированием (представлены на рисунке 1.5). В источнике [39] перекрестно – кольцевые пересечения отнесены к группе вспомогательных и неполные кольцевые пересечения. КПСРПЦО по характеру прорезанного центрального островка может быть симметричным (представлено на рисунке 1.6) и ассиметричным (представлено на рисунке 1.7);

- кольцевые пересечения в разных уровнях, например приведенные в источниках [58 – 61];

- и др.

Классификация кольцевых пересечений показана на рисунке 1.7.



Рисунок 1.5 – Перекрестно – кольцевое пересечение со светофорным регулированием в г. Минске

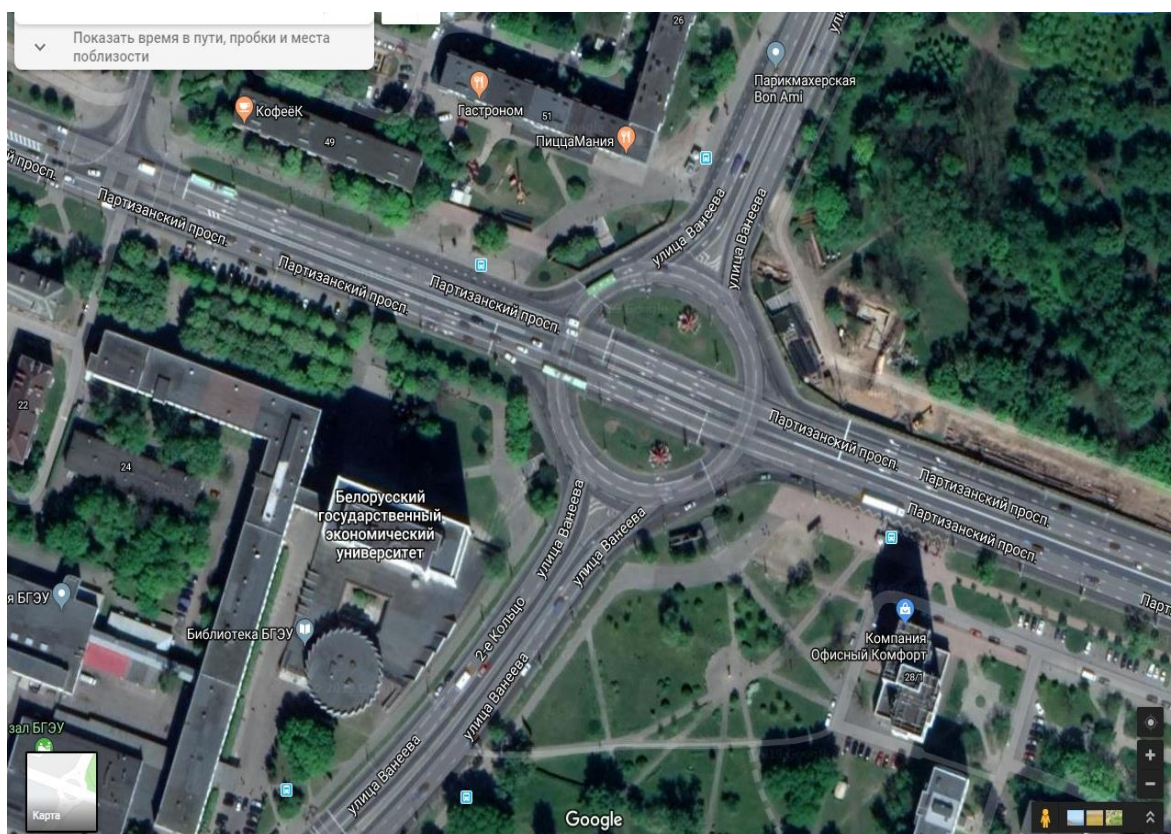


Рисунок 1.6 – КПСРПЦО с симметричным центральным островком г. Минске

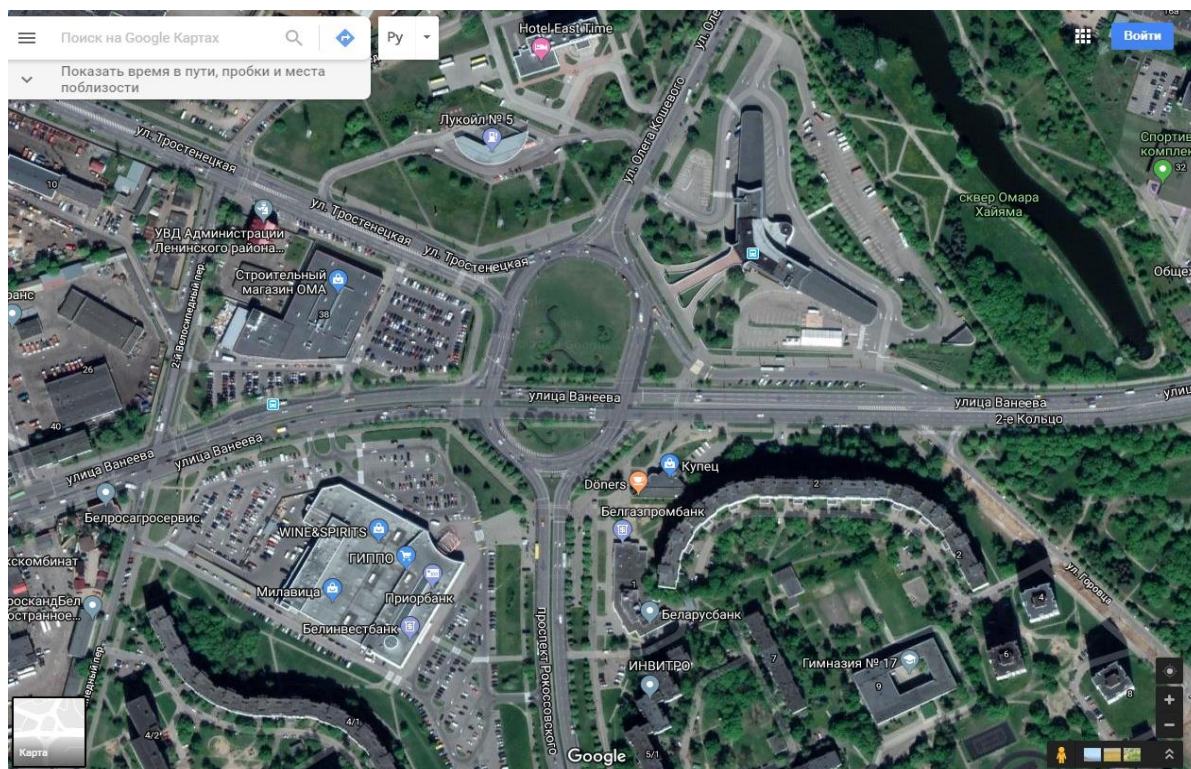


Рисунок 1.6 – КПСРПЦО с ассиметричным центральным островком г. Минске

Круговые пересечения

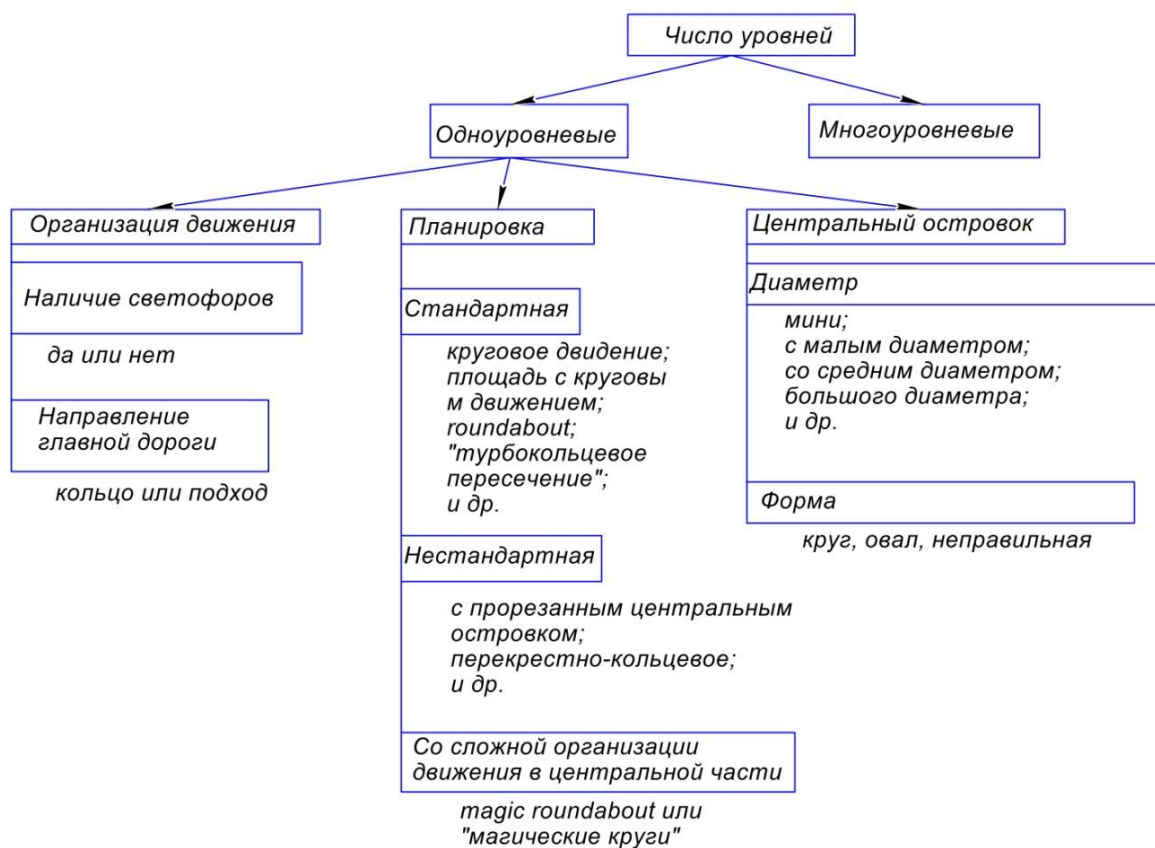


Рисунок 1.7 – Классификация круговых пересечений

В отечественной науке исследовали круговые пересечения Бургонутдинов А. М., Витолин С. В., Дорохин С. В., Елугачёв П. А., Елугачёв М. А., Жанказиев С. В., Зедгенизов А. В., Кузнецова А. П., Кущенко Л. Е., Лагерев Р. Ю., Левашев А. Г., Липницкий А. С., Литвинов А. В., Михайлов А. Ю., Новиков И. А., Никитин Н. А., Овчинников М. А., Поздняков М. Н., Поспелов П. И., Савина Ю. Э., Семенихин Б. А., Сидоров Б. А., Сильянов В. В., Солодкий А. И., Чичин С. В., Чумаков Д. Ю., Шаром М. И., Шевцова А. Г., Щит Б. А., и др.

В зарубежной науке проводили исследования круговых пересечений Mauro R., Branco F., Bulla L.A., Castro W., Hallmark S.L., Fitzsimmons E.J., Isebrands H.N., Giese K.L., Tollazzi T., Rencelj M., Fortuijn L.G.H., Turnsek S., Brilon W., Mauro R., Branco F., Fernandes P., Tomás R., Acuto F., Pascale A., Bahmankhah B., Guarnaccia C., Granà A., Coelho M.C., Patnaik, A.K., Patra R., Bhuyan, P.K., и др.

Многие авторы в своих работах неоднократно показывали, что кольцевые пересечения являются более безопасными и эффективными по сравнению со стандартными пересечениями [25 – 38].

В основном авторы изучают проблемы повышения пропускной способности, БДД, экологической безопасности на круговых пересечениях, предлагают к применению круговые пересечения на участках УДС, сравнивают предлагаемые проекты с существующей схемой движения, в том числе, с помощью программных продуктов, основанных на моделировании дорожного движения (Aimsun, PT Vision и др.), разрабатывают различные классификации круговых пересечений.

В диссертации Поздняков М.Н. провел исследования «скорости движения, транспортной задержки на кольцевой части в зависимости от диаметра центрального островка, удельного числа остановок от длины участка переплетения» [62].

В диссертации Липницкий А. С. предложил «уточненные методики расчета пропускной способности и задержек компактных кольцевых пересечений, предложил рекомендации по применению компактных кольцевых пересечений вместо нерегулируемых перекрестков, определил область значений

интенсивности(ей) движения, при которых целесообразно применение компактных кольцевых пересечений» [63].

В диссертации Чумаков Д. Ю. исследовал «области применения малых кольцевых пересечений на автомобильных дорогах в населенных пунктах, предложил практические рекомендации для проектирования новых и модернизации эксплуатируемых пересечений в одном уровне в кольцевые» [64].

Многие авторы предлагают к применению «турбокольцевые» пересечения [65 – 68].

В работе [69] Bulla и Castro показали, что применение «турбоостровка» кольцевой развязки увеличивает пропускную способность развязки на 7 % по сравнению со стандартным круглым островком. Похожие результаты приведены в работе Мауро и Врансо [70] и Kwakwa и Adams [71].

Кольцевые пересечения в разных уровнях рассматривались в работах Елугачёва П. А., Елугачёва М. А., Байгулов А. Н. и др. [72], в которых обозначена необходимость разработки рекомендаций по применению данных развязок.

Многие авторы рассчитывают необходимую ширину полосы движения на кольцевой развязке с учетом движения крупногабаритного транспорта, например источник [73].

В «ОДМ 218.2.071-2016. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог» представлена методика выбора планировочного решения для кольцевых пересечений от мини до большого диаметра и не полных транспортных развязок. Так же, в данном документе наиболее подробно представлены рекомендации по выбору геометрических размеров круговых развязок, однако, преимущества, недостатки, условия применения, технологии дорожного движения КПСРПЦО не представлены [24].

В «Руководстве по проектированию городских улиц и дорог» представлены схемы перекрестно – кольцевого движения транспорта со светофорным регулированием (см. рисунок 1.8), дается следующая рекомендация по использованию типа развязки: «пересечение четырех направлений с перекрестно –

кольцевым движением транспорта с островками разрезного типа как дальнейшее развитие кольцевого саморегулируемого движения, обеспечивающее удобный и безопасный пропуск прямых и поворотных потоков (интенсивность левых поворотов от 100 до 200 авт./ч.) а также маршрутов общественного транспорта и удобный разворот в обратном направлении» [74].

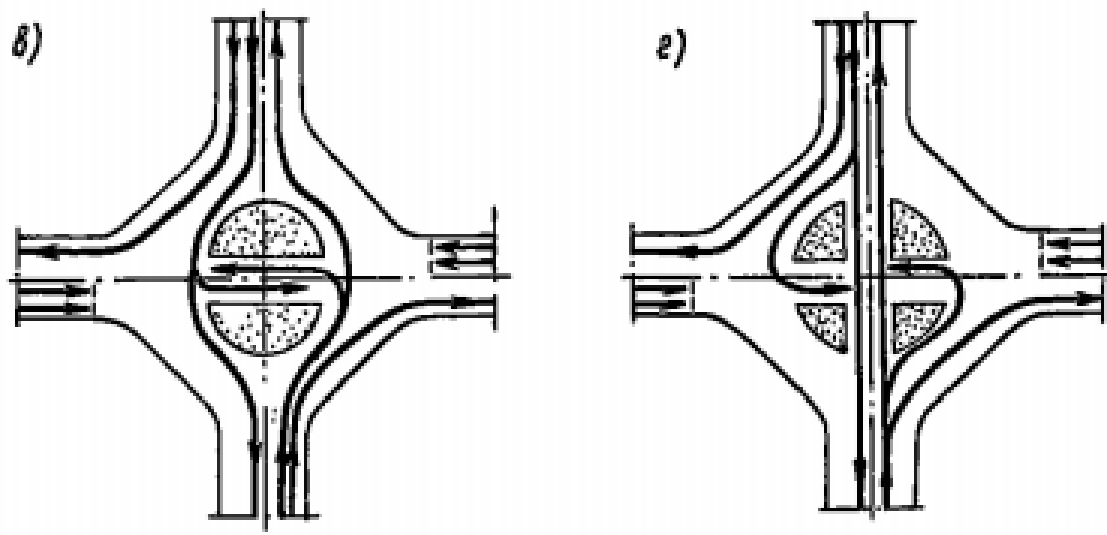


Рисунок 1.8 – Схемы перекрестно-кольцевого движения транспорта

В «ОДМ 218.2.071-2016. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог» кольцевые пересечения со сложной (нестандартной) планировкой рекомендовано использовать на перекрестках с количеством сходящихся улиц до (включая) 5, расчетной интенсивности движения 15 000 – 50 000 приведенных единиц в сутки. Рекомендовано на кольцевой части применять 1–3 полосы, количество полос движения на въезде/выезде от 1/1 до 3/3, расчетная скорость движения через развязку составит 10–20 км/ч. Транспортная развязка рассматривается без работы светофорного объекта [24].

В «Указаниях по разметке автомобильных дорог (ВСН 23-75)» упоминается тип развязки «пересечение автомобильных дорог кольцевого типа с регулируемым движением транспорта» [40]. Даны следующие условия применения светофорного регулирования на кольцевых развязках:

- «высокие и разнородные транспортные потоки» [40];

- «удельный вес потоков, ответвляющихся в данном узле влево более 25—30 % от общего потока по преобладающему по размерам движения направлению» [40];

- «интенсивное пешеходное движение» [40].

В «ВСН 23-75» приводятся рекомендация «при резко выраженном преобладании потока автотранспорта по определенному (главному) направлению на пересечении организуется комбинированное перекрестно-кольцевое движение» [40].

Также в «ВСН 23-75» дается предписание по регулированию движения с применением светофоров: «при регулируемом кольцевом движении транспортные потоки, подходящие к пересечению, пропускаются через него на разрешенные сигналы светофора, как и на обычном перекрестке. Однако в отличие от порядка движения на обычном перекрестке, где левоповоротные потоки пропускаются в конце зеленой фазы или в период специально выделенной для их движения фазы, здесь они, огибая направляющий островок, плавно вливаются в поток встречного движения, а затем также плавно выходят из него. Таким образом, движение левоповоротных потоков происходит одновременно с прямыми потоками» [40]. Также приводятся примеры установки дорожных знаков, светофорных объектов.

В зарубежной литературе транспортная развязка КПСРПЦО называется *Hamburger Through – About Intersection*, или *Hamburger roundabout*, или *Throughabout* [47, 75]. В книге Т. Tollazzi *Alternative Types of Roundabouts. An Informational Guide* данный тип кругового пересечения называется «Roundabout with a Transitional Central Island» или «круговая развязка с переходным центральным островком». Дается рекомендация, что диаметр островка должен составлять около 60 м или больше [76]. Каких-либо конкретных данных по условию применения данной развязки не представлено.

Дорожное движение неразрывно связано с передвижением пешеходов, поэтому на основе анализа научно – методической литературы [39, 76 – 83] классифицируем существующие рекомендации по организации движения пешеходов около кольцевых пересечений. Предложенная классификация

опубликована в сборнике «Дороги и мосты» [84 Д.Д. Сильченков, Г. С. Закожурникова, С. С. Закожурников, Ю. А. Сильченкова].

Мероприятия по недопущению пешеходов на проезжую часть и разделению транспортных и пешеходных потоков:

- пешеходные переходы и кольцевую развязку предлагается выполнять в разных уровнях [39];
- при невозможности организации многоуровневой транспортно – пешеходной развязки, пешеходные переходы предлагается относить от кольцевого пересечения [39]. Дальность удаления пешеходного перехода от кольцевой развязки зависит от типа пешеходного перехода (регулируемый или саморегулируемый), интенсивности пешеходного и транспортного потока [39];
- направляющие островки на въезде на кольцевое пересечение необходимо также обустроить, как островки безопасности, которые должны содержать площадку для ожидания пешеходами безопасных интервалов между движущимися транспортными средствами или разрешающего сигнала светофора. Площадку ожидания предлагается располагать не менее чем в 6 м от внешней кромки кольцевого пересечения [39];
- в зарубежной литературе пешеходную, велосипедную дорожку через островок безопасности в некоторых случаях выполняют «ступенчатой» (см. рисунок 1.9) [77]. Это аргументируется тем, что пешеходу требуется несколько больше времени, чтобы перейти улицу, тем самым увеличивается время нахождения пешехода в поле зрения водителя. Тем самым у водителя увеличивается времени на обнаружение пешехода и остановку автомобиля;

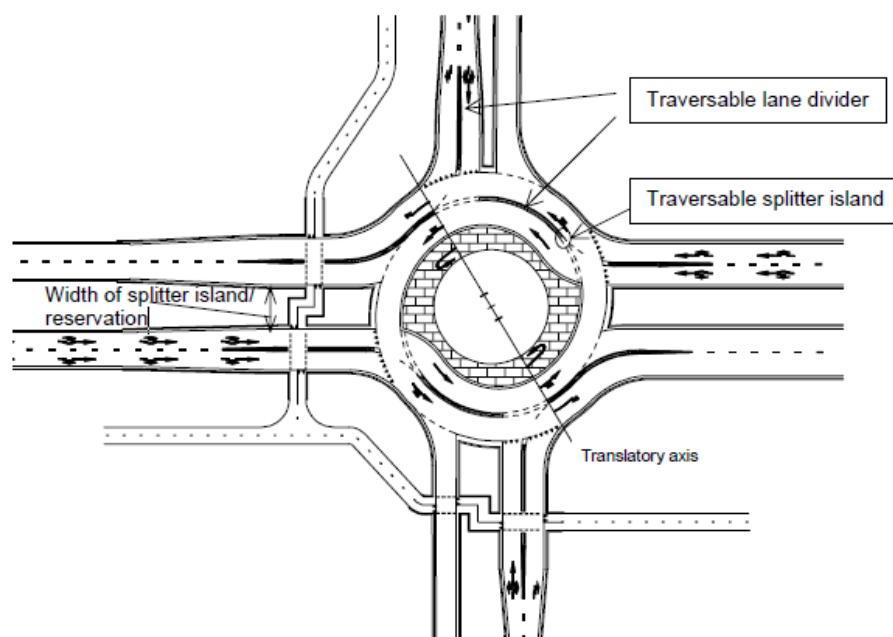


Рисунок 1.9 – «Ступенчатая» пешеходная дорожка через островок

- большее внимание необходимо уделять конфликту транспортного и пешеходного потока на выезде с транспортной развязки, так как на участке выезда процент автомобилистов, не пропустивших пешеходов (38 %) больше, чем на участке въезда (23 %) [78]. При увеличении числа полос движения с 1 до 2 – х на подходах процент автомобилистов, не пропустивших пешеходов, увеличивается с 17 до 43 % [78];

- светофорное регулирование через подход к круговой развязке организуется при интенсивности пешеходного потока более 150 пеш./час или в зависимости от интенсивности конфликтующих пешеходных и транспортных потоков в соответствии с рекомендациями [79]. В источнике [80] приводится следующий критерий для ввода светофорного регулирования:

$$PV^2 > 10^8, \quad (1.1)$$

где P – пиковые объемы движения пешеходов, чел./час;

V – пиковые объемы въезжающих транспортных средств, авт./час.

При организации островка безопасности на подходе к круговому пересечению необходимо проверять по приведенному критерию конфликт пешеходного и въезжающего транспортного потока, пешеходного и выезжающего транспортного потока [81];

- удерживающие и направляющие пешеходные ограждения рекомендуется применять для предотвращения выхода пешеходов на проезжую часть автомобильных дорог при отсутствии разделительных полос между тротуаром и проезжей частью [81];

- ограничивающие пешеходные ограждения перильного типа применяют у наземных пешеходных переходов со светофорным регулированием с двух сторон дороги, на протяжении не менее 50 м в каждую сторону от пешеходного перехода, а также на участках, где интенсивность пешеходного движения превышает 1000 чел./ч на одну полосу тротуара при разрешенной остановке или стоянке транспортных средств и 750 чел./ч – при запрещенной остановке или стоянке [81];

- высота ограждений зависит от типа: перильного типа – 0,8 – 1 м, сетчатого типа – 1,2 – 1,5 м [81];

- в качестве направляющих пешеходных ограждений допустимо также использование цепочных звеньев со стационарными и переносными стойками, вазонов, посадок декоративного бордюрного кустарника [82].

Мероприятия по обеспечению видимости пешеходов вблизи круговых пересечений:

- при проектировании кольцевых пересечений необходимо уделять особое внимание видимости пешеходов [39];

- рекомендуется применять ограждения перильного или сетчатого типа [81];

- на пешеходных переходах необходимо обеспечить треугольники видимости, размеры которого зависят от скорости движения транспортного средства, приведены в [82];

- на островках не рекомендуется размещать объекты, ограничивающие видимость.

Мероприятия по обеспечению удобства движению пешеходов:

- пешеходные дорожки необходимо проектировать с учетом требований [83], отделять от проезжей части полосой безопасности шириной 0,6 – 1,5 м;
- число полос движения на пешеходной дорожке следует определять интенсивностью пешеходного движения [82]: до 50 чел/час – 1 полоса, от 50 до 1000 чел/час – 2 полосы; свыше 1000 чел/час – на каждую 1000 чел/час по одной полосе, ширина полосы движения для пешеходов 0,75 – 4,5 м, максимальный продольный уклон – 60 ‰, максимальный поперечный уклон – 25 ‰.

Мероприятия по недопущению выезда автомобиля с проезжей части:

- применение разметки 2.7 [79, 81];
- применение дорожных ограждений согласно существующим рекомендациям;
- начальные и конечные стойки пешеходных ограждений рекомендуется оборудовать световозвращателями [80].

Так как исследуемый тип транспортной развязки оборудован светофорами, то ниже обобщены рекомендации по применению светофорного регулирования на кольцевых пересечениях [39, 85]:

- приоритет движения предоставляется транспорту, движущемуся по одному из направлений, или кольцу;
- применение светофорного регулирования на кольцевом пересечении возможно при: высоких интенсивностях транспортных потоков, образовании заторовых и предзаторовых ситуаций, высокой аварийности на транспортном узле, наличии трамвайного движения;
- применять методику расчетов светофорных циклов общепринятую, «классическую».

1.2 Организация дорожного движения на КПСРПЦО

Основные идеи организации транспортной развязки КПСРПЦО:

- предоставление определенного преимущества движения основному направлению, заключающегося в более коротком пути через транспортную развязку, по средствам организации сквозного проезда через центральный островок;

- снижение вероятности блокировки транспортного узла при организации светофорном регулировании на нем левоповоротными потоками, потому что левоповоротные потоки на данном типе развязке исключены.

На основе изложенных выше методических основ приведем принципы организации дорожного движения на КПСРПЦО:

- приоритет движения на развязке предоставляется загруженному направлению, для него организуется сквозное движение через центральный островок;

- на развязке организуется двухфазное светофорное регулирование. В первой фазе разрешено движение по основному направлению (главная дорога), во второй по второстепенному направлению (второстепенной дороге) и кольцу (см. рисунки 1.10 – 1.11);

- для правоповоротных потоков целесообразно использовать специальные полосы, в зарубежной литературе называемые Slip-Lanes [76], для пропуска данных потоков без заезда на кольцевую часть транспортной развязки;

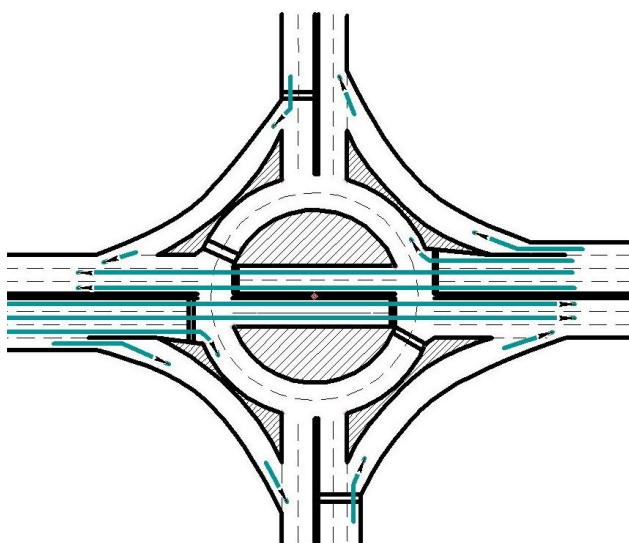


Рисунок 1.10 – 1 – ая фаза светофорного регулирования на КПСРПЦО

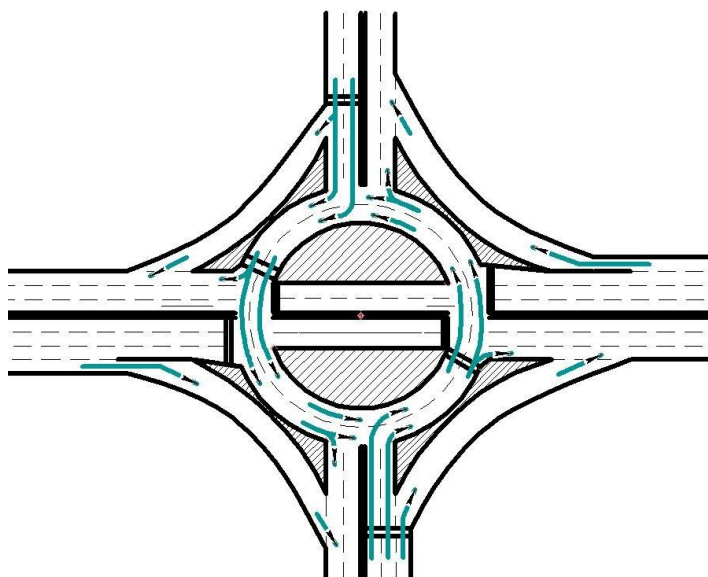


Рисунок 1.11 – 2 – ая фаза светофорного регулювання на КПСРПЦО

- технічні засоби організації дорожнього руху на КПСРПЦО представлені на рисунку 1.12.

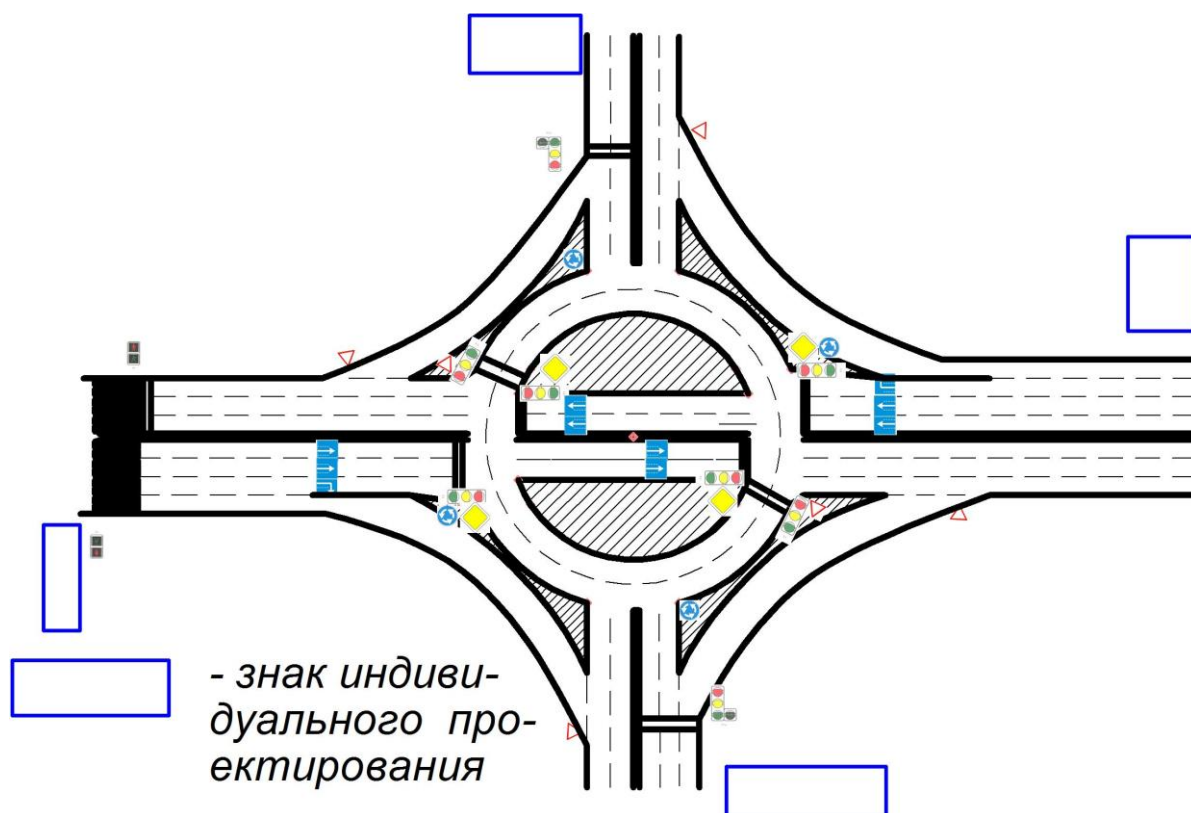


Рисунок 1.12 – Технічні засоби організації дорожнього руху на КПСРПЦО

1.3 Выводы по разделу

На основании проведенного анализа нормативно – технической и научной литературы были сформулированы следующие выводы:

- технология организации дорожного движения КПСРПЦО в рекомендациях [74] предложена как дальнейшее развитие кольцевых пересечений;
- технология организации дорожного движения КПСРПЦО в научной литературе недостаточно исследована;
- условия применения, определение геометрических размеров транспортной развязки КПСРПЦО в научно – методической литературе не представлено;
- классифицированы существующие рекомендации по организации движения пешеходов около кольцевых пересечений.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КПСРПЦО НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Как было показано в 1 – ой главе технология организации дорожного движения КПСРПЦО в научно – методической литературе мало исследована и на практике мало распространена. В условиях недостатка натурных данных моделирование ДД в программном комплексе Aimsun будет являться основным инструментом исследования.

2.1 Описание программного комплекса Aimsun

Aimsun – одна из распространенных программ по моделированию ДД. Программа создана и совершенствуется организацией TSS – Transport Simulation Systems, основанной в 1997 году, которая с марта 2018 года принадлежит корпорации Siemens. Aimsun включен в перечень рекомендуемых к применению для решения различных задач связанных с ДД в [39].

Пользователями Aimsun являются крупные административные и научные организации такие как:

- Министерство транспорта США (US Department of Transport);
- Transport for London (организация создана в 2000 году для управления транспортной системой Лондона, включая координацию работы общественного транспорта, содержание главных дорог и светофоров и др., число сотрудников около 28 тыс. чел.);
- Government of South Australia (правительство южной Австралии);
- Roads and Maritime (подразделение правительства Нового Южного Уэльса (Австралия), отвечающее за создание и поддержание дорожной

инфраструктуры, а также за управление дорожным движением и безопасность на дорогах и водных путях, число сотрудников около 6,9 тыс. человек);

- California Partners for Advanced Transportation Technology (некоммерческая исследовательская организация в области интеллектуальных транспортных систем);

- AECOM (американская многонациональная инженерная фирма);
- Массачусетский технологический институт (США);
- Квинслендский технологический университет (Австралия);
- Мюнхенский технический университет (Германия);
- Волгоградский государственный технический университет (РФ);
- и др.

Модель дорожного движения в Aimsun состоит из следующих частей [86]:

- модель УДС, состоящая из перекрестков и перегонов между ними (ширины полос, количества полос движения на улицах и дорогах, разрешенные направления движения на перекрестках и т.д.), точек входа (i) / выхода (j) в/из сеть (центроиды);

- данные о транспортных потоках, которые задаются матрицами транспортных средств. Элементом матрицы a_{ij} является транспортный поток, движущийся из i – ой точки входа в улично-дорожную сеть в j – ую точку выхода из уличной сети. Распределение транспортных потоков задается программно или пользователем.

- данные о работе светофорных объектов;
- данные о работе общественного транспорта;
- физические характеристики транспортных средств (длина, ширина, динамические характеристики и т.д.);
- и др.

Работа программного комплекса Aimsun основана на макро (Aimsun Macro), микро (Aimsun Micro) и мезо подходах моделирования транспортного потока [86].

Aimsun Macro основан на моделях статического распределения транспортных потоков, четырехступенчатой модели транспортного планирования, исходящих и входящих рейсов, распределения рейсов (тяготения с экспоненциальной функцией сдерживания, мультиномиальных, энтропийных и др.), равновесных моделей распределения дорожного движения и др. [86].

Базовые модели оценки потоков ДД основываются на математических моделях выбора маршрута, т.е. на аргументах, которыми руководствуются пользователи, предпочитая определенные маршруты движения при тех или иных преобладающих дорожных условиях [86].

Aimsun Micro реализует принципы имитационного моделирования на микроуровне. В процессе имитации непрерывно моделируется движение каждого автомобиля в пределах дорожной сети с учетом заданных поведенческих моделей (моделей следования за лидером, смены полосы и т.д.). Aimsun Micro сочетает функции дискретного и непрерывного моделирования. В модели существуют некоторые элементы (автомобили и детекторы), состояние которых изменяется непрерывно в течение периода моделирования, разделяемого на короткие интервалы времени (шаги моделирования). Модель включает в себя такие элементы (например, светофоры и пункты въезда), состояние которых варьируется дискретно в определенные моменты времени периода моделирования [86].

В процессе моделирования транспортные средства генерируются случайным образом и вводятся в сеть через секции на въезде с учетом средних значений интенсивности транспортных потоков для этих секций. Затем объекты распределяются по сети в соответствии с заданным алгоритмом, или могут распределяться по транспортной сети по маршрутам движения, заданным пользователем [86].

Время между последовательными моментами прибытия транспортных средств — интервал движения — может задаваться: экспоненциальным, однородным, нормальным, постоянным распределением, или по принципу "как можно скорее", или задаваться пользователем.

В Aimsun существует сложный алгоритм вычисления динамического распределения дорожного движения [86], включающая два компонента:

- метод определения интенсивности потоков на путях в транспортной сети;
- процедура динамической загрузки транспортной сети, обеспечивающая получение значений нагрузки на сегменты и времени проезда по сегментам и путям — была реализована в Aimsun в соответствии с концептуальной диаграммой, приведенной на рисунке 2.1.

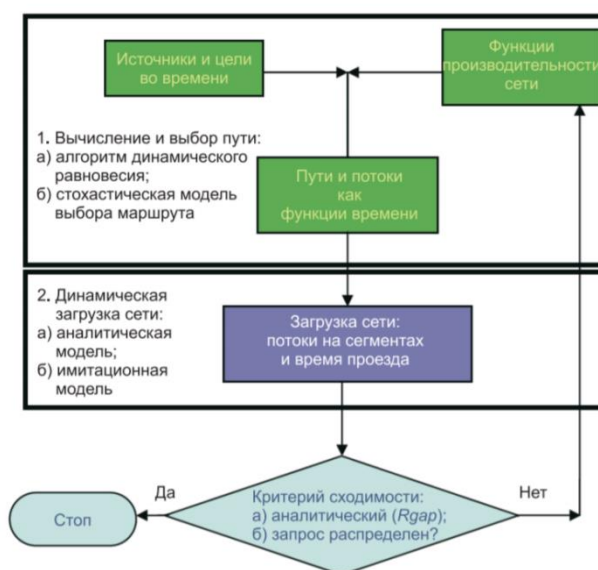


Рисунок 2.1 – Концептуальная диаграмма эвристического динамического распределения в Aimsun

В модели ДД возможно два варианта имитации — микро — и мезоскопический, — определяющие способ загрузки улично — дорожной сети, а для каждого из них две опции — динамическое распределение ДД и достижение динамического равновесия. Первая основывается на эвристическом подходе с использованием стохастических моделей выбора маршрута, а вторая — на рассмотренной итеративной эвристике и (в мезоскопическом режиме) на алгоритме последовательных средних [86].

Эффективная вычислительная реализация представленного концептуального подхода требует, чтобы аналитическая часть процесса, связанная с вычислением и выбором путей, рассматривалась независимо от процедуры динамической загрузки

сети, призванной воплотить эвристическую часть динамического распределения трафика. Другими словами, при сохранении согласованности микро- и мезоскопического представлений сети результаты вычислений путей на основе зависящих от времени затрат на сегмент должны быть одинаковы, и единственное различие будет обусловлено значениями аргументов функций затрат на сегмент, поставляемыми процедурами микро- и мезоскопической имитации ДД соответственно. Интегрированная архитектура программного обеспечения Aimsun позволяет выполнять общие вычисления кратчайших путей при условии, что представления улично-дорожной сети используют единую объектную модель и модель базы данных. Объекты транспортных средств могут быть уникальными или общими для микро- и мезоимитаторов. Если мезомодель предполагает индивидуализацию объектов, вычисление кратчайших путей можно передать одноименному "серверу". Подход, проиллюстрированный на рисунке 2.1, реализован в терминах "сервера динамического распределения трафика (дорожного движения)", укрупненная структура которого приведена на рисунке 2.2. Реализация сервера основана на программной архитектуре, эксплуатирующей общее представление улично-дорожной сети на микро- и мезоуровнях, что делает возможным унификацию вычислений кратчайших путей с использованием функций затрат на сегмент в зависимости от затрат на текущий сегмент и значений, сохраненных на предыдущих итерациях. Затраты на сегмент обновляются посредством механизма динамической загрузки сети, который может быть основан на микро- или мезоимитационном подходе, в зависимости от выбора, осуществленного пользователем [86].

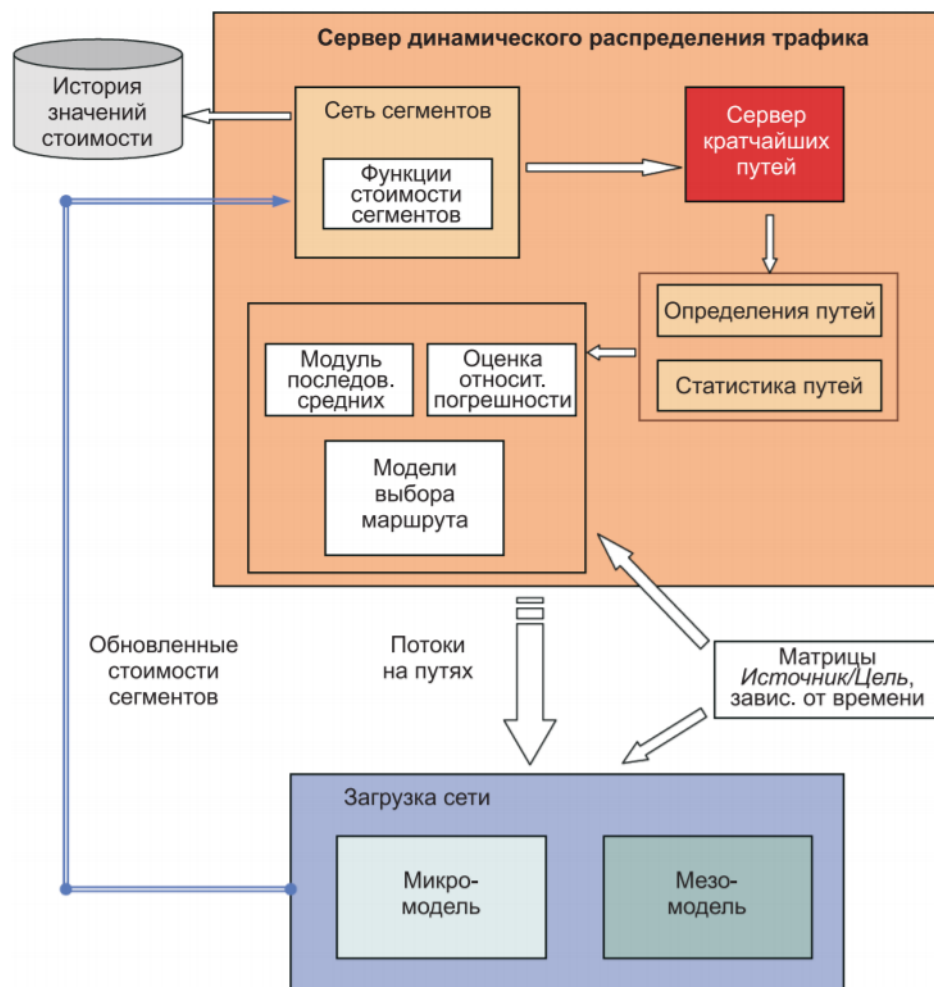


Рисунок 2.2 – Структура сервера динамического распределения дорожного движения [86]

В контексте динамического распределения дорожного движения запрос на трафик определяется в терминах матриц «Источник/Цель», каждая из которых задает некоторое число рейсов от каждого исходного до каждого целевого центроида в интервале времени и по типам транспортных средств. Когда объект, представляющий автомобиль, генерируется для центроида-источника, он назначается на один из доступных путей, связывающих источник с центроидом-пунктом назначения автомобиля. Автомобиль будет двигаться по выбранному пути до достижения цели, если только ему не разрешено динамически изменять маршрут в дороге при обнаружении более эффективного пути, ведущего к той же цели [86].

Упомянутый выше процесс имитации с учетом путей, зависящих от времени, состоит из следующих шагов.

Шаг 1 – Вычислить исходные кратчайшие маршруты для каждой пары источник–цель, используя определенные начальные значения затрат.

Шаг 2 – Для интервала времени, известного как цикл выбора маршрута и определяемого пользователем (например, 5 минут), имитировать назначение на доступные маршруты части рейсов между каждой парой источник–цель в соответствии с избранной моделью выбора маршрута и в качестве результата имитации получить средние значения времени проезда по сегментам.

Шаг 3 – Заново вычислить кратчайшие маршруты, учитывая текущие средние значения времени проезда.

Шаг 4 – Если существуют автомобили, которым позволено динамически изменять маршрут (например, с учетом информации знаков с переменным содержанием, предписывающих смену маршрута), предоставить таким автомобилям данные, полученные на шаге 3.

Шаг 5 – Перейти к шагу 2.

При осуществлении динамического распределения трафика принимаются во внимание следующие важные положения.

- Пути (или маршруты) от источников к целям следует вычислять на каждом интервале времени.
- Выбор (назначение) путей — это процесс, применяемый к каждому автомобилю при въезде в систему или в продолжение его рейса. Процесс состоит в выборе одного маршрута/пути среди множества тех, что ведут к заданной цели.

Пути, ведущие от источника до цели и принимаемые во внимание при выборе маршрута движения автомобиля, могут быть определены пользователем (в виде так называемых пользовательских маршрутов) или вычислены с применением алгоритма отыскания кратчайших путей, оперирующего понятием "затрат" на сегмент [86].

Применяется два типа функций, в зависимости от наличия или отсутствия значений времени проезда, полученных в результате моделирования, — функция исходных затрат и динамическая функция затрат соответственно. В обоих случаях существует также функция затрат по умолчанию, определяющая время проезда по

сегменту в секундах (время проезда для секции плюс время проезда для направления поворота; последнее слагаемое, если таковое имеется, задает штраф за поворот). Для каждого конкретного сегмента в качестве функции исходных затрат или динамической функции затрат можно выбрать функцию затрат по умолчанию либо прибегнуть к иной функции затрат, определенной пользователем [86].

2.2 Применение КПСРПЦО на примере реального перекрестка

Объектом натурного исследования было выбрано пересечение на улично – дорожной сети города Волгограда – пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады (см. рисунок 2.3 с указанием подходов). Данное пересечение является одним из основных узлов города, через него ежедневно проходит большое количество транспортного потока (преимущественно легкового), так как оно соединяет нулевую, первую, вторую продольные магистрали г. Волгограда. В то же время, это пересечение улиц является одним из проблемных и сложнейших в плане организации дорожного движения в городе.



Рисунок 2.3 – Пересечение проспекта пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады

В 2015 году были определены интенсивности транспортных потоков (приведены в таблице 2.1), транспортные задержки (приведены в таблице 2.2) натурным способом.

Таблица 2.1 – Интенсивности транспортных потоков на пересечении пр. им. В.И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады

Подход к перекрестку	Тип транспортного средства	Направление движения		
		Прямо	Направо	Налево
1 подход	Легковой	955	34	226
	Грузовой	2	-	12
	МА и МГТА	144	5	66
	Автобусы/троллейбусы	28	-	-
	Приведенная интенсивность	1259	41,5	355
2 подход	Легковой	969	702	144
	Грузовой	4	4	8
	МА и МГТА	174	40	22
	Автобусы/троллейбусы	24	6	4
	Приведенная интенсивность	1310	790	209
3 подход	Легковой	354	252	0
	Грузовой	8	-	0
	МА и МГТА	-	6	0
	Автобусы/троллейбусы	-	-	0
	Приведенная интенсивность	374	261	0
4 подход	Легковой	282	89	378
	Грузовой	-	-	7
	МА и МГТА	11	26	38
	Автобусы/троллейбусы	-	4	8
	Приведенная интенсивность	298,5	140	458,5

В программном комплексе Aimsun была создана и отлажена модель ДД. Сравнение транспортной задержки, полученной в результате моделирования, и рассчитанной по формуле Ф. Вебстера, покажет ошибку. Это объясняется тем, что данная формула плохо подходит для расчета транспортной задержки в условиях транспортного затора (при коэффициенте χ – степень насыщения направления больше 1). Такие же выводы о возможности применения формулы Ф. Вебстера по расчету транспортной задержки на регулируемых пересечениях получили другие авторы [87 – 91].

Аналогичные расхождения между задержкой, полученной в программном комплексе Aimsun, и рассчитанной по формуле Ф. Вебстера показаны в главе 4 (см.

таблицы 4.2 – 4.6). Поэтому валидатность модели проверялась, сравнив ее с существующей дорожной ситуацией, и сравнением натурных данных с результатами моделирования. В таблице 2.2 приведены значения натурных задержек и полученных при моделировании. На рисунке 2.4 показана модель дорожного движения на момент ее создания в сравнении с дорожной – транспортной обстановкой.

При создании модели ДД были сделаны следующие допущения:

- не учитывалось пешеходное движение, так как оно оказывает мало влияние на транспортные потоки в условиях регулируемого пересечения;
- продольные уклоны составляли 0 ‰, так как г. Волгоград расположен на территории Восточно-Европейской равнины;
- максимальная разрешенная скорость транспортных составляла 60 км/ч;
- и др.

Таблица 2.2 – Проверка валидатности модели по задержкам транспортных средств

Подход	Задержки, полученные при моделировании, с	Натурные задержки, с	Относительная разница, %
1	112	98	12,5
2	108	120	10
3	478	437	8,6
4	304	252	17,1
Максимальная разница			17,1



Рисунок 2.4 – Сравнение реальной дорожно – транспортной обстановки (ДТС) с моделью ДД

На рисунке 2.5 показаны геометрические размеры предлагаемой транспортной развязки КПСРПЦО на пересечении пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады г. Волгограда.

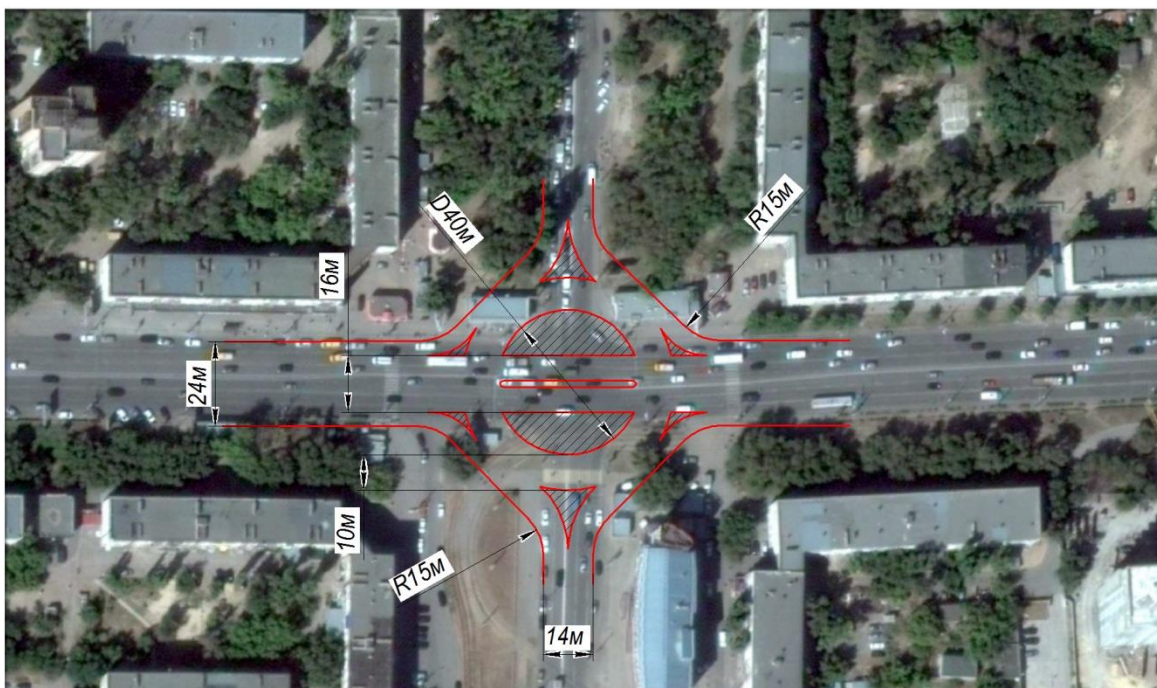


Рисунок 2.5 – Геометрические размеры КПСРПЦО на пересечении пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады

На рисунке 2.6 приведена модель ДД на исследуемом и ближайших перекрестках при внедрении КПСРПЦО.

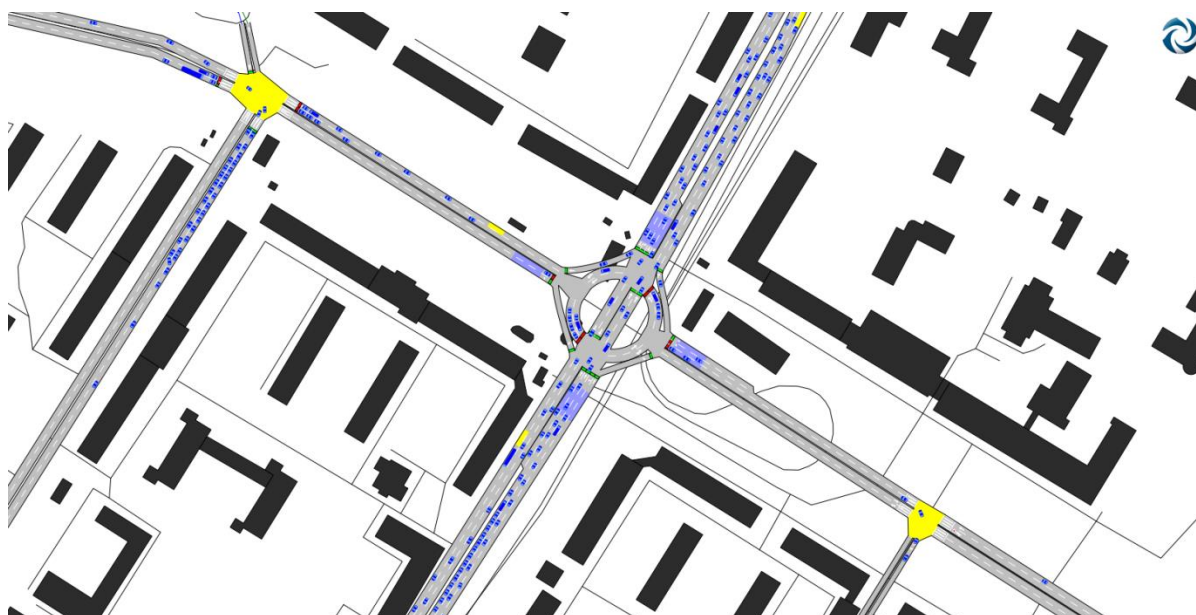


Рисунок 2.6 – Модель ДД в части центрального района г. Волгограда

Для данного перекрестка был выбран островок с диаметром 40 м (как максимально возможный) и подобран светофорный цикл:

Подходы	$t_{зел}$	$t_{жел}$	$t_{кр}$	$t_{жзел}$
1, 3	50	3	30	3
2, 4	30	3	50	3

В таблице 2.3 приведены значение транспортных задержек по результатам моделирования.

Таблица 2.3 – Транспортные задержки на пересечении до и после модернизации

Подход	Транспортная задержка при существующей технологии ОДД, с	Транспортная задержка при применении КПСРПЦО, с	Эффективность, раз
1	112	25,2	4,4
2	108	26,6	4,1
3	478	28,3	19,6
4	304	38,4	7,9
Среднее	250,5	28,9	8,7

2.3 Сравнение безопасности дорожного движения на КПСРПЦО и при других технологиях организации дорожного движения

В соответствии ФЗ № 196 «О безопасности дорожного движения» [92] и ФЗ 443 «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [16] приоритетом в ОДД является жизнь и здоровье граждан.

Сравним БДД с помощью критериев: количество ДТП и степень опасности – реального пересечения в г. Волгограде пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады при существующей технологии ОДД, КПСРПЦО и круговом пересечении.

В «ОДМ 218.4.005-2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» [93] представлена методика оценки безопасности дорожного движения на пересечении в зависимости от типа

конфликтной точки (отклонения, слияния, пересечения), интенсивностей транспортных потоков, взаимодействующих в ней, типа транспортного узла (регулируемый, не регулируемый, саморегулируемый). В научно – технической литературе существуют и другие методики оценки безопасности, например методики, приведенные в источниках [94, 95].

Опасность всех конфликтных точек при подъезде к стоп – линии (за 1 год) определяют по формуле:

$$q_i = K_i \times N_i \times M_i \times 10^{-2}, (2.1)$$

где K_i – относительная аварийность конфликтной точки;

N_i, M_i – интенсивности движения пересекающихся в данной точке конфликтной точке транспортных потоков пр. ед./час. [93].

Возможное количество наездов на транспортные средства при подъезде к стоп – линии определяют по формуле:

$$q_n = 0,012425 \times N_{\text{сумм}} \times M_{\text{сумм}}/100, (2.2)$$

где $M_{\text{сумм}}, N_{\text{сумм}}$ – интенсивности движения на пересекающихся дорогах, проходящих через стоп – линию пр. ед./час.

Возможное количество ДТП (G_p) на регулируемом пересечении определяют по формуле:

$$G_p = -0,468 + q_n + \sum q_i, (2.3)$$

Возможное число ДТП с пешеходами определяется по формуле:

$$G_{\text{п}} = 0,0025 + 0,92 \times \frac{\sum (N_{\text{т}} \times \sqrt[4]{N_{\text{п}}})}{1000}, (2.4)$$

где $N_{\text{т}}$ – часовая интенсивность движения на подходе;

$N_{\text{п}}$ – часовая интенсивность движения пешеходов на переходе.

«Степень опасности пересечения оценивается показателем безопасности движения $K_{\text{ар}}$, характеризующим количеством ДТП на 10 млн. авт., прошедших через данное пересечение» [93].

$$K_{\text{ар}} = \frac{(G_p + G_{\text{п}}) \times 10^7 \times K_{\text{г}}}{25 \times (M + N)}, (2.5)$$

где K_{ap} – степень опасности пересечения;

G_p – возможное число ДТП на регулируемом пересечении;

$G_{п}$ – возможное число ДТП с пешеходами;

K_r – коэффициент готовой неравномерности движения;

M – интенсивность по главной дороге в сутки, пр. ед./час;

N – интенсивность по второстепенной дороге в сутки, пр. ед./час.

Расположение конфликтных точек, интенсивностей движения по фазам светофорного цикла изображено на рисунках 2.7– 2.9.

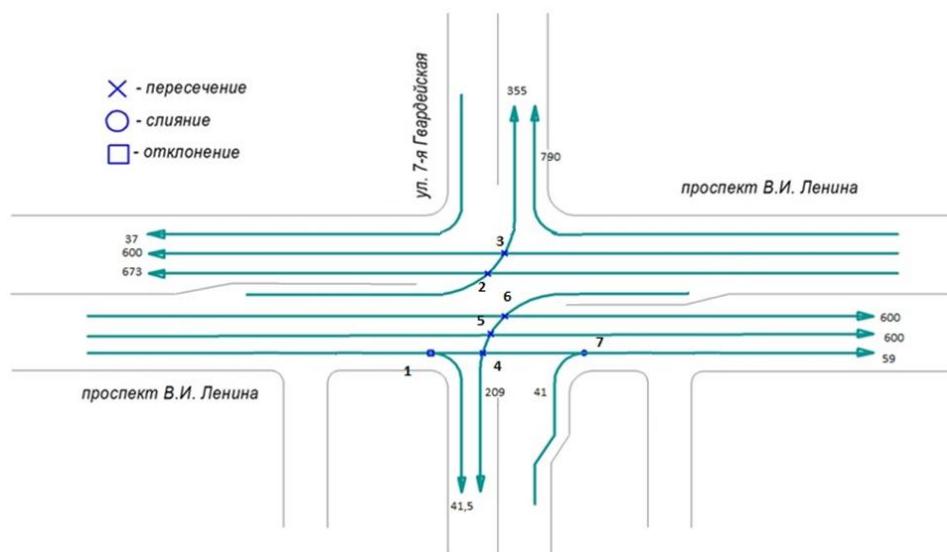


Рисунок 2.7 – Интенсивности дорожного движения, расположение конфликтных точек в первой фазе светофорного цикла

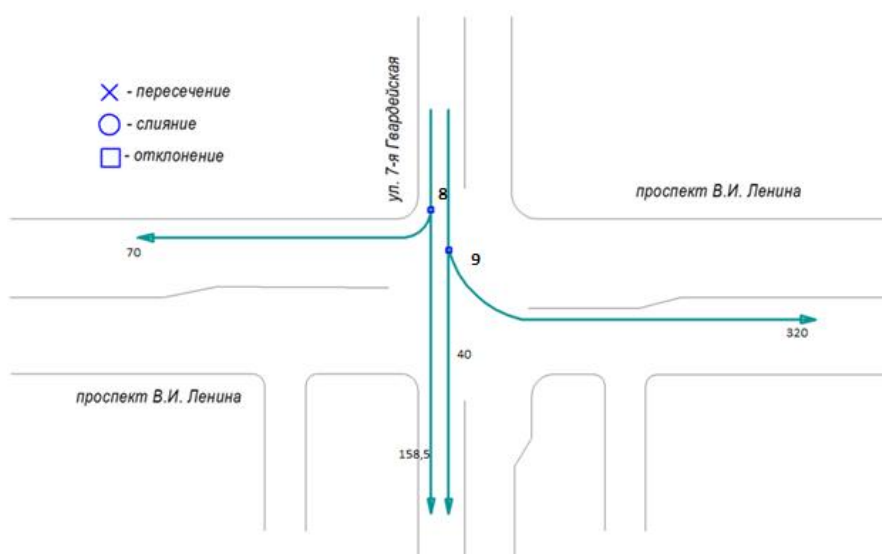


Рисунок 2.8 – Интенсивности дорожного движения, расположение конфликтных точек во второй фазе светофорного цикла

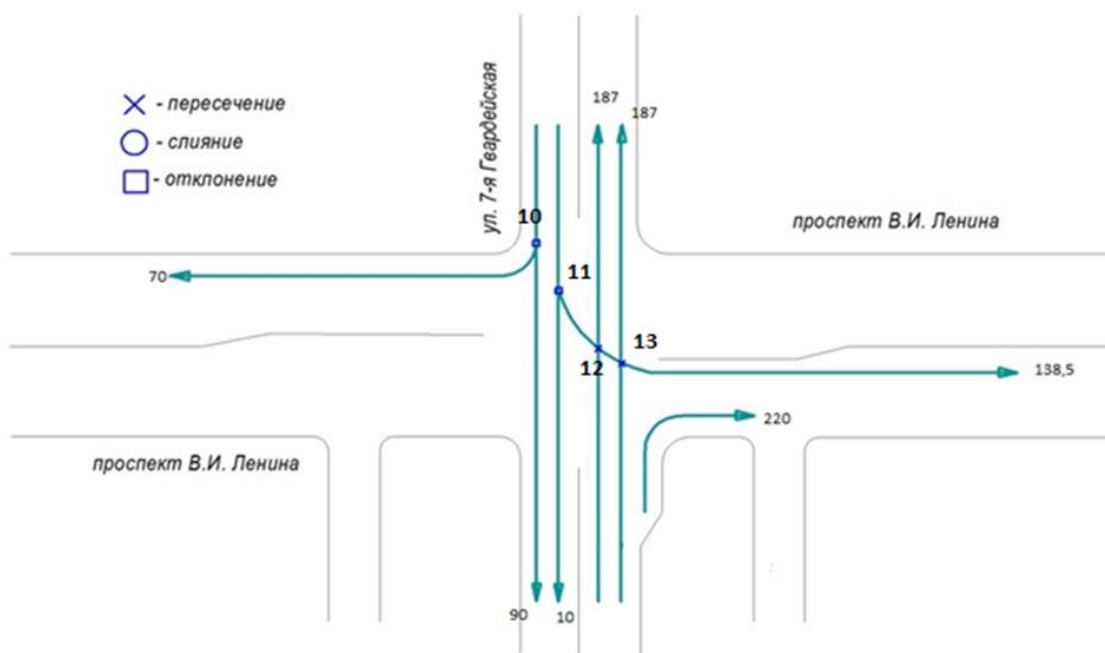


Рисунок 2.9 – Расположение конфликтных точек в третьей фазе светофорного цикла

В таблице 2.4 представлены интенсивности движения пешеходных потоков.

Таблица 2.4 – Интенсивность движения пешеходных потоков на перекрестке пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады

Подход к перекрестку	1 подход	2 подход	3 подход	4 подход
Интенсивность движения пешеходов, чел/ч	310	0	210	170

В таблице 2.5 представлены для каждой конфликтной точки: интенсивности, конфликтующих потоков, относительная величина конфликтной точки.

Рассчитаем количество наездов у стоп – линии:

$$q_n = 0,012425 \times 3927,5 \times \frac{1569}{100} = 765,66$$

Таблица 2.5 – Расчетная таблица конфликтных точек

№	K_i	N_i , пр. ед./час	M_i , пр. ед./час	q_i
1	0,0001	41,5	59	0,24
2	0,000048	355	673	11,47
3	0,000048	355	600	10,22
4	0,000048	209	59	0,59
5	0,000048	209	600	6,02
6	0,000048	209	600	6,02
7	0,000968	41	59	2,34
8	0,0001	70	158,5	1,11
9	0,0001	40	320	1,28
10	0,0001	70	90	0,63
11	0,000102	10	138,5	0,14
12	0,000048	187	138,5	1,24
13	0,000048	187	138,5	1,24
Сумма				42,56

Возможное число ДТП на регулируемом пересечении:

$$G_p = -0,468 + 765,66 + 42,56 = 798,75$$

В таблице 2.6 представлены данные для расчета возможного числа ДТП с пешеходами.

Таблица 2.6 – Расчетная таблица

Направление	N_m по всему сечению дороги пр. ед./час	N_n чел./час	$N_m \times \sqrt[4]{N_n}$
1	3105,50	310,00	13030,83
2	3460,50	0,00	0,00
3	1184,00	210,00	4507,20
4	2453,00	170,00	8857,47
		Сумма	26395,49

Возможное число ДТП с пешеходами:

$$G_{\Pi} = 0,0025 + 0,92 \times \frac{26395,49}{1000} = 24,29$$

Возможное число ДТП за год:

$$G_p + G_{\Pi} = 798,75 + 24,29 = 822,99$$

Далее рассчитаем степень опасности пересечения пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады:

$$K_{ap} = \frac{(798,75 + 24,29) * 10^7 * 0,079}{25 * (3927,5 + 1569) * 4 / (0,079 * 0,055 * 0,14 * 365)} = 262,6$$

Проведем аналогичный расчет при условии организации на пересечении пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады при организации КПСРПЦО. На рисунках 2.10 – 2.11 показан пофазный разъезд с указанием интенсивностей движения по полосам.

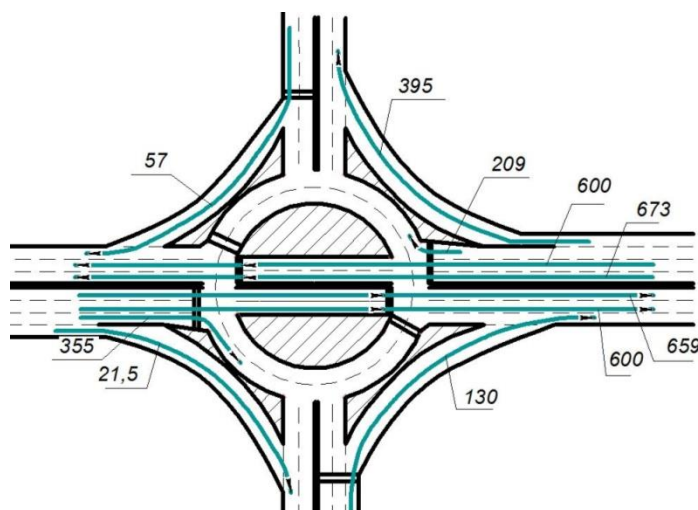


Рисунок 2.10 – 1 – ая фаза на КПСРПЦО

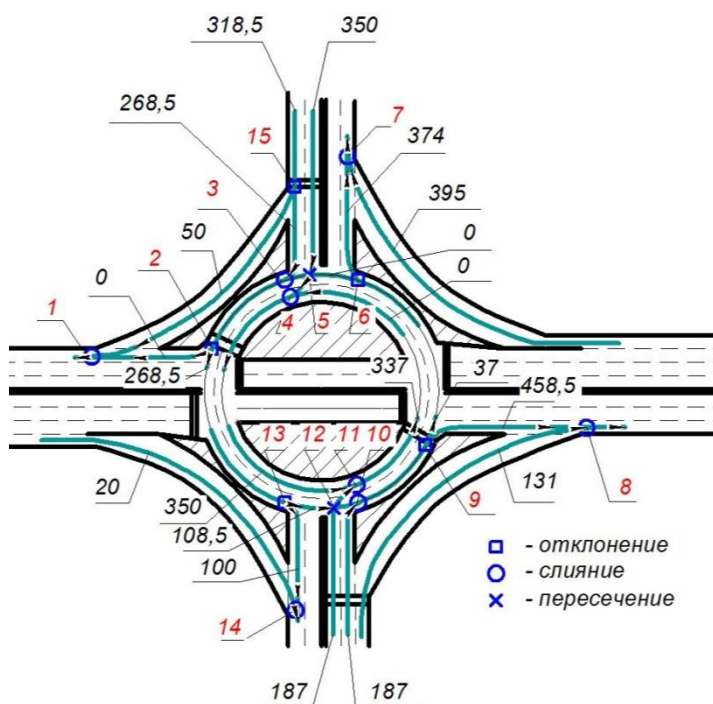


Рисунок 2.11 – 2 – ая фаза на КПСРПЦО

В таблице 2.7 представлены данные для расчета возможного числа ДТП на пересечении.

Для конфликтных точек вне регулируемых перекрестков применяется следующая формула расчета q_i

$$q_i = K_i \times N_i \times M_i \times 365 \times 10^{-7}, (2.6)$$

где K_i - относительная аварийность конфликтной точки;

N_i, M_i –интенсивности движения пересекающихся в данной точке конфликтной точке транспортных потоков пр. ед./сутки.

Так как движение по кольцу транспортной развязки напротив въездов со второстепенной дороги не регулируется светофором, поэтому коэффициенты K_i для данных конфликтных точек брались как для саморегулируемого (кольцевого) пересечения. Для точки 15 – как для регулируемого пересечения, точек 1, 7, 8, 14 как не регулируемого пересечения, так как слияние транспортных потоков происходит вне действия кольца и светофора. Также была добавлена точка 16 (не показана на рисунке 2.11), характеризующая ДТП, возникающие при перестроении на кольце.

Таблица 2.7 – Расчетная таблица конфликтных точек

№	K_i	N_i , пр. ед./час	M_i , пр. ед./час	N_i , пр. ед./сутки	M_i , пр. ед./сутки	q_i
1	0,004	50	0	1076,6	0	0
2	0,002	268,5	0	-	-	0
3	0,003	268,5	0	-	-	0
4	0,003	350	0	-	-	0
5	0,003	350	0	-	-	0
6	0,002	374	0	-	-	0
7	0,004	374	395	8053,1	8505,3	0,46
8	0,004	131	458,5	2820,7	9872,6	0,19
9	0,002	37	458,5	-	-	0,34
10	0,003	187	108,5	-	-	0,61
11	0,003	187	350	-	-	1,96
12	0,003	187	108,5	-	-	0,61
13	0,002	100	108,5	-	-	0,22
14	0,004	20	100	430,6	2153,2	0,14
15	0,0001	268,5	50	-	-	0,01
16	0,0016	350	374	7536,3	8053,11	17,72
Сумма						22,26

Рассчитаем количество наездов у стоп – линии. Так как право поворачивающие потоки не останавливаются у стоп – линии, значения интенсивностей в формуле 2.2 будут без этих потоков.

$$q_n = 0,012425 \times 3096 \times \frac{1308}{100} = 503,16$$

Возможное число ДТП на регулируемом пересечении:

$$G_p = -0,468 + 503,16 + 22,26 = 524,95$$

В таблице 2.8 представлены данные для расчета возможного числа ДТП с пешеходами.

Таблица 2.8 – Расчетная таблица

Направление	N_m по всему сечению дороги пр. ед./час	N_n чел./час	$N_m \times \sqrt[4]{N_n}$
1	3105,50	310,00	13030,83
2	3460,50	0,00	0,00
3	1184,00	210,00	4507,20
4	2453,00	170,00	8857,47
		Сумма	26395,49

Возможное число ДТП с пешеходами:

$$G_{\Pi} = 0,0025 + 0,92 \times \frac{26395,49}{1000} = 24,29$$

Возможное число ДТП за год:

$$G_p + G_{\Pi} = 524,95 + 24,29 = 549,24$$

Далее рассчитаем степень опасности пересечения пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады:

$$K_{ар} = \frac{(516,93 + 24,29) * 10^7 * 0,079}{25 * (3927,5 + 1569) * 4 / (0,079 * 0,055 * 0,14 * 365)} = 175,3$$

Рассчитаем коэффициенты безопасности для кольцевого пересечения. На рисунке 2.12 приведена схема конфликтных точек с интенсивностями движения в них.

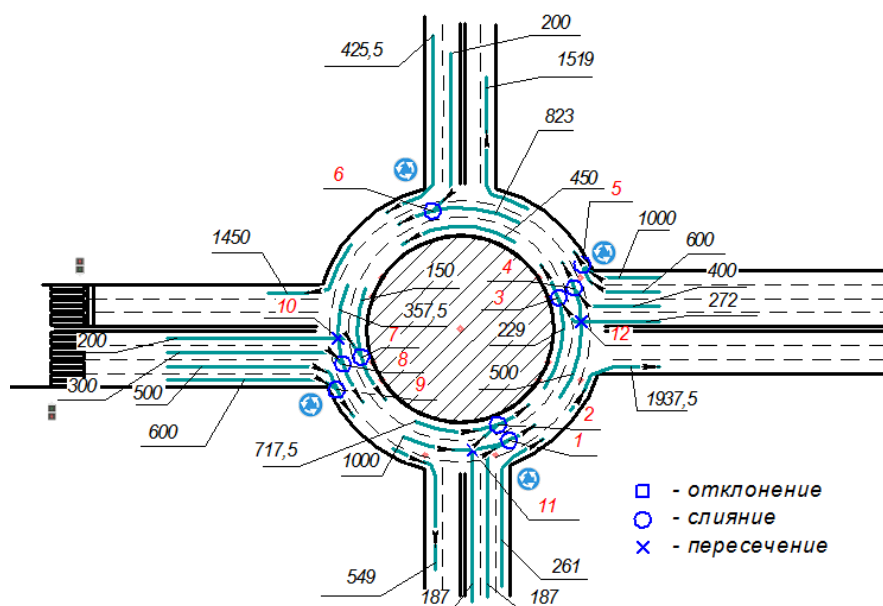


Рисунок 2.12 – Конфликтные точки на кольцевом пересечении и интенсивности дорожного движения в них

В таблице 2.9 представлены данные для расчета возможного числа ДТП на кольцевом пересечении.

Таблица 2.9 – Расчетная таблица конфликтных точек

№	K_i	N_i , пр. ед./час	M_i , пр. ед./час	N_i , пр. ед./сутки	M_i , пр. ед./сутки	q_i
1	0,0008	187	1000	4027	21532	2,53
2	0,0008	187	717,5	4027	15449	1,82
3	0,0008	229	272	4931	5857	0,84
4	0,0008	500	400	10766	8613	2,71
5	0,0008	1000	600	21532	12919	8,12
6	0,0008	823	200	17721	4306	2,23
7	0,0008	150	200	3230	4306	0,41
8	0,0008	300	357,5	6460	7698	1,45
9	0,0008	600	500	12919	10766	4,05
10	0,0056	200	357,5	4306	7698	6,78
11	0,0056	187	1000	4027	21532	17,72
12	0,0056	212	500	4565	10766	10,05
13	0,0008	1500	1500	32299	32299	30,46
Сумма						89,17

Кольцевое пересечение обычно не оборудуется стоп – линиями и светофорами, однако, при значительных интенсивностях транспортных потоков перед кольцевым пересечением образуются транспортные очереди на подходах, особенно это характерно для актуальных Правил дорожного движения, где кольцо является главной дорогой. То есть транспортные

средства перед заездом на кольцевую часть транспортной развязки останавливаются. Поэтому необходимо при расчете показателей безопасности включать слагаемое – возможное число наездов перед стоп – линией.

$$q_n = 0,012425 \times 3927,5 \times \frac{1569}{100} = 765,66$$

$$G_p = -0,468 + 765,66 + 89,17 = 854,36$$

$$G_n = 0,0025 + 0,92 \times \frac{26395,49}{1000} = 24,29$$

Возможное число ДТП за год:

$$G_p + G_n = 854,36 + 24,29 = 878,29$$

$$K_{ap} = \frac{(854,36 + 24,29) * 10^7 * 0,079}{25 * (3927,5 + 1569) * 4 / (0,079 * 0,055 * 0,14 * 365)} = 280,5$$

Расчетные значения показателей безопасности получились высокими, так как интенсивности движения в городских условиях значительно выше, чем в загородных.

Результаты расчетов сведем в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Сравнительная таблица рассчитанных критериев БДД

Критерий БДД	Технология ОДД		
	Светофорное регулирование (3 фазы)	КПСРПЦО	Кольцевое пересечение
Количество ДТП $G_p + G_n$	822,99	549,24	878,29
Степень опасности K_{ap}	262,6	175,3	280,5

В результате расчетов по методике [93] КПСРПЦО является самой безопасной технологией движения (из трех исследуемых), потому что совмещает в себе элементы кольцевого пересечения и принцип разделения транспортных потоков во времени.

2.4 Определение транспортных условий применения КПСРПЦО

Результаты данного исследования опубликованы в Журнале «Строительные и дорожные машины» [96 А. В. Лемешкин, В. С. Метлев, В. В. Ульяновский].

Современные дорожно – транспортные условия в крупных городах в РФ можно характеризовать следующими особенностями:

- недостаточная развитость УДС,
- высокий коэффициент загрузки УДС, невысокие скорости движения, уровень обслуживания С – Е [97];
- преобладание одноуровневых пересечений со светофорным регулированием;
- недостаточность свободного пространства для развития УДС, ввиду исторически сложившейся городской застройки (особенно в центральной части города), что не позволяет использовать крупные многоуровневые транспортные развязки;
- высокая пространственная и временная неравномерность движения, обусловленная высокой долей трудовых перемещений в ДД;
- преобладание личного легкового транспорта в транспортном потоке;
- не предоставление приоритета движению общественному транспорту;
- недостаточное развитие парковочного пространства;
- рост автомобилизации и увеличение мобильности городского населения.

В виду описанных выше условий в крупных городах происходит дальнейший рост транспортных заторов, снижение скорости сообщения, увеличения количества мелких ДТП, ухудшение экологической обстановки,

что требует от специалистов в области организации и безопасности дорожного движения поиска нестандартных решений поставленных проблем.

Для оценки эффективности ОДД на участке УДС применяются различные критерии:

- безопасности дорожного движения (различные показатели аварийности и безопасности);
- социальные (транспортная задержка, время в пути, удобство движения);
- экологические (экологический ущерб);
- экономические (экономия горюче – смазочных материалов при внедрении схемы ОДД по сравнению с существующей схемой).

В соответствии со статьей № 3 ФЗ №443 «Об организации дорожного движения» [16] критерий эффективности организации дорожного движения – транспортная задержка. Наиболее распространенный критерий – средняя задержка на пересечении. Средней задержка ($t_{\Delta H}$) определяется по формуле (2.7):

$$t_{\Delta H} = \frac{\sum_i^n (T_{\Delta H_i} N_i)}{\sum_i^n N_i}, \quad (2.7)$$

где $T_{\Delta H_i}$ – задержка на i -ом подходе к переходу;

N_i – интенсивность на i -ом подходе.

Существуют следующие способы определения транспортной задержки:

- экспериментальные;
- расчетные (в РФ наибольшее распространение получила методика Ф. Вебстера);
- на основе моделирования дорожного движения.

В программном комплексе Aimsun [86] применяется следующая формула для расчета транспортной задержки:

$$DT_i = TT_i - \left(\frac{L_s}{\text{Min}(SMax_i, S_s * \theta_i)} + \frac{L_t}{\text{Min}(SMax_i, S_t * \theta_i)} \right), \quad (2,8)$$

где DT_i – задержка i – го ТС на участке УДС, с,

TT_i – время в пути i – го ТС на участке УДС, с,

L_s – длина прямого участка, м,

L_t – длина криволинейного участка, м,

S_{Max_i} – желаемая максимальная скорость i – го ТС, м/с,

S_s – разрешенная скорость прямого участка, м/с,

S_t – разрешенная скорость криволинейного участка, м/с,

θ_i – коэффициент выполнения требования разрешенной скорости движения.

Для определения оптимальной технологии ОДД при различных дорожных условиях были выбраны три технологии ОДД: перекресток со светофорным регулированием (режим работы светофоров – 2 фазы), перекресток с выделенными полосами для транспортных средств, ожидающих поворот налево (режим работы светофоров – 3 фазы), КПСРПЦО (режим работы светофоров – 2 фазы).

Были созданы модели пересечений, указанных выше, показанные на рисунках 2.13 – 2.15.

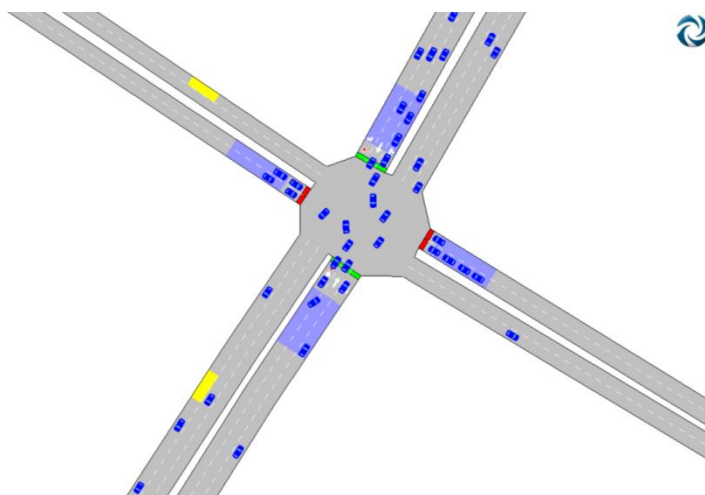


Рисунок 2.13 – Модель перекрестка с двухфазным циклом регулирования

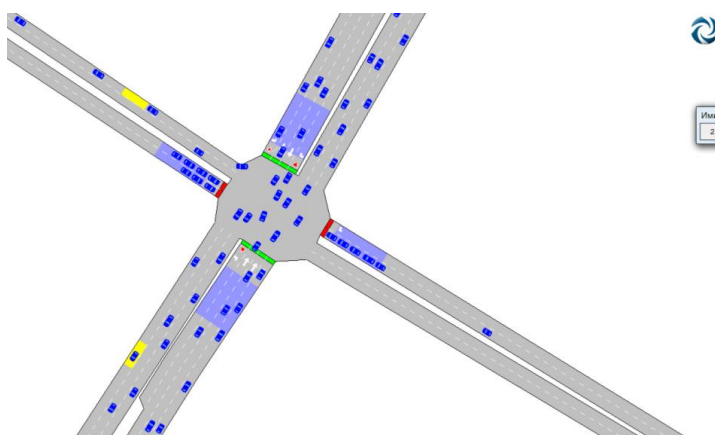


Рисунок 2.14 – Модель перекрестка с выделенными полосами для транспортных средств, ожидающих поворот налево

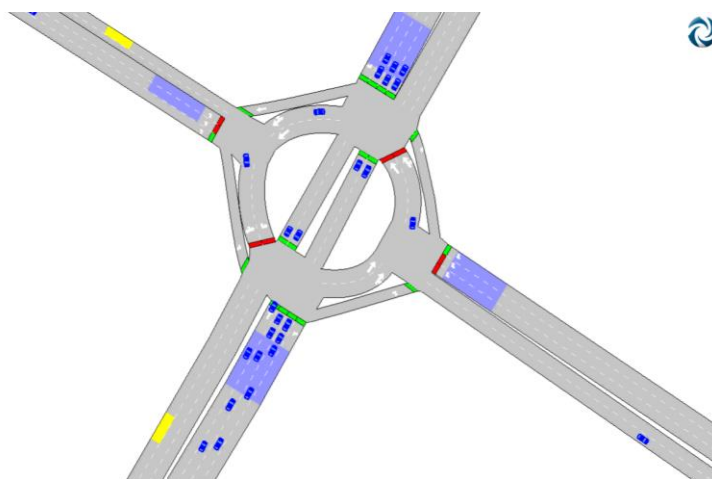


Рисунок 2.15 – Модель КПСРПЦО

В ходе исследования были сделаны следующие допущения:

- главная дорога – дорога с 3 (4) полосами движения в одном направлении, второстепенная дорога – дорога с 2 (3) полосами движения в одном направлении;
- транспортные потоки состоят только из легковых автомобилей;
- интенсивности дорожного движения на подходах к перекрестку по главной дороге равны, второстепенной дороге равны;
- продольные уклоны составляют 0 ‰;
- ширина полосы движения составляет 3,75 м;

- диаметр островка КПСРПЦО составляет 40 м, чтобы развязка по площади была минимальной и сопоставимой со сравниваемыми перекрестками;
- длина полос для транспортных средств, ожидающих поворот налево, составляет 50 м;
- доля транспортных средств, совершающих правый поворот по главной дороге – 5 %; совершающих левый поворот – 5, 10, 15, 20 %;
- доля транспортных средств, совершающих правый поворот со второстепенной дороги – 5 %, совершающих левый поворот – 10 %;
- разрешенные направления движения на подходе к КПСРПЦО по главной дороге по полосам (1 – крайне левая, 4 – крайне правая): 1, 2 – прямо (через кольцо), 3 – налево (на кольцо), 4 – только направо;
- разрешенные направления движения на подходе к КПСРПЦО по второстепенной дороге по полосам (1 – крайне левая, 3 – крайне правая): 1, 2 – налево и прямо (на кольцо), 3 – только направо;
- количество полос через островок – по 2 в каждом направлении;
- разрешенные направления движения на подходе к перекрестку по главной дороге по полосам (1 – крайне левая, 3 – крайне правая): 1 – прямо и налево, 2 – прямо, 3 – прямо и направо;
- разрешенные направления движения на подходе к перекрестку по второстепенной дороге по полосам (1 – крайне левая, 2 – крайне правая): 1 – прямо и налево, 2 – прямо и направо;
- разрешенные направления движения на подходе к перекрестку с выделенными полосами для транспортных средств, ожидающих поворот налево по главной дороге, по полосам (1 – крайне левая, 4 – крайне правая): 1 – только налево, 2, 3 – только прямо, 4 – прямо и направо;
- разрешенные направления движения на подходе к перекрестку с выделенными полосами для транспортных средств, ожидающих поворот

налево, по второстепенной дороге по полосам (1 – крайне левая, 2 – крайне правая): 1 – прямо и налево, 2 – прямо и направо.

На рисунке 2.16 показана методика исследования.

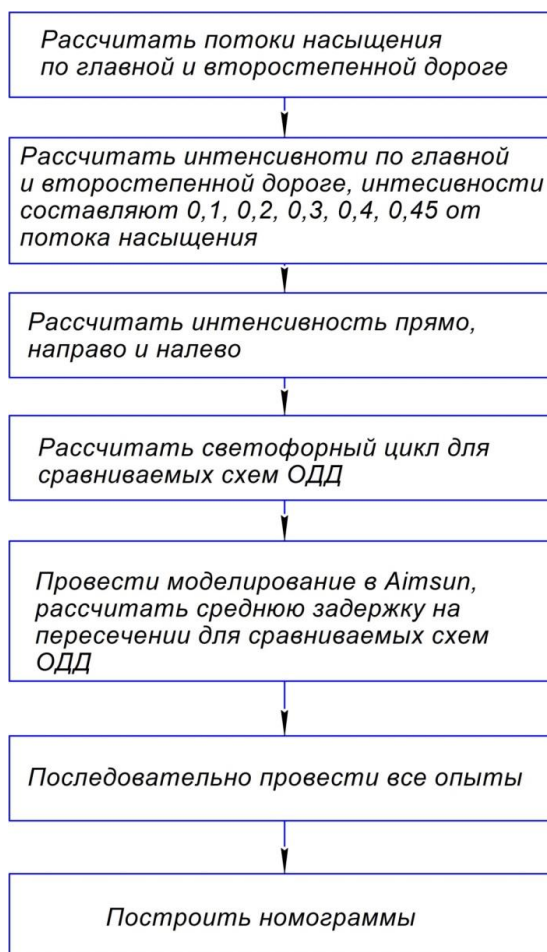


Рисунок 2.16 – Методика проведения исследования

Исходя из геометрических размеров, описанных выше допущений, для подходов к перекресткам определены потоки насыщения по главной и второстепенной дороге [12, 13, 85, 97]. Далее определены интенсивности по главной и второстепенной дороге, которые составляли: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,45 от потока насыщения. Затем определены интенсивности прямо, лево – и правоповоротных потоков. Структуры светофорных циклов рассчитаны согласно рекомендациям научно-технической литературы [12, 13, 85, 97]. Для КПСРПЦО был выбран двухфазный светофорный цикл. Так как методика расчета светофорного цикла для КПСРПЦО не представлена в научно – технической литературе, то для каждой пары интенсивностей (главная и

второстепенная дорога) проводилось моделирование несколько раз при различных структурах светофорного цикла $\frac{30}{96}$, $\frac{40}{96}$, $\frac{50}{96}$ или $\frac{60}{96}$, где числитель дроби – время (с) горения зеленого сигнала светофора по главной дороге, знаменатель – длительность (с) цикла регулирования, сумма переходных сигналов светофора составляла 6 с.

Интенсивности, структура светофорного цикла задавалась в моделях ДД. По окончании моделирования брались значения транспортных задержек по каждому подходу. Рассчитывалась средняя задержка по формуле 2.6.

На основе полученных данных были получены области, в которых одна из исследуемых технологий ОДД эффективна. Для уточнения границ, полученных областей проводилось дополнительное моделирование. Ввиду большого количества рассмотренных вариантов и рассчитанных параметров сводная экспериментальная таблица получилась громоздкой, сложно воспринимаемой, поэтому приведена в сокращенном виде в приложении А. На основе анализа экспериментальной таблицы получена номограмма, представленная на рисунке 2.17.

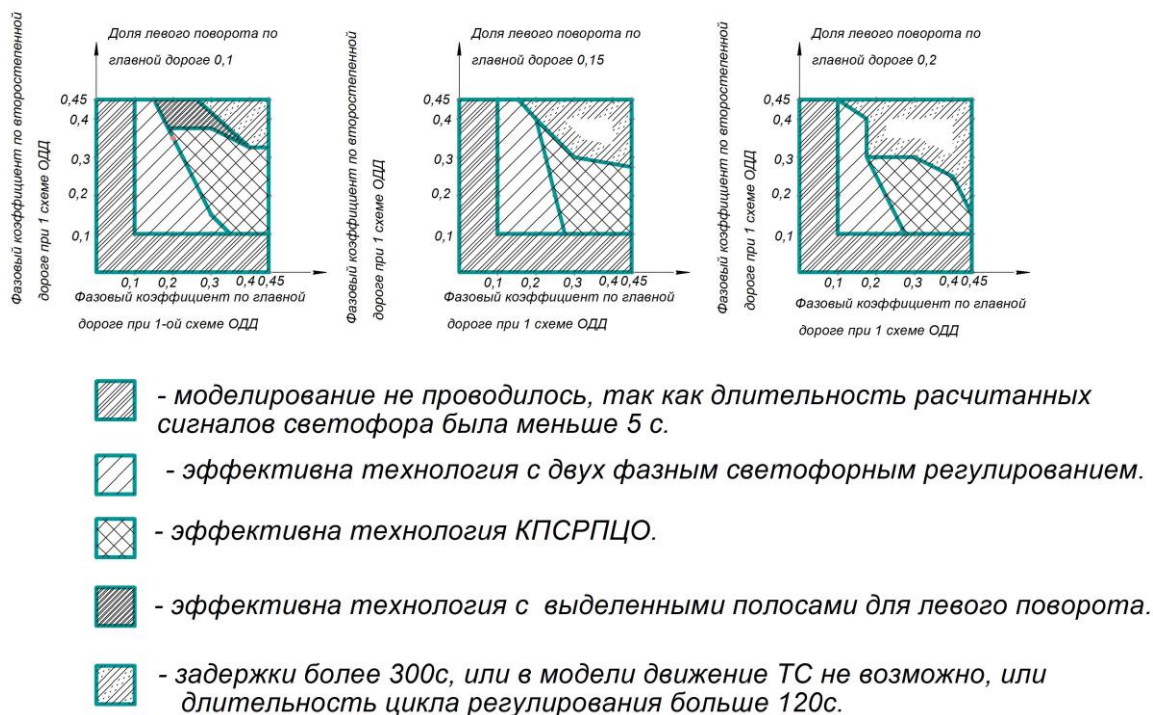


Рисунок 2.17 – Номограмма выбора планировочного решения перекрестка

По осям отложены значения фазовых коэффициентов для перекрестка с двухфазным циклом регулирования. Это выбрано, потому что, при совершенствовании ОДД данная технология применяется или является первым вариантом для внедрения, так как она наиболее простая, легко применимая, распространенная. В соответствии с [85, 97] фазовый коэффициент (y_{ij}) – отношение интенсивности дорожного движения (N_i (пр. ед./час) к потоку насыщения (P_i (пр. ед./час) в данном направлении в данной фазе регулирования:

$$y_{ij} = \frac{N_i}{P_i}, (2.9)$$

Ниже показана математическая взаимосвязь между фазовым коэффициентом (y_{ij}) и коэффициентом загрузки (k_i) в соответствии с методикой [85, 97].

$$k_i = \frac{N_i}{S_{ji}}, (2.10)$$

где S_{ji} – пропускная способность группы полос движения j в течение фазы регулирования i (пр. ед./час).

$$S_{ji} = \frac{P_i \times t_{\text{зел}}}{T_{\text{цикла}}}, (2.11)$$

где $t_{\text{зел}}$ – длительность зеленого сигнала светофора для группы полос движения j в течение фазы регулирования i (с);

$T_{\text{цикла}}$ – длительность цикла регулирования (с).

На основании формул 2.7 – 2.9 получим:

$$k_i = \frac{y_{ij} \times T_{\text{цикла}}}{t_{\text{зел}}}, (2.12)$$

Для возможности применения результатов данного исследования на многообразии перекрестков необходимо перейти к относительным величинам по осям координат – средней интенсивности ДД, приходящейся на одну полосу по главной и второстепенной дороге. Для перехода к новой

номограмме в сравнительной таблице 2.11 приведены количество полос движения на улицах (дорогах) для каждого перекрестка.

Таблица 2.11 – Сравнительная таблица схем ОДД по числу используемых полос движения

	Перекресток с двухфазным циклом регулирования	Перекресток с выделенными полосами для транспортных средств, ожидающих поворот налево	КПСРПЦО
Число полос движения по главной дороге	3	4 (3)	4 (3)
Число полос движения по главной дороге	2	2	3 (2)

Для КПСРПЦО число полос движения по главной дороге – 4, однако, движение по крайне правой полосе предназначено для поворота направо, без заезда на развязку, интенсивность по данной полосе при проведении эксперимента не учитывалась, поэтому при подсчете средней интенсивности, приходящейся на одну полосу движения, будем делить на 3 вместо 4. Аналогично и со второстепенной дорогой на КПСРПЦО, при определении средней интенсивности, приходящейся на одну полосу движения, будем делить на 2 вместо 3. Для перекрестка с выделенными полосами для транспортных средств, ожидающих поворот налево, определение интенсивности по главной дороге, приходящейся на одну полосу, будем вести по следующей формуле:

$$N_{\text{полоса}} = \frac{N_{\text{прямо}} + N_{\text{направо}}}{n}, \quad (2.13)$$

где $N_{\text{прямо}}$ – интенсивность дорожного движения в прямом направлении
авт/час;

$N_{\text{направо}}$ – интенсивность дорожного движения направо авт/час;

$n=3$ – число полос движения прямо и направо.

По экспериментальным данным была построена номограмма (показана на рисунке 2.18), по осям которой отложены средние интенсивности

движения, приходящейся на одну полосу для главной и второстепенной дороги.

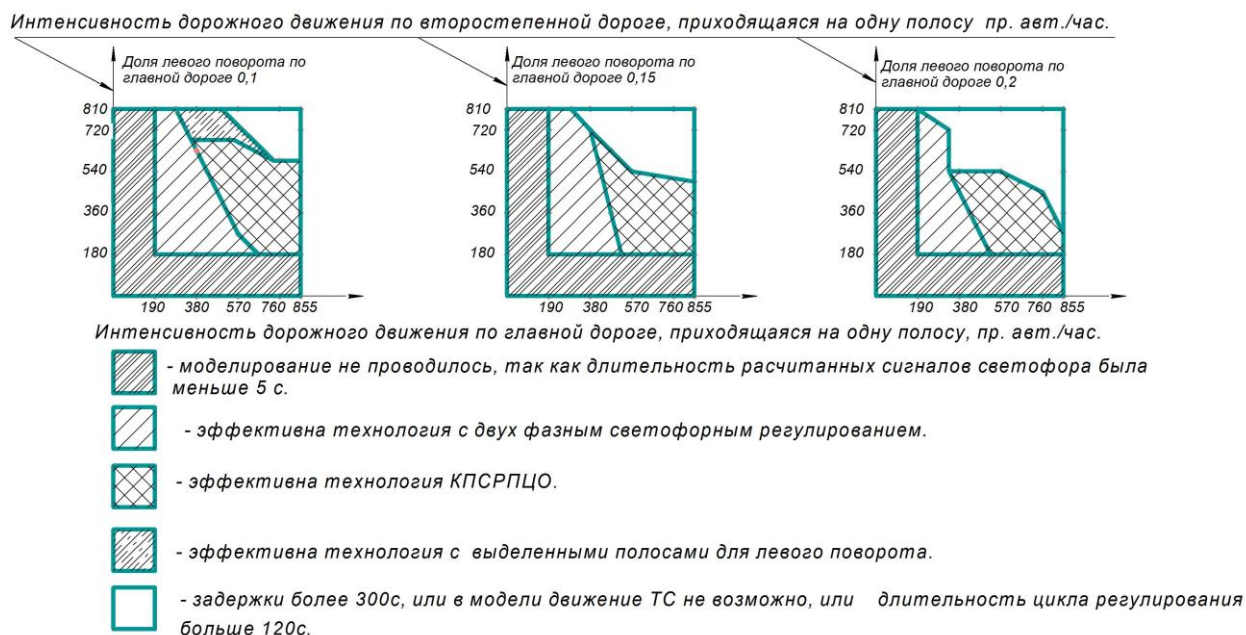


Рисунок 2.18 – Номограмма выбора планировочного решения перекрестка

2.5 Выводы по разделу

На основании, проведенного выше исследования сформулированы следующие выводы:

- КПСРПЦО безопаснее перекрестка со светофорным регулированием и обычного кольцевого пересечения, потому что совмещает в себе элементы кольцевого пересечения и принцип разделения транспортных потоков во времени;
- в программном комплексе Aimsun была создана и отлажена модель ДД реального перекрестка ул. 7-ой Гвардейской Бригады и пр. им. В. И. Ленина в г. Волгограде. Применение КПСРПЦО на модели дорожного движения позволило снизить среднюю транспортную задержку с 250,5 с до

28,9 с, что оценивает применение КПСРПЦО, как высоко эффективное решение проблемы транспортных заторов в крупных городах;

- была разработана номограмма выбора планировочного решения перекрестка по критерию наименьшей средней задержке на перекрестке, показывающая область эффективного применения КПСРПЦО в зависимости от интенсивностей движения, приходящейся на одну полосу по главной и второстепенной дороге, доли левого поворота по второстепенному направлению.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДЕРЖЕК ОТ ОРГАНИЗАЦИОННО – ПЛАНИРОВОЧНЫХ ФАКТОРОВ КПСРПЦО И ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Результаты исследования влияния транспортных и организационно-планировочных факторов на величины транспортных задержек на КПСРПЦО опубликованы в журнале «Строительные и дорожные машины» [98 Д. Д. Сильченков, А. В. Лемешкин, Ю. Я Комаров, В. С. Метлев].

Для исследования влияния транспортных и организационно-планировочных факторов на величины транспортных задержек на КПСРПЦО был использован метод планирования эксперимента.

В ходе исследования были сделаны следующие допущения, как и при определении условий эффективного функционирования КПСРПЦО, и дополнительно следующие:

- для уменьшения числа факторов из – за симметрии КПСРПЦО будем исследовать половину развязки;
- для задания автомобилей, движущихся по кольцу от подходов упрощенных в модели (так как рассматривается половина развязки) был добавлен фактор X_3 (см таблицу 3.1 и рисунок 3.1);
- количество полос через островок – по 2 в каждом направлении, как и на главной дороге при движении в прямом направлении;
- правоповоротные потоки не учитываются, так как они беспрепятственно движутся, не проходя через кольцо, по специальным полосам;
- количество полос движения на кольце равно количеству полос движения по второстепенной дороге для прямого и левоповоротного потока и равно 2;

- распределение транспортных потоков во времени задается случайным образом программным комплексом Aimsun;
- транспортные потоки распределены по полосам равномерно;
- характеристики ТС (длина, ширина, ускорение, замедление, максимальная скорость и т.д.) стандартные (изначальные) значения Aimsun.

В таблице 3.1 показаны исследуемые факторы и функции.

Таблица 3.1 – Исследуемые факторы и функции на КПСРПЦО [98 Д. Д. Сильченков, А. В. Лемешкин, Ю. Я. Комаров, В. С. Метлев]

Номер фактора/функции	Название фактора/функции
X_1	интенсивность дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (пр. ед. / час)
X_2	интенсивность дорожного движения по основному направлению налево, (пр. ед. / час)
X_3	интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (пр. ед. / час)
X_4	диаметр островка (м)
X_5	эффективная длительность цикла регулирования по основному направлению, $(\frac{t_{\text{зел}}}{T_{\text{цикла}}})$
X_6	интенсивность дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (пр. ед. / час)
Y_1	транспортная задержка на одно ТС, движущееся по основному направлению, (с)
Y_2	транспортная задержка на одно ТС, движущееся по второстепенному направлению, (с)

Для наглядности некоторые факторы представлены на рисунке 3.1.

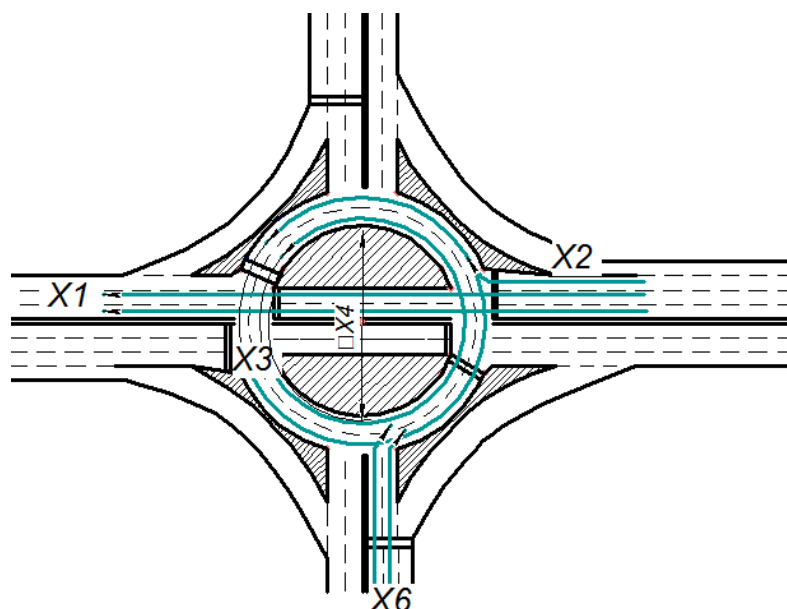


Рисунок 3.1 – Исследуемые факторы

Для метода планирования эксперимента был выбран центрально композиционный план второго порядка [99].

Общее количество опытов для k факторов:

$$N = 2^k + 2 * k + n_0, (3.1)$$

$n_0 = 5$ - количество опытов в центре плана;

$2 * k = 12$ - количество опытов на «звездных плечах»;

$2^k = 64$ – количество опытов в ядре плана.

Определить величину «звездных плеч» можно решив уравнение:

$$\alpha^{4+2^k}\alpha^2 - 2^{k-1}(k+n_0) = 0, (3.2)$$

$$\alpha^{4+2^6}\alpha^2 - 2^5(6+2,5) = 0$$

$$\alpha = 2$$

В таблице 3.2 показано варьирование выбранных факторов.

Таблица 3.2 – Варьирование факторов

Фактор	$-\alpha (-2)$	-1	0	+1	$+\alpha (+2)$	Δ
X_1	50	425	800	1175	1550	375
X_2	25	75	125	175	225	50
X_3	75	150	225	300	375	75
X_4	40	50	60	70	80	10
X_5	15	30	45	60	75	15
	$\overline{96}$	$\overline{96}$	$\overline{96}$	$\overline{96}$	$\overline{96}$	$\overline{96}$
X_6	50	200	350	500	650	150

На городских перекрестках наблюдаются как свободное движение транспортных средств, так и заторовые явления. Варьирование факторов было выбрано таким образом, чтобы рассмотреть практически всё многообразие ДТС на подходах к развязке КПСРПЦО на ней самой: от свободного движения до транспортного затора. При значениях исследуемых факторов ($X_1 - X_6$) коэффициент загрузки подхода по основному направлению будет варьироваться от 0,05 до 2; для второстепенного направления от 0,05 до 1,2. Коэффициент загрузки рассчитывался по рекомендациям «ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [97]:

$$k_z = \frac{N_i}{P_i}, (3.3)$$

где k_z – коэффициент загрузки;

N_i – интенсивность движения на подходе к перекрестку, пр. ед/ч;

P_i – пропускная способность i -го подхода, пр. ед/ч.

Пропускная способность подхода (группы полос движения) на регулируемом пересечении определяется по формуле [97]:

$$P_i = \frac{S_i \times g}{C}, (3.4)$$

где, S_i – поток насыщения;

g – эффективная длительность цикла;

C – длительность цикла.

Поток насыщения городской улицы определяется согласно выражению 3.5 [97].

$$S_i = S_0 \times n \times f_{ш} \times f_y \times f_n \times f_a \times f_m \times f_n \times f_{лн} \times f_{nn} \times f_{Лнеш} \times f_{Пнеш}, (3.5)$$

где S_0 – идеальный поток насыщения;

n – количество полос движения;

$f_{ш}$ – коэффициент, учитывающий ширину полосы движения;

f_y – коэффициент, учитывающий продольные уклоны;

f_n – коэффициент, учитывающий наличие уличных стоянок;

f_a – коэффициент, учитывающий помехи, создаваемые автобусами;

f_n – коэффициент, учитывающий неравномерность загрузки полос движения;

f_{ln} – коэффициент, учитывающий помехи, создаваемые левоповорачивающими ТС;

f_{nn} – коэффициент, учитывающий помехи, создаваемые правоповорачивающими ТС;

$f_{Лпеш}$ – коэффициент, учитывающий помехи, создаваемые пешеходами при повороте налево;

$f_{Ппеш}$ – коэффициент, учитывающий помехи, создаваемые пешеходами при повороте направо.

В таблице 3.3 представлены экспериментальные данные, полученные в программном комплексе Aimsun.

Таблица 3.3– Экспериментальные данные, полученные в программном комплексе AIMSUN

Номер опыта	Y, общая задержка, с	Y ₁ , с	Y ₂ , с	X ₁ , пр. ед./час	X ₂ , пр. ед./час	X ₃ , пр. ед./час	X ₄ , м	X ₅	X ₆ , пр. ед./час
1	55977,5	16,7	38,7	1175	75	300	50	0,625	200
2	1414260	581,6	9,7	1175	75	300	50	0,3125	200
3	52817,5	16,7	30,8	1175	75	150	50	0,625	200
4	1403023	576,9	10,1	1175	75	150	50	0,3125	200
5	26747,5	9,5	44,9	425	75	300	50	0,625	200
6	32590	30	12,1	425	75	300	50	0,3125	200
7	20285	9	29,9	425	75	150	50	0,625	200
8	31325	29,8	9,4	425	75	150	50	0,3125	200
9	640797,5	16,7	600,3	1175	75	300	50	0,625	500
10	1438143	584,1	21,7	1175	75	300	50	0,3125	500
11	370962,5	18,5	326,1	1175	75	150	50	0,625	500
12	1440588	587,5	15,9	1175	75	150	50	0,3125	500
13	557727,5	10,3	548,2	425	75	300	50	0,625	500
14	47865	29,8	20,3	425	75	300	50	0,3125	500
15	295527,5	10,3	286	425	75	150	50	0,625	500
16	41965	29,8	14,4	425	75	150	50	0,3125	500
17	68225	20,2	48,1	1175	75	300	70	0,625	200
18	1375813	565,3	12,4	1175	75	300	70	0,3125	200
19	61062,5	20,1	30,8	1175	75	150	70	0,625	200

Продолжение таблицы 3.3.

20	1368908	562,7	10,9	1175	75	150	70	0,3125	200
21	26897,5	10,7	42,5	425	75	300	70	0,625	200
22	33620	31,2	11,9	425	75	300	70	0,3125	200
23	21617,5	10,7	29,3	425	75	150	70	0,625	200
24	33340	31,2	11,2	425	75	150	70	0,3125	200
25	649027,5	20,3	599,8	1175	75	300	70	0,625	500
26	1443258	583,9	27,3	1175	75	300	70	0,3125	500
27	385627,5	20,3	336,4	1175	75	150	70	0,625	500
28	1381548	562,7	17	1175	75	150	70	0,3125	500
29	595697,5	10,7	585,8	425	75	300	70	0,625	500
30	52260	31,2	23,4	425	75	300	70	0,3125	500
31	329997,5	10,7	320,1	425	75	150	70	0,625	500
32	44560	31,2	15,7	425	75	150	70	0,3125	500
33	75837,5	17,9	76,6	1175	175	300	50	0,625	400
34	1550328	611,9	13,2	1175	175	300	50	0,3125	200
35	57822,5	18,1	30,3	1175	175	150	50	0,625	200
36	1549368	611,9	10,8	1175	175	150	50	0,3125	200
37	35345	10,6	61,2	425	175	300	50	0,625	200
38	35095	29,4	12,4	425	175	300	50	0,3125	200
39	24225	10,6	33,4	425	175	150	50	0,625	200
40	34855	29,4	11,8	425	175	150	50	0,3125	200
41	636602,5	18,1	590,9	1175	175	300	50	0,625	500
42	1558283	609,3	19,8	1175	175	300	50	0,3125	500
43	365202,5	18,1	319,5	1175	175	150	50	0,625	500
44	1551668	608,7	14,7	1175	175	150	50	0,3125	500
45	652565	10,6	641,7	425	175	300	50	0,625	500
46	49035	29,4	18,9	425	175	300	50	0,3125	500
47	334665	10,6	323,8	425	175	150	50	0,625	500
48	43635	29,4	13,5	425	175	150	50	0,3125	500
49	70080	20,8	43,9	1175	175	300	70	0,625	200
50	1493395	589,4	12,9	1175	175	300	70	0,3125	200
51	64720	20,8	30,5	1175	175	150	70	0,625	200
52	1490643	588,5	11,7	1175	175	150	70	0,3125	200
53	27572,5	10,9	41	425	175	300	70	0,625	200
54	37310	31,6	12,3	425	175	300	70	0,3125	200
55	24052,5	10,9	32,2	425	175	150	70	0,625	200
56	36750	31,6	10,9	425	175	150	70	0,3125	200
57	669120	20,8	616,6	1175	175	300	70	0,625	500
58	1511915	588,6	25,7	1175	175	300	70	0,3125	500
59	415520	20,8	363	1175	175	150	70	0,625	500
60	1477303	578,1	17,6	1175	175	150	70	0,3125	500
61	612272,5	10,9	601,1	425	175	300	70	0,625	500

Продолжение таблицы 3.3.

62	57690	31,6	25,3	425	175	300	70	0,3125	500
63	293172,5	10,9	282	425	175	150	70	0,625	500
64	48890	31,6	16,5	425	175	150	70	0,3125	500
65	59502,5	23,7	26,6	800	125	225	60	0,46875	350
66	59997,5	23,5	27,8	800	125	225	60	0,46875	350
67	61047,5	23,5	29,3	800	125	225	60	0,46875	350
68	59932,5	23,3	28,2	800	125	225	60	0,46875	350
69	59992,5	23,7	27,3	800	125	225	60	0,46875	350
70	22345	15	27,1	50	125	225	60	0,46875	350
71	1638075	502,2	26,4	1550	125	225	60	0,46875	350
72	56912,5	23,7	22,9	800	125	75	60	0,46875	350
73	93242,5	23,7	74,8	800	125	375	60	0,46875	350
74	55782,5	23,3	25,6	800	25	225	60	0,46875	350
75	59982,5	23,7	23,9	800	225	225	60	0,46875	350
76	1277980	736,8	10	800	125	225	60	0,15625	350
77	658315	7	923,2	800	125	225	60	0,78125	350
78	57202,5	23,3	24,3	800	125	225	40	0,46875	350
79	63995	24,6	30,8	800	125	225	80	0,46875	350
80	42885	23,8	18,3	800	125	225	60	0,46875	50
81	362762,5	23,7	247,6	800	125	225	60	0,46875	650

3.1 Исследование закономерностей транспортных задержек от организационно – планировочных факторов КПСРПЦО и характеристик дорожного движения по главной дороге

После обработки данных таблицы 3.3 в программном комплексе STATISTICA была получена диаграмма Парето (см. рисунок 3.2), показывающая какие слагаемые уравнения регрессии значимые для функции Y_1 .

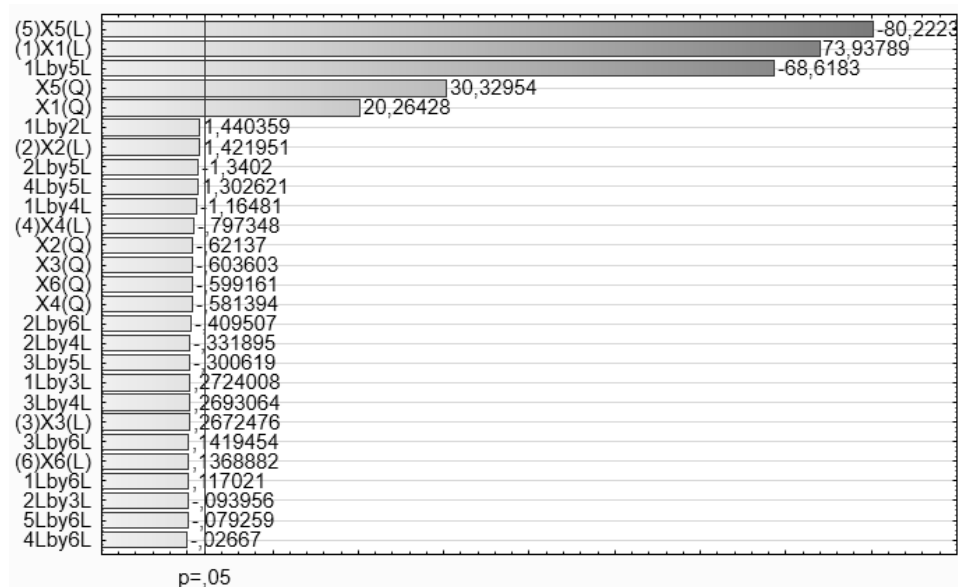


Рисунок 3.2 – Диаграмма Парето для функции Y_1 транспортная задержка на одно ТС, движущееся по главной дороге

Как видно из диаграммы Парето значимые слагаемые:

- X_5 (эффективная длительность цикла регулирования по главной дороге);
- X_1 (интенсивность дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу);
- $X_1 \times X_5$;
- X_5^2 ;
- X_1^2 .

Получено уравнение регрессии по критерию остаточной суммы квадратов. Подробно про данный критерий оценки достоверности полученной математической модели описано в электронном руководстве пользователя программного комплекса STATISTICA [100]:

$$Y_1 = 0,83 \times X_1 - 2416,49 \times X_5 + 3495,99 \times X_5^2 - 2,34 \times X_1 \times X_5, (3.6)$$

Для данного уравнения:

- $R^2 = 0,99707$ (коэффициент детерминации показывает, какая доля дисперсии результивного признака объясняется влиянием независимых переменных).

- скорректированное $R^2 = 0,99558$ (коэффициент, выражающий долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую регрессионной моделью с заданным набором независимых переменных, скорректированный с помощью штрафа, накладываемого на модель при увеличении числа переменных).

Для проверки адекватности модели, лучшей визуализации адекватности, можно использовать график предсказанных значений (ось OY) и наблюдаемых значений (OX), показанный на рисунке 3.3. Чем лучше модель описывает экспериментальные данные, тем ближе точки будут располагаться к прямой.

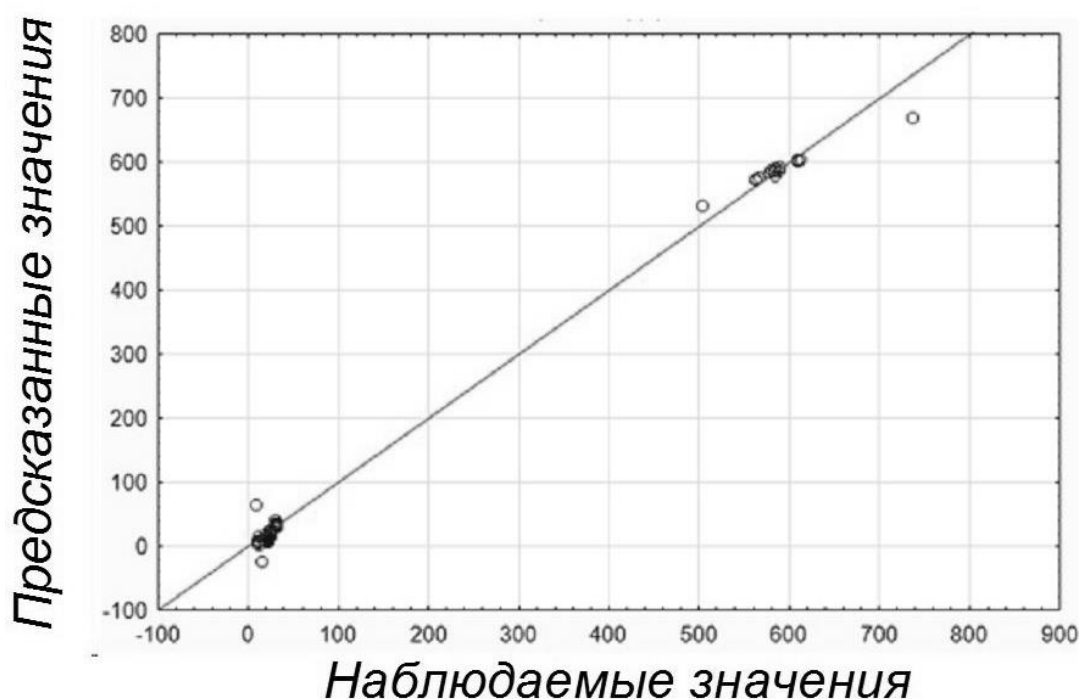


Рисунок 3.3 – График предсказанных и наблюдаемых значений для функции

$$Y_1$$

При безошибочном нахождении математической модели точки на рисунке должны полностью совпадать с графиком функции. Незначительные отклонения графика математической модели от экспериментальных данных допускаются.

Для проверки адекватности модели, также используется нормальный вероятностный график остатков модели, который имеет аналогичную

интерпретацию, что и предыдущий, по оси OY откладывается ожидаемое нормальное значение, по оси OX – остатки, показанный на рисунке 3.4.

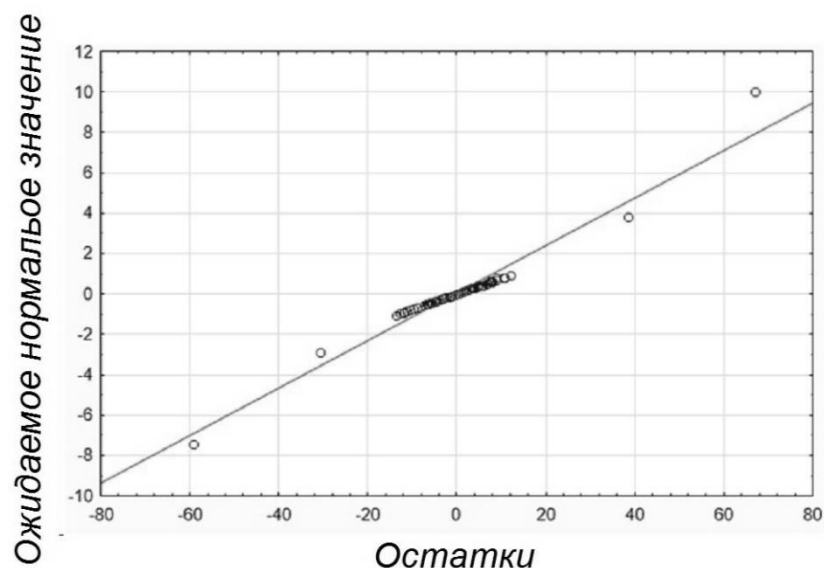


Рисунок 3.4 – Нормальный вероятностный график остатков функции Y_1

Так же в STATISTICA может быть определен экстремум функции (найлены точки минимума и максимума). Минимум функции $Y_1 = -77,0913$ при $X_1 = -747,997$, $X_2 = 78,755$, $X_3 = 232,295$, $X_4 = 67,266$, $X_5 = 0,085$, $X_6 = 369,051$. Предсказанное значение функции Y_1 отрицательно, а значение параметров выходят за определенные границы исследования. Легко определить, что минимум функции ($Y_1 = 0$) должен достигаться при минимальных значениях интенсивностях транспортных потоков, движущихся на подходах к пересечению и на нем ($X_1 = 0$, $X_2 = 0$, $X_3 = 0$, $X_6 = 0$).

Ниже на рисунке 3.5 показана диаграмма поверхности Y_1 от X_1 и X_5 при $X_2 = 125$, $X_3 = 225$, $X_4 = 60$, $X_6 = 350$, а на рисунке 3.6 контурная диаграмма данной поверхности.

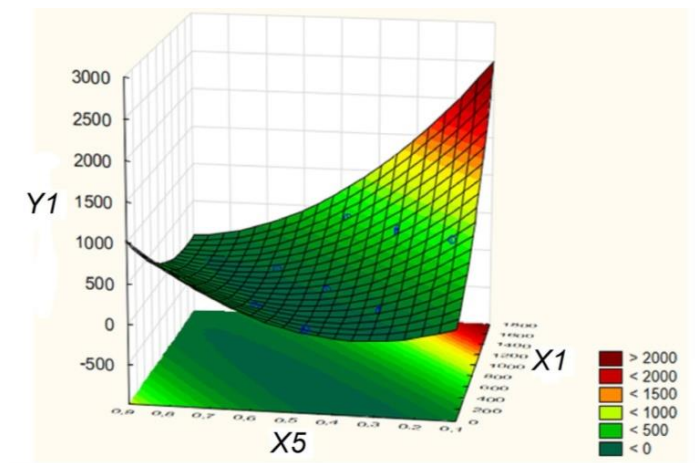


Рисунок 3.5 – Диаграмма поверхности Y_1

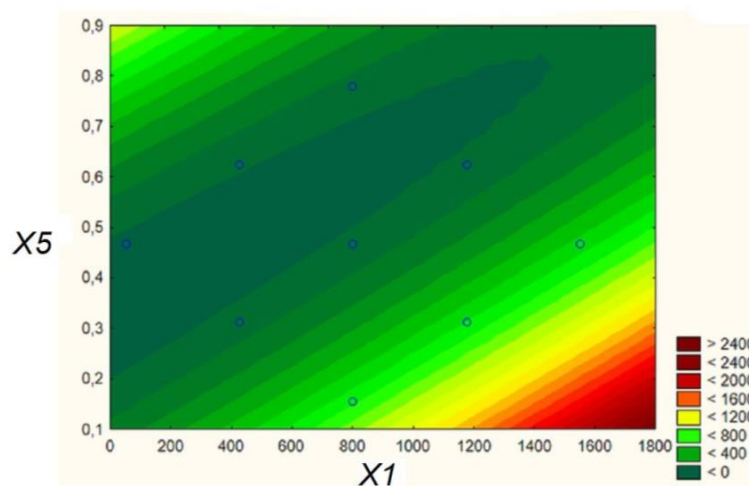


Рисунок 3.6 – Контурная диаграмма поверхности Y_1

Далее было проведено исследование функции Y_1 методом равномерного поиска с шагом $\Delta X_1 = 50$, $\Delta X_5 = 10/96$, $\Delta X_4 = 10$ в границах $50 \leq X_1 \leq 1550$, $30/96 \leq X_5 \leq 60/96$, $40 \leq X_4 \leq 70$, так как X_1 , X_5 – значимые переменные, а X_4 – определяет геометрические размеры пересечения.

В таблицах 3.4 – 3.7 приведены в сокращенном виде экспериментальные данные, их графическое отображение показано на рисунках 3.7 – 3.10, выполненных в программном комплексе STATISTICA [100]. Более подробно экспериментальные данные, графики приведены в приложении Б.

Таблица 3.4 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивность дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) при диаметре островка 40 м (X_4)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_5=30/96$	$X_5=40/96$	$X_5=50/96$	$X_5=60/96$
50	31	22	14	11
100	31	22	14	11
150	31	22	14	11
200	31	22	15	11
250	31	22	15	11
300	31	22	15	11
350	31	22	15	11
400	31	23	15	11
450	31	23	15	11
500	31	23	16	12
550	36	23	16	12
600	39	23	17	12
650	41	24	17	12
700	89	26	19	13
750	265	27	18	12
800	278	29	20	13
850	405	35	21	14
900	449	44	21	15
950	492	62	23	15
1000	550	142	24	16
1050	572	220	26	16
1100	633	349	36	18
1150	684	402	59	19
1200	693	418	100	21
1250	698	446	136	32
1300	750	500	252	33
1350	741	538	261	30
1400	759	561	384	167
1450	767	578	403	189
1500	808	604	444	211
1550	818	609	461	286

Таблица 3.5 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_4=40$, м	$X_4=50$, м	$X_4=60$, м	$X_4=70$, м
50	14	14	14	15
100	14	14	14	15
150	14	14	15	15
200	15	15	15	15
250	15	15	15	15
300	15	15	15	15
350	15	15	15	15
400	15	15	15	15
450	15	16	16	16
500	16	16	16	16
550	16	16	16	16
600	17	17	17	17
650	17	17	17	17
700	19	18	18	18
750	18	18	18	18
800	20	20	19	18
850	21	20	20	20
900	21	21	21	21
950	23	22	22	22
1000	24	25	21	22
1050	26	25	25	25
1100	36	30	30	30
1150	59	40	38	40
1200	100	81	87	82
1250	136	79	165	134
1300	252	179	212	164
1350	261	221	247	268
1400	384	363	327	308
1450	403	355	351	355
1500	444	408	390	380
1550	461	434	427	421

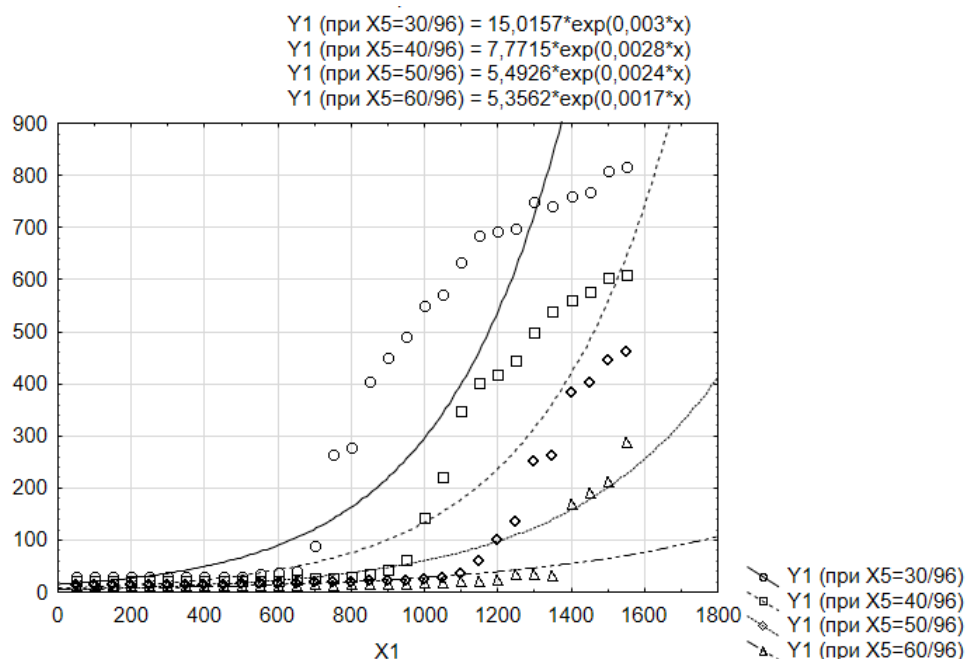


Рисунок 3.7 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 40 м (X_4)

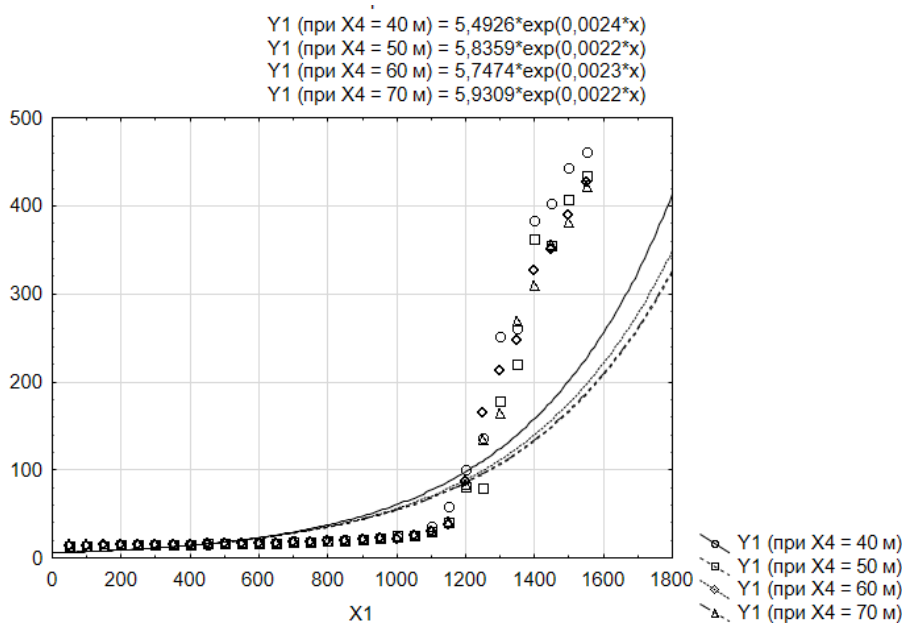


Рисунок 3.8 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица 3.6 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) при диаметре островка 40 м (X_4)

X_5	$Y_1, \text{с}$			
	$X_1 = 200, \text{ пр. ед./час}$	$X_1 = 600, \text{ пр. ед./час}$	$X_1 = 800, \text{ пр. ед./час}$	$X_1 = 1000, \text{ пр. ед./час}$
30/96	31	39	278	550
40/96	22	23	29	142
50/96	15	17	20	24
60/96	11	12	13	16

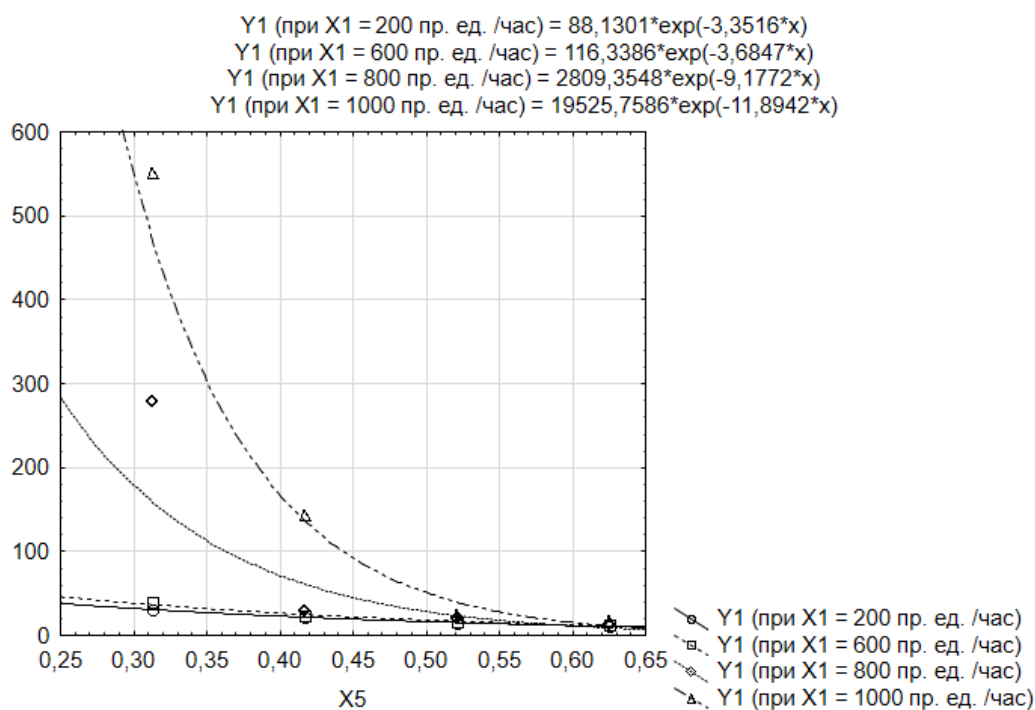


Рисунок 3.9 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 40 м (X_4)

Таблица 3.7 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_4 , м	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
40	31	39	278	550
50	32	38	168	605
60	32	37	206	507
70	31	38	180	515

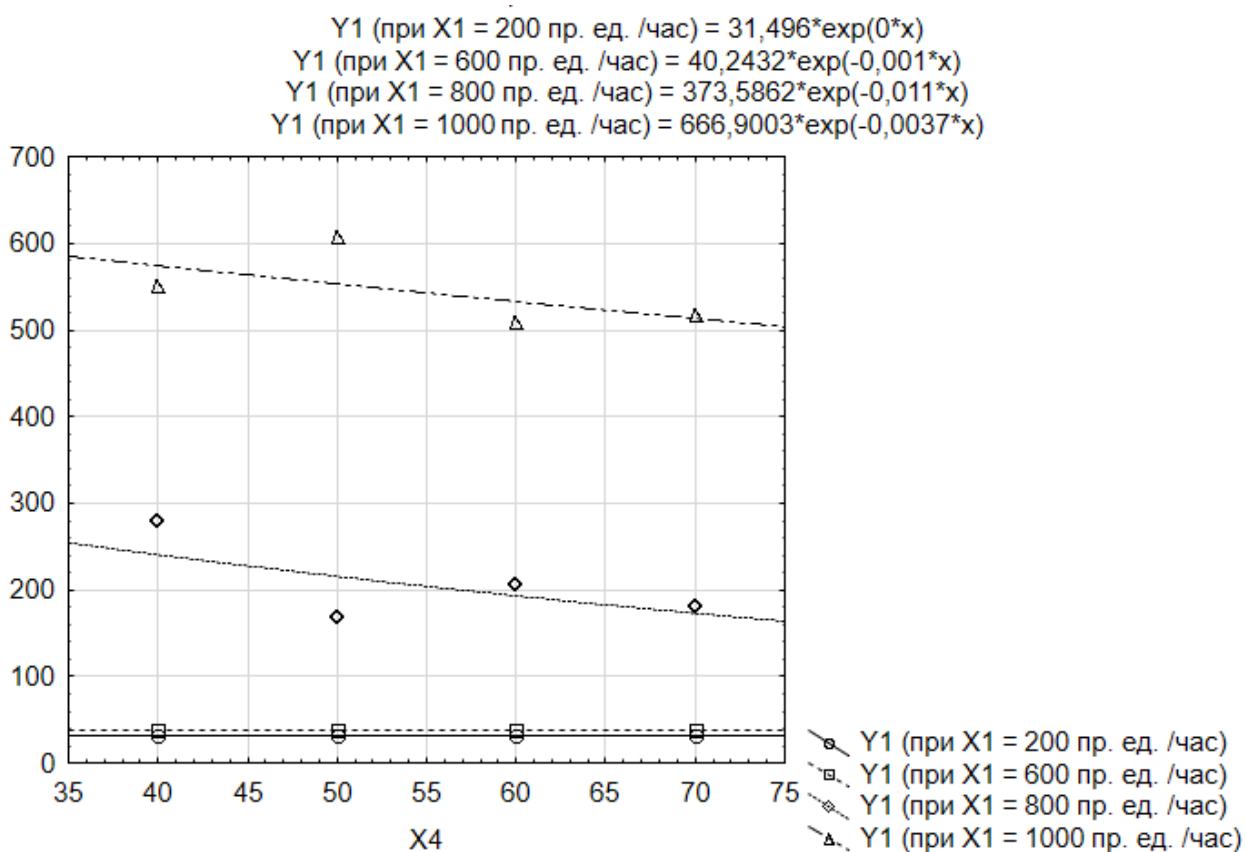


Рисунок 3.10 – Влияние диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

Далее были сформулированы выводы, опубликованные в журнале «Строительные и дорожные машины» [98 Д. Д. Сильченков А. В. Лемешкин, Ю. Я. Комаров, В. С. Метлев]:

- транспортная задержка (Y_1) по основному направлению зависит от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу (X_1), эффективной длительность цикла регулирования по основному направлению (X_5);

- интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу (X_1), эффективная длительность цикла регулирования по основному направлению (X_5) влияют на величину транспортной задержки по экспоненциальной зависимости. Похожие зависимости транспортной задержки в зависимости от вида маневра и диаметра островка, интенсивности движения на полосу, представлены в [39];

- диаметр центрального островка (X_4) влияет на величину транспортной задержки (Y_1) по главной дороге только в условиях транспортного затора. С увеличением диаметра задержка снижается по прямой зависимости. Увеличение диаметра центрального островка (X_4) приводит к снижению (до 30 %) величины транспортной задержки (Y_1) по основному направлению только в условиях транспортного затора. Проектировать или использовать транспортную развязку для условий транспортного затора экономически нецелесообразно. В свободных, частично связанных условиях движения транспортного потока диаметр центрального островка (X_4) не влияет на величину транспортной задержки по основному направлению (Y_1). Это объясняется тем, что транспортный поток по главной дороге движется сквозь островок. Движение транспортного потока в свободных, частично связанных условиях по главной дороге через КПСРПЦО можно рассматривать, как движение через два рядом расположенных перекрестка со светофорным регулированием.

3.2 Исследование закономерностей транспортных задержек от организационно – планировочных факторов КПСРПЦО и характеристик дорожного движения второстепенной дороге

После обработки данных таблицы 3.3 в программном комплексе STATISTICA STUDENT EDITION была получена диаграмма Парето (см. рисунок 3.11), показывающая какие слагаемые уравнения регрессии значимые для функции Y_2 .

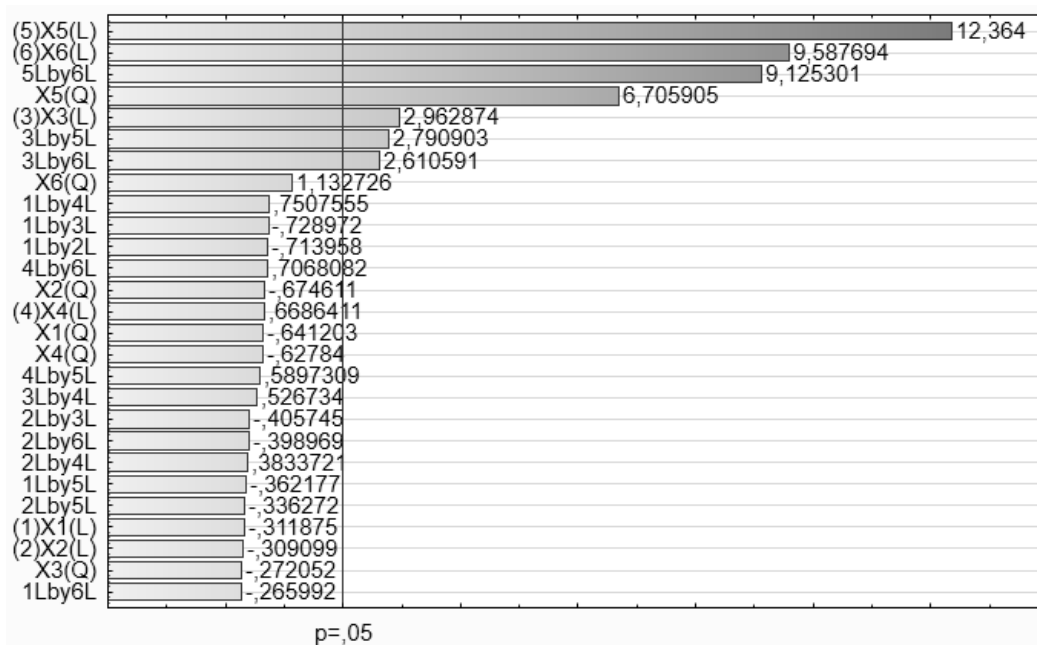


Рисунок 3.11 – Диаграмма Парето для функции Y_2 транспортная задержка на одно ТС, движущееся по второстепенной дороге

Как видно диаграммы Парето значимые слагаемые:

- X_5 (эффективная длительность цикла регулирования по основному направлению);
- X_6 (интенсивность дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу);
- $X_5 \times X_6$;
- X_5^2 ;

- X_3 (интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу);

- $X_3 \times X_5$;

- $X_3 \times X_6$.

Получено уравнение регрессии по критерию остаточной суммы квадратов [100]:

$$Y_2 = 5215,88 \times X_5 + 4110,98 \times X_5^2 - 2,58 \times X_6 + 2,53 \times X_3 \times X_5 + 4,15 \times X_5 \times X_6, (3.7)$$

Для данного уравнения:

- $R^2 = 0,88832$ (коэффициент детерминации показывает, какая доля дисперсии результативного признака объясняется влиянием независимых переменных);

- скорректированное $R^2 = 0,83142$ (коэффициент, выражающий долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую регрессионной моделью с заданным набором независимых переменных, скорректированный с помощью штрафа, накладываемого на модель при увеличении числа переменных).

Для проверки адекватности модели показан график предсказанных значений (ось OY) и наблюдаемых значений (OX), показанный на рисунке 3.12, нормальный вероятностный график остатков модели, по оси OY откладывается ожидаемое нормальное значение, по оси OX – остатки, показанный на рисунке 3.13.

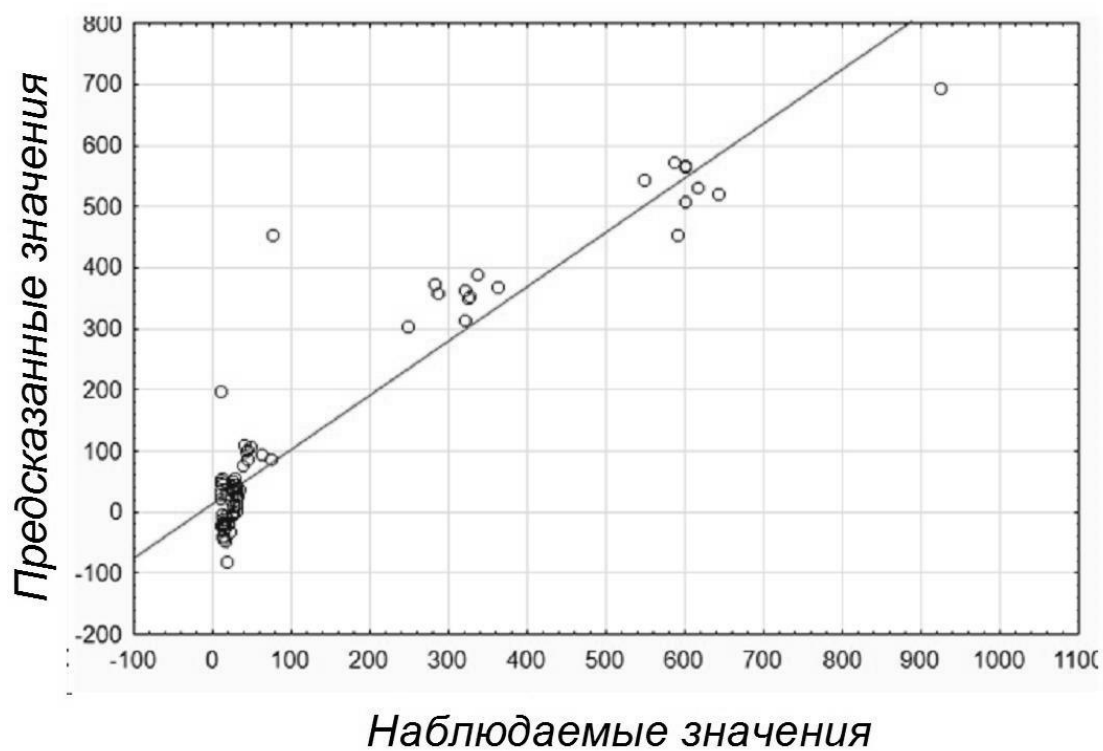


Рисунок 3.12 – График предсказанных и наблюдаемых значений для функции Y_2

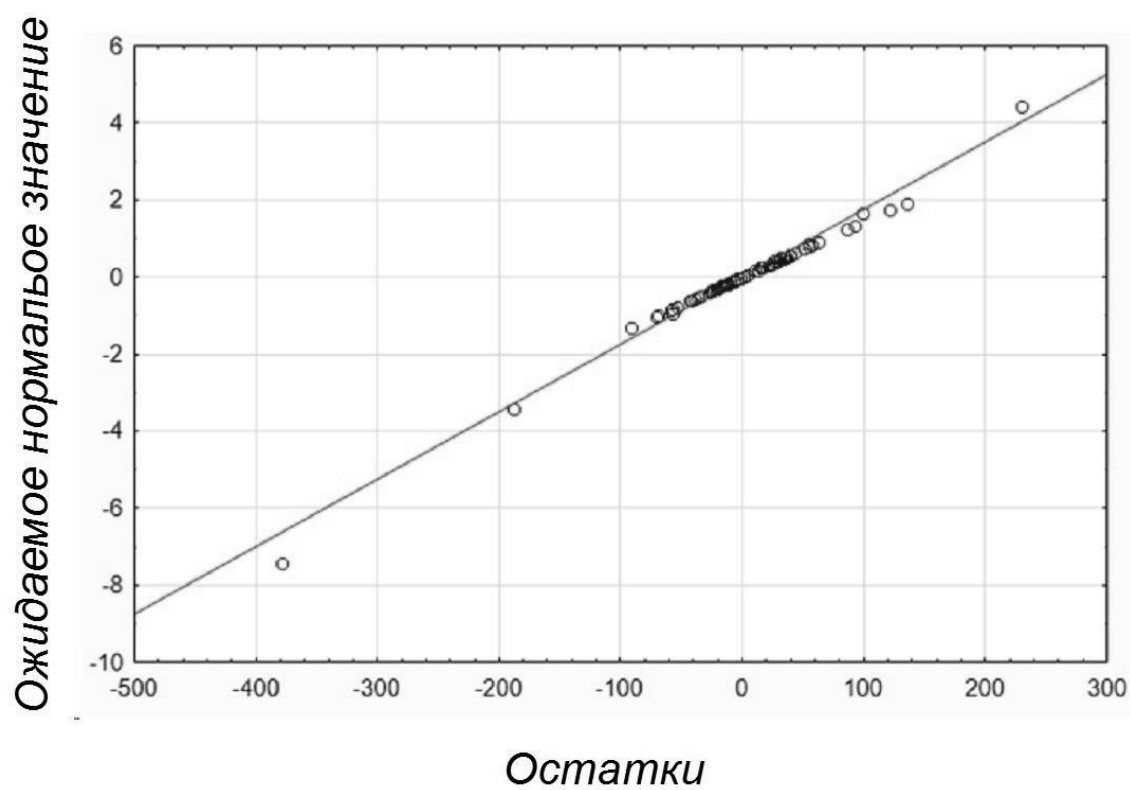


Рисунок 3.13 – Нормальный вероятностный график остатков функции Y_2

Чем лучше математическая модель представляет экспериментальные данные, тем ближе экспериментальные данные будут располагаться к графику математической модели. В нашем случае модель является адекватной.

Так же в STATISTICA может быть определен экстремум функции (найденны точки минимума и максимума). Минимум функции $Y_2 = -145,557$ при $X_1 = 1457,364$, $X_2 = 173,568$, $X_3 = -331,705$, $X_4 = 39,079$, $X_5 = 1,002$, $X_6 = -520,915$. Предсказанное значение функции Y_2 отрицательно, а значение параметров выходят за определенные границы исследования. Легко определить, что минимум функции ($Y_2 = 0$) должен достигаться при минимальных значениях интенсивностях транспортных потоков, движущихся на подходах к пересечению и на нем ($X_1 = 0$, $X_2 = 0$, $X_3 = 0$, $X_6 = 0$).

Ниже на рисунке 3.14 показана диаграмма поверхности Y_2 от X_5 и X_6 при $X_2 = 125$, $X_3 = 225$, $X_4 = 60$, $X_1 = 800$, а на рисунке 3.15 контурная диаграмма данной поверхности.

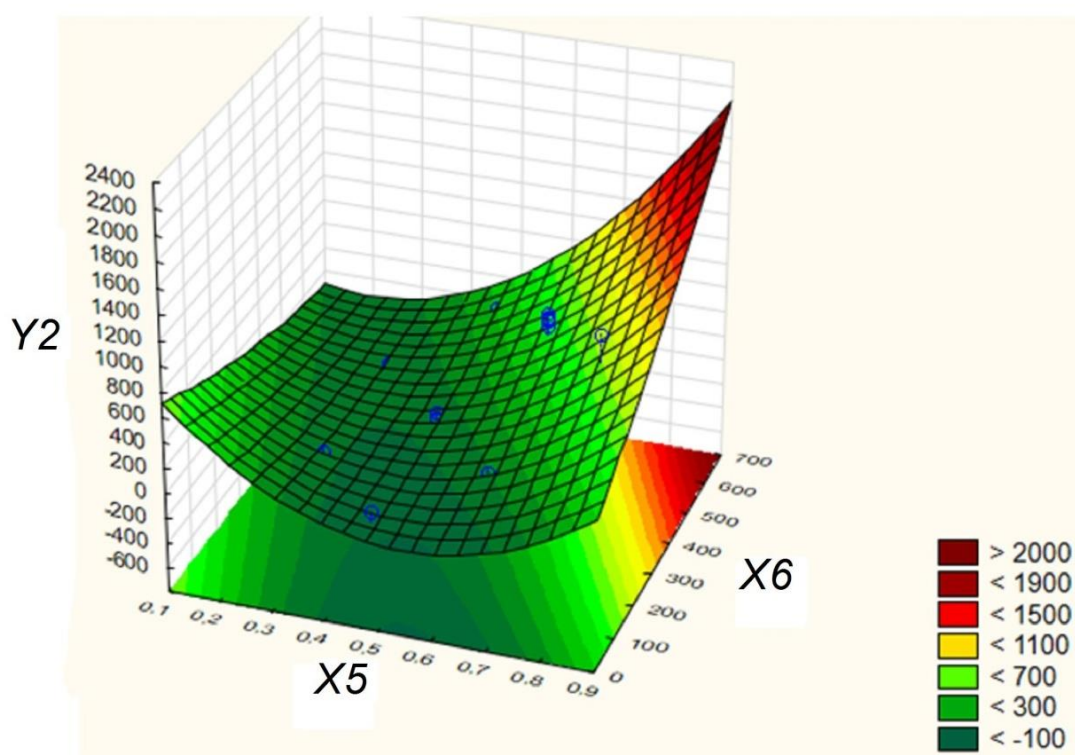


Рисунок 3.14 – Диаграмма поверхности Y_2

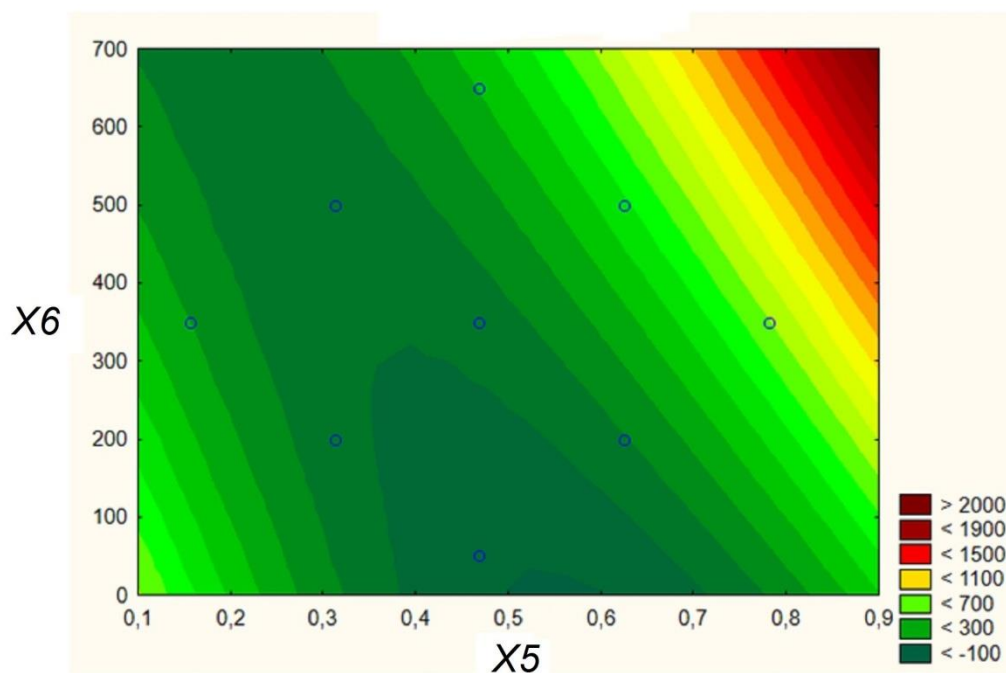


Рисунок 3.15 – Контурная диаграмма поверхности Y_2

Ниже на рисунке 3.16 показана диаграмма поверхности Y_2 от X_5 и X_3 при $X_2=125$, $X_6=300$, $X_4=60$, $X_1=800$, а на рисунке 3.17 контурная диаграмма данной поверхности.

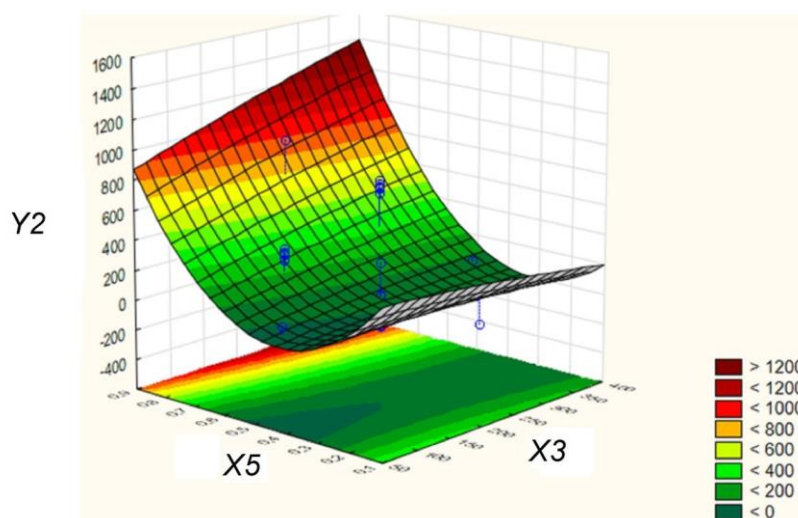


Рисунок 3.16 – Диаграмма поверхности Y_2

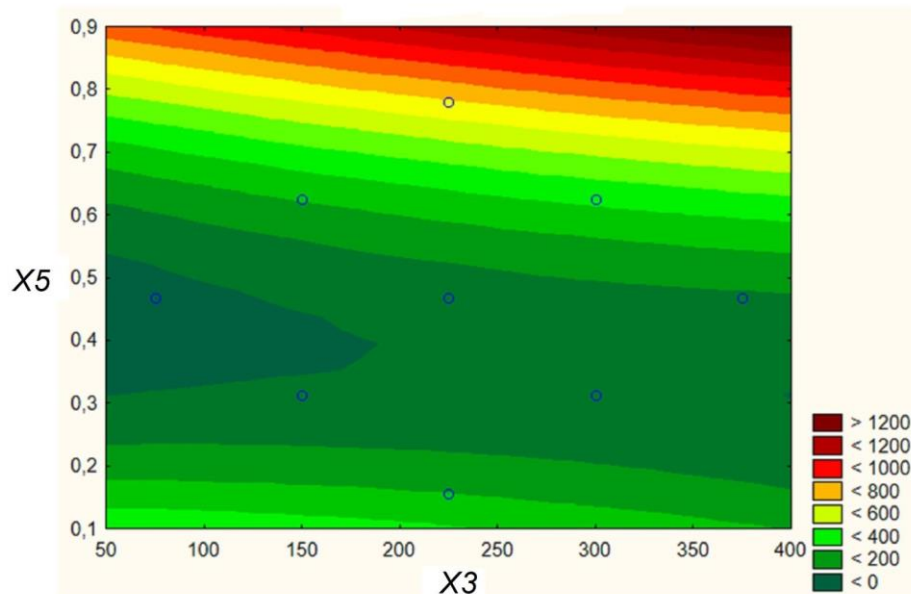


Рисунок 3.17 – Контурная диаграмма поверхности Y_2

Далее было проведено исследование функции Y_2 методом равномерного поиска с шагом $\Delta X_3 = 25$, $\Delta X_5 = 10/96$, $\Delta X_4 = 10$, $\Delta X_6 = 50$ в границах $75 \leq X_3 \leq 225$, $30/96 \leq X_5 \leq 60/96$, $40 \leq X_4 \leq 70$, $50 \leq X_6 \leq 450$, так как X_3 , X_5 , X_6 – значимые переменные, а X_4 – определяет геометрические размеры пересечения.

В таблицах 3.8 – 3.11 приведены в сокращенном виде экспериментальные данные, их графическое отображение показано на рисунках 3.18 – 3.21, выполненных в программном комплексе STATISTICA. Более подробно экспериментальные данные, графики приведены в приложении В.

Таблица 3.8 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2, c						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	22	23	24	25	26	27	28
100	25	25	27	28	29	30	31
150	27	28	30	31	34	39	39
200	27	29	30	36	41	41	42
250	27	31	33	44	56	62	64
300	30	43	73	154	141	141	163
350	43	82	156	225			
400	135	196					
450	220						

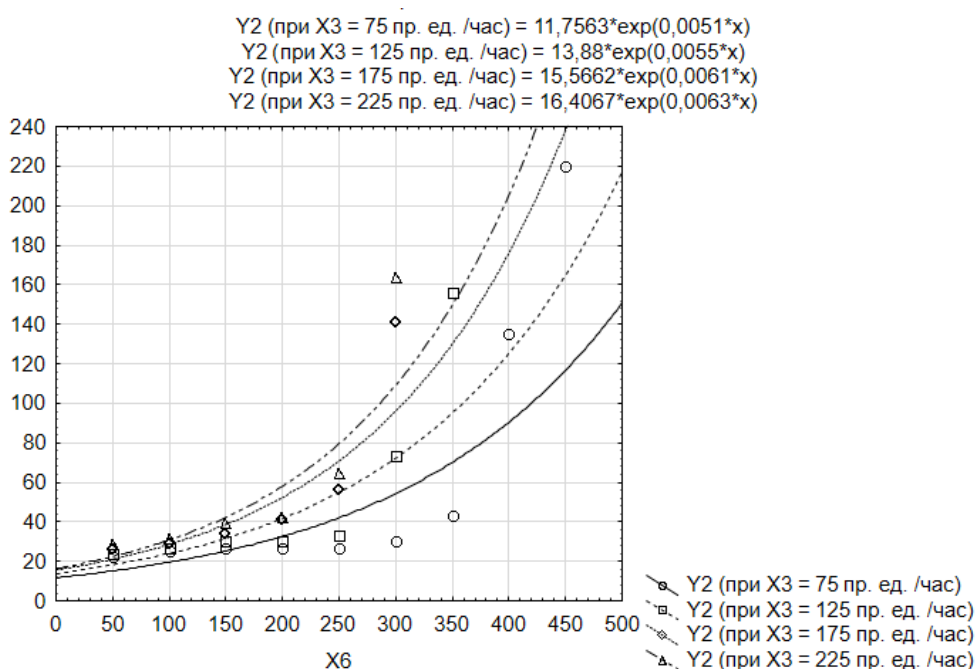


Рисунок 3.18 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

Таблица 3.9 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) и интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 100, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 125, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 150, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 175, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 200, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 225, \text{ пр. ед./ час}$
60/96	25	25	27	28	29	30	31
50/96	18	18	19	20	20	22	22
40/96	12	12	13	13	14	14	15
30/96	12	12	13	13	14	14	15

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 75 \text{ пр. ед. / час}) = 4,9355 \cdot \exp(2,5031 \cdot x)$$

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 125 \text{ пр. ед. / час}) = 5,3929 \cdot \exp(2,4693 \cdot x)$$

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 175 \text{ пр. ед. / час}) = 5,8513 \cdot \exp(2,4397 \cdot x)$$

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 225 \text{ пр. ед. / час}) = 6,2521 \cdot \exp(2,4584 \cdot x)$$

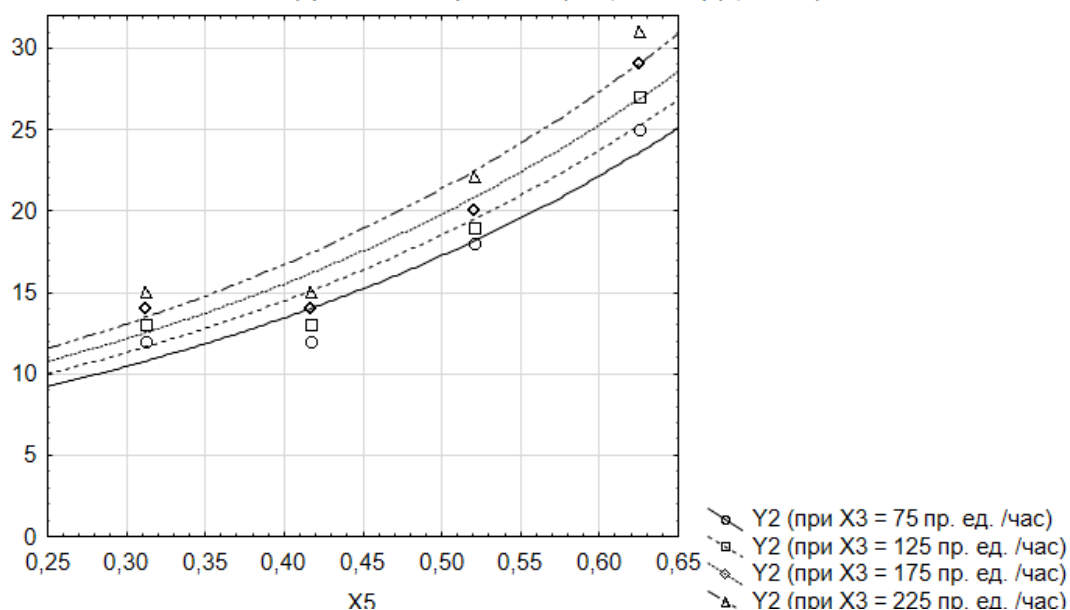


Рисунок 3.19 — Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) и интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6)

Таблица 3.10 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от диаметра островка (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) при интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3), интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6).

$X_4, \text{м}$	$Y_2, \text{с}$			
	$X_5 = 30/96$	$X_5 = 40/96$	$X_5 = 50/96$	$X_5 = 60/96$
40	15	15	22	43
50	9	15	23	38
60	14	14	21	32
70	9	15	21	32

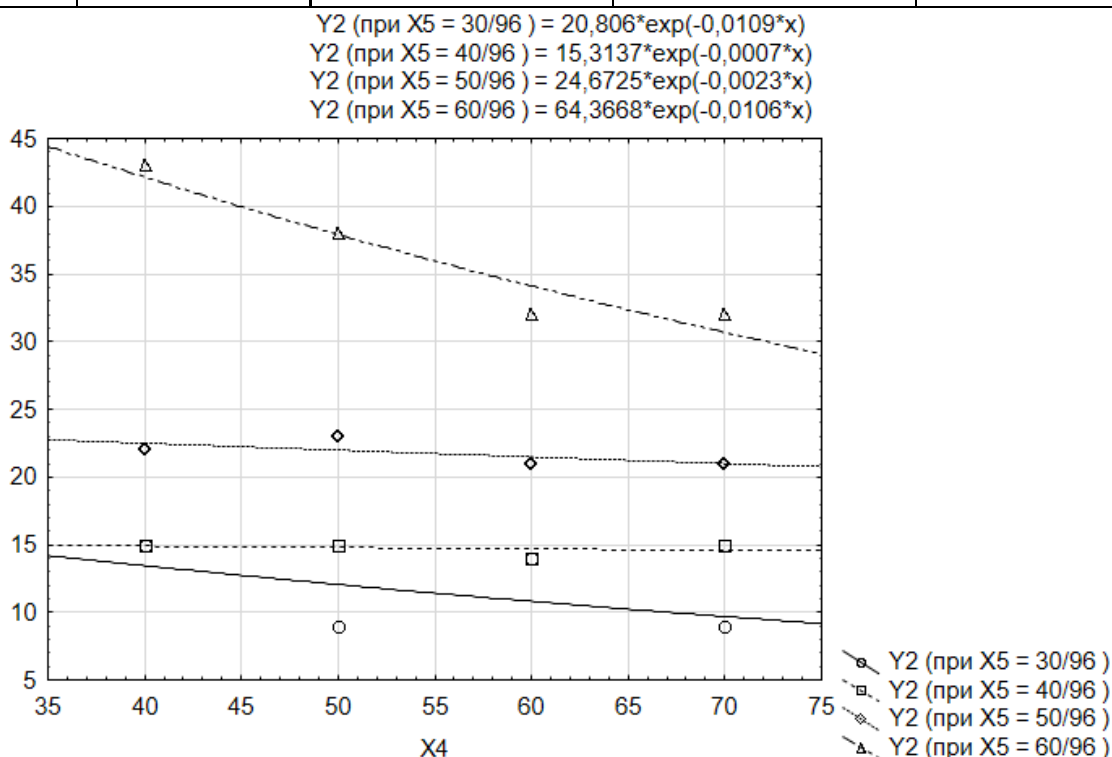


Рисунок 3.20 – Влияние диаметра островка (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3), интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6).

Таблица 3.11 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3), при интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6), эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) 30/96

$X_4, \text{ м}$	$Y_2, \text{ с}$						
	$X_3 = 75, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 100, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 125, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 150, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 175, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 200, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 22, \text{ пр. ед./ час}$
40	30	43	73	154	141	141	163
50	31	38	56	166	270	304	346
60	28	32	44	121	182	194	215
70	29	32	48	125	234	255	269

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 75 \text{ пр. ед. / час}) = 32,9697 \cdot \exp(-0,002 \cdot x)$$

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 125 \text{ пр. ед. / час}) = 123,6205 \cdot \exp(-0,015 \cdot x)$$

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 175 \text{ пр. ед. / час}) = 108,0647 \cdot \exp(0,0113 \cdot x)$$

$$Y_2 (\text{при } X_3 = 225 \text{ пр. ед. / час}) = 135,8415 \cdot \exp(0,0103 \cdot x)$$

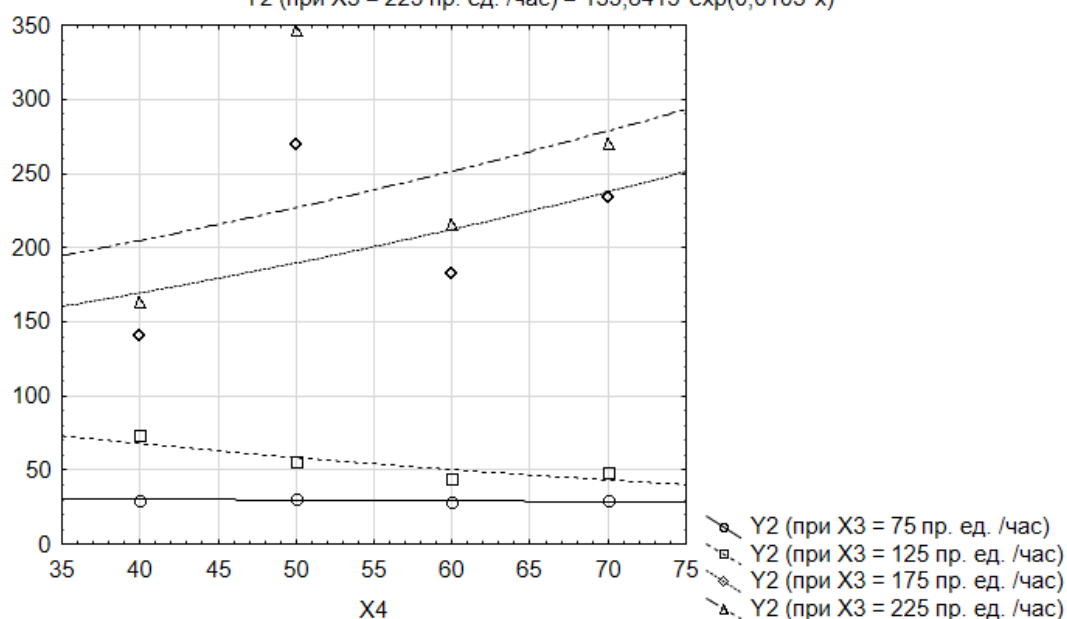


Рисунок 3.21 – Влияние диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенной дороге (Y_2) при интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6), эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) 30/96

Далее были сформулированы выводы:

- интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3), эффективная длительность цикла регулирования по основному направлению (X_5), интенсивность дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу (X_6) влияют на транспортную задержку (Y_2) по второстепенному направлению по экспоненциальной зависимости;
- в условиях свободного транспортного потока увеличение диаметра (X_4) с 40 до 70 м центрального островка приводит к небольшому снижению (не более 10 %) транспортной задержки (Y_2) по второстепенному направлению, которое находится на уровне погрешности моделирования. Это происходит из – за того, что транспортные заторы отсутствуют на кольце, транспортные средства со второстепенной дороги имеют возможность практически без помех заезжать на кольцо. С образованием и увеличением транспортных заторов на кольце снижение транспортной задержки за счет увеличения диаметра островка минимизируется.

3.3 Выводы по разделу

В ходе проведенного исследования были получены уравнения множественной и парной регрессии транспортных задержек на КПСРПЦО. Определено влияние транспортных и организационно – планировочных факторов на величины транспортных задержек.

Интенсивность дорожного движения по основному направлению прямо, приходящаяся на одну полосу, (X_1), эффективная длительность цикла регулирования по основному направлению (X_5) влияют на величину транспортной задержки (Y_1) по основному направлению по экспоненциальной зависимости.

Интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3), эффективная длительность цикла регулирования по основному направлению (X_5), интенсивность дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6) влияют на транспортную задержку (Y_2) по второстепенному направлению по экспоненциальной зависимости;

Диаметр кольца КПСРПЦО (X_4) в уравнении множественной регрессии является незначимым фактором. На основе анализа данных, полученных на основе метода равномерного поиска, диаметр кольца КПСРПЦО (X_4) оказывает малое влияние на транспортные задержки. В условиях экономического эффективного функционирования транспортной развязки диаметр кольца КПСРПЦО оказывает малое влияние на транспортные задержки.

Увеличение диаметра центрального островка можно рекомендовать с целью:

- увеличения количества ТС, которые могут располагаться на кольце;
- увеличения скорости движения по кольцу в свободных условиях;
- снижения усилия от центростремительного ускорения при движении по кольцу;
- повышение удобства движения общественного и грузового транспорта.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КПСРПЦО

При движении по кольцевой части КПСРПЦО в местах пересечения ее с основным направлением установлены светофорные объекты. Поэтому движение по кольцевой части в зависимости от транспортных условий возможно без остановки или с одной, или с двумя остановками. При наиболее неблагоприятных условиях (транспортный затор) будет две остановки. Движение по кольцевой части можно рассматривать как два последовательных движения по полукольцу транспортной развязки. При этом в зависимости от интенсивностей транспортных потоков по главным и второстепенным направлениям транспортная ситуация на полукольцах КПСРПЦО может различаться.

Для более качественного описания экспериментальных данных, приведенных в приложении Б и В, дальнейшей с ними работой было проведено исследование по определению пропускной способности полосы движения полукольца (*ПСПК*) КПСРПЦО в зависимости от двух факторов: диаметра островка (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5). Результаты данного исследования опубликованы в журнале «Интеллект. Инновации. Инвестиции» [101 Д.Д. Сильченков, С. В. Ганзин, Ю. Я. Сильченкова].

Для этого в моделях КПСРПЦО задавалась избыточная интенсивность транспортного потока (1500 пр. ед./час на одну полосу движения), движущегося по 3/4 части кольца КПСРПЦО (см. рисунок 4.1). Определялось количество ТС, прошедших через транспортную развязку за 1 час моделирования, которое принималось равным пропускной способности полосы движения полукольца КПСРПЦО. Полученной значение делилось на 2, так как в модели 2 полосы движения на кольце, заносилось в таблицу 4.1.

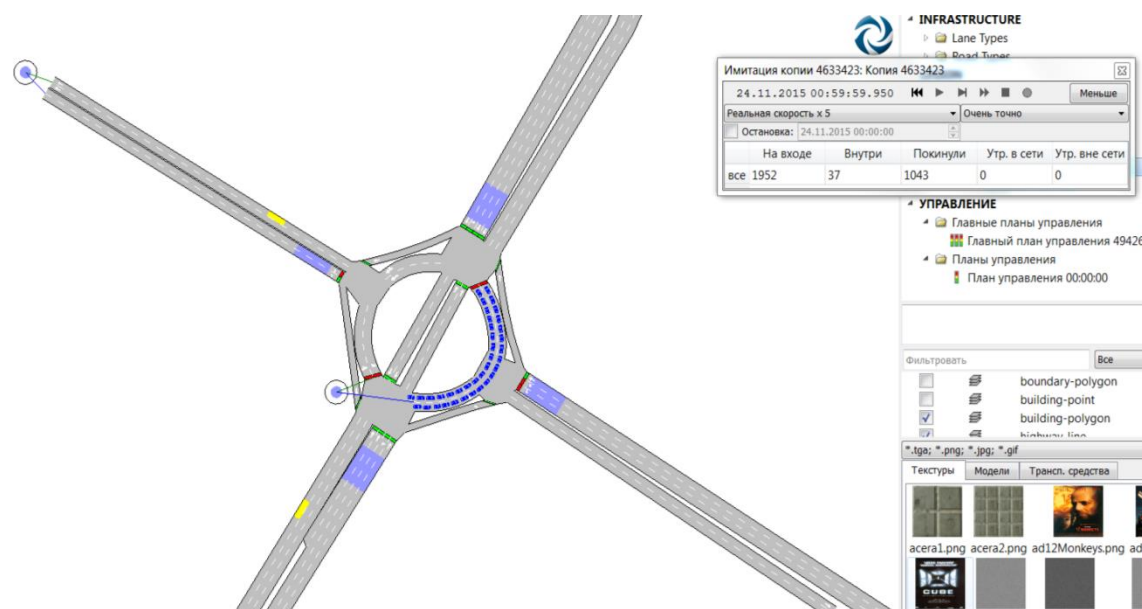


Рисунок 4.1 – Модель дорожного движения для определение пропускной способности полосы полукольца КПСРПЦО

Таблица 4.1 – Пропускная способность одной полосы движения половины кольца КПСРПЦО (ПСПК) при различных X_4 и X_5

X_4 , диаметр островка, м	$ПСПК$, пр. ед./час				
	$X_5 = 30/96$	$X_5 = 40/96$	$X_5 = 45/96$	$X_5 = 50/96$	$X_5 = 60/96$
40	896	773	692	634	504
50	889	770	699	631	503
55	901	760	708	637	518
60	907	777	709	645	522
70	897	776	702	638	510
Среднее значение	898	771	702	637	511

Как видно из таблицы 4.1 пропускная способность уменьшается с увеличением эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5), от диаметра островка (X_4) не зависит. Размах значений пропускной способности от диаметра островка можно объяснить геометрическими погрешностями при построении моделей КПСРПЦО в Aimsun.

Далее в программном комплексе STATISTICA было получено уравнение зависимости ПСПК от X_5 , показанное на рисунке 4.2 и в уравнении 4.1.

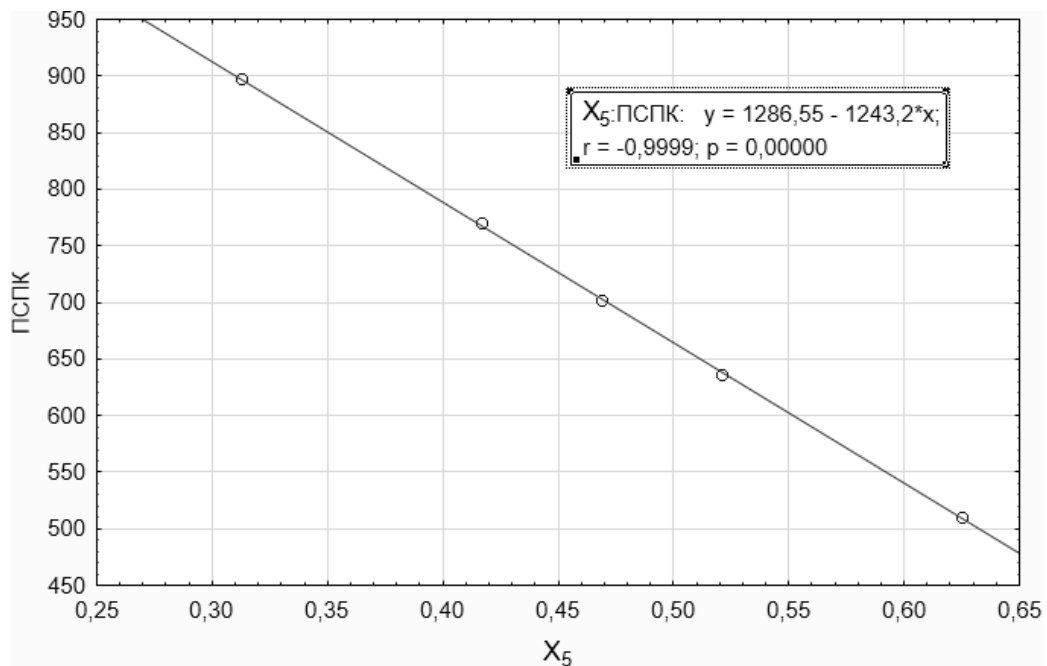


Рисунок 4.2 – Зависимость ПСПК от X_5

$$\text{ПСПК} = 1286,55 - 1243,2 \times X_5, (4.1)$$

Для определения степени загрузки кольцевой части КПСРПЦО предлагается использовать выражение:

$$\frac{X_3 + X_6}{\text{ПСПК}}, (4.2)$$

Далее с помощью функции желательности был произведен поиск оптимальных значений в программном комплексе STATISTICA [102].

Функция желательности зависит от шести элементов – от трех точек желательности для Y_1 , Y_2 (1 – точка наиболее желательная (это минимум Y_1 , Y_2), 1 точка – наименее желательная (это максимум Y_1 , Y_2) и 1 – средняя точка), двух параметров кривизны и от подогнанной функции зависимости между откликом и независимых переменных [103, 104].

На рисунке 4.3 изображен внешний вид функций желательности для переменных Y_1 и Y_2 .

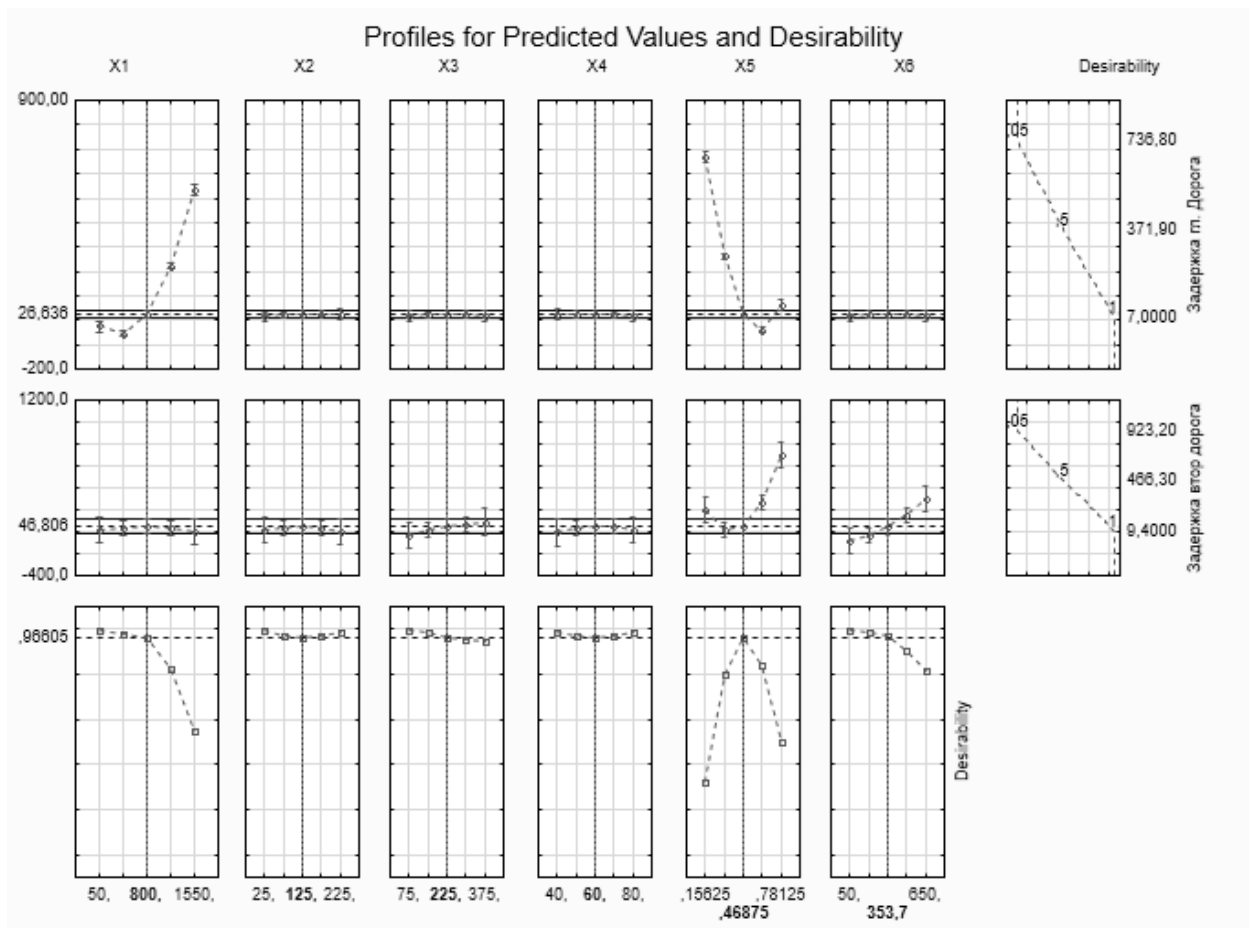


Рисунок 4.3 – Профили функции желательности

Максимальное значение функции желательности $J=0,96605$ будет достигаться при $X_1=800$, $X_2=125$, $X_3=225$, $X_4=60$, $X_5=0,46875$, $X_6=353,7$.

Для полученных значений переменных были рассчитаны значения транспортных задержек по полученным уравнениям регрессии 3.6 и 3.7. $Y_{1\text{расчетное}} = -570,57$ с, $Y_{2\text{расчетное}} = 3390,58$ с, а также проведены моделирования для определения экспериментальных значений: $Y_{1\text{экспериментальное}} = 21$ с, $Y_{2\text{экспериментальное}} = 17$ с.

При полученных значениях переменных значение выражения

$$\frac{X_3 + X_6}{\text{ПСПК}} = 0,8.$$

Чтобы свести к минимуму влияние распределение транспортного потока по времени в Aimsun и диаметра островка КПРСЦО (который не является значимым фактором в уравнениях множественной регрессии) были вычислены средние значения задержек Y_1 и Y_2 . Для этого соответствующие

данные таблиц приложений (таблицы Б1 – Б4, В1 – В.16) складывались, полученное значение делилось на соответствующее число моделей дорожного движения.

В таблице 4.2 представлены усредненные данные по задержкам по главной дороге (Y_1): в столбике «Aimsun» показаны значения экспериментальной задержки, значение в скобках – это значение выражения

$$X_1 \times \frac{1}{X_5}, (4.3)$$

в столбике «Вебстер» – значение транспортной задержки, рассчитанной по формуле Ф. Вебстера [105]. Значение в столбике «Вебстер» скобках это χ – степень насыщения направления. Экспериментальные и теоретические данные сходятся при $\chi \leq 1$, определяемое по формуле:

$$\chi = \frac{N_i * T_{\text{цикла}}}{M_i * t_{\text{зел}}} = \frac{2 * X_1}{M_i * X_5}, (4.4)$$

где N_i – интенсивность по главной дороге в прямом направлении (пр. ед./час);

M_i – поток насыщения для главной дороги (пр. ед./час).

Так же ячейки с экспериментальными данными раскрашены в цвета, в соответствии с величиной Y_1 :

- желтый цвет – задержка до 20 с включительно;
- фиолетовый цвет – задержка от 21 с до 30 с включительно;
- коричневый цвет – задержка от 31 с до 50 с включительно;
- красный цвет – задержка от 51 с до 100 с включительно;
- зеленый цвет – задержка более 101 с.

Таблица 4.2 – Усредненные значения транспортной задержки по главной дороге (Y_1) в зависимости от X_1 и X_5 , сравнение экспериментальной транспортной задержки с рассчитанной по формуле Вебстера.

X_1	Y_1, c							
	$X_5=30/96$		$X_5=40/96$		$X_5=50/96$		$X_5=60/96$	
	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер
50	32 (160)	23,3 (0,08)	22 (120)	16,8 (0,06)	14 (96)	11,3 (0,05)	10 (80)	6,9 (0,04)
10	32 (320)	23,9 (0,16)	22 (240)	17,2 (0,12)	14 (192)	11,6 (0,10)	10 (160)	7,1 (0,08)
15	32 (480)	24,6 (0,24)	22 (360)	17,7 (0,18)	15 (288)	11,9 (0,15)	10 (240)	7,3 (0,12)
20	32 (680)	25,2 (0,32)	22 (480)	18,2 (0,24)	15 (384)	12,3 (0,19)	10 (320)	7,5 (0,16)
25	32 (800)	26,0 (0,41)	22 (600)	18,7 (0,30)	15 (480)	12,6 (0,24)	10 (400)	7,7 (0,20)
30	32 (960)	26,8 (0,49)	22 (720)	19,3 (0,37)	15 (576)	13,0 (0,29)	10 (480)	8,0 (0,24)
35	32 (1120)	27,6 (0,57)	22 (840)	19,9 (0,43)	15 (672)	13,4 (0,34)	10 (560)	8,2 (0,28)
40	32 (1280)	28,5 (0,65)	22 (960)	20,5 (0,49)	15 (768)	13,8 (0,39)	11 (640)	8,5 (0,32)
45	32 (1440)	29,4 (0,73)	23 (1080)	21,2 (0,55)	16 (864)	14,3 (0,44)	11 (720)	8,7 (0,37)
50	32 (1600)	30,4 (0,81)	23 (1200)	21,9 (0,61)	16 (960)	14,8 (0,49)	11 (800)	9,0 (0,41)
55	35 (1760)	31,5 (0,89)	23 (1320)	22,6 (0,67)	16 (1056)	15,3 (0,54)	11 (880)	9,4 (0,45)
60	38 (1920)	32,6 (0,97)	24 (1440)	23,5 (0,73)	17 (1152)	15,8 (0,58)	11 (960)	9,7 (0,49)
65	42 (2080)	33,8 (1,06)	24 (1560)	24,3 (0,79)	17 (1248)	16,4 (0,63)	12 (1040)	10,1 (0,53)
70	86 (2240)	35,2 (1,14)	26 (1680)	25,3 (0,85)	18 (1344)	17,1 (0,68)	13 (1120)	10,5 (0,57)
75	193 (2400)	36,6 (1,22)	27 (1800)	26,3 (0,91)	18 (1440)	17,8 (0,73)	12 (1200)	10,9 (0,61)
80	208 (2560)	38,2 (1,30)	29 (1920)	27,5 (0,97)	19 (1536)	18,5 (0,78)	13 (1280)	11,4 (0,65)
85	336 (2720)	39,9 (1,38)	35 (2040)	28,7 (1,04)	20 (1632)	19,4 (0,83)	14 (1360)	11,9 (0,69)
90	399 (2880)	41,7 (1,46)	41 (2160)	30,0 (1,10)	21 (1728)	20,3 (0,88)	14 (1440)	12,4 (0,73)
95	457 (3040)	43,7 (1,54)	52 (2280)	31,5 (1,16)	22 (1824)	21,3 (0,93)	14 (1520)	13,0 (0,77)
10	520 (3200)	46,0 (1,62)	111 (2400)	33,1 (1,22)	23 (1920)	22,4 (0,97)	15 (1600)	13,7 (0,81)
10	560 (3360)	48,5 (1,71)	177 (2520)	34,9 (1,28)	25 (2016)	23,6 (1,02)	16 (1680)	14,4 (0,85)
11	614 (3520)	51,3 (1,79)	321 (2640)	36,9 (1,34)	32 (2112)	24,9 (1,07)	17 (1760)	15,3 (0,89)
11	665 (3680)	54,4 (1,87)	367 (2760)	39,1 (1,40)	44 (2208)	26,4 (1,12)	19 (1840)	16,2 (0,93)
12	675 (3840)	57,9 (1,95)	405 (2880)	41,6 (1,46)	88 (2304)	28,2 (1,17)	21 (1920)	17,3 (0,97)
12	686 (4000)	61,9 (2,03)	421 (3000)	44,5 (1,52)	129 (2400)	30,1 (1,22)	23 (2000)	18,4 (1,02)
13	716 (4160)	66,6 (2,11)	465 (3120)	47,8 (1,58)	202 (2496)	32,4 (1,27)	29 (2080)	19,8 (1,06)
13	723 (4320)	71,9 (2,19)	494 (3240)	51,7 (1,64)	249 (2592)	35,0 (1,32)	29 (2160)	21,4 (1,10)
14	736 (4480)	78,2 (2,27)	529 (3360)	56,2 (1,71)	346 (2688)	38,0 (1,36)	71 (2240)	23,3 (1,14)
14	748 (4640)	85,8 (2,36)	546 (3480)	61,6 (1,77)	366 (2784)	41,7 (1,41)	105 (2320)	25,5 (1,18)
15	774 (4800)	94,9 (2,44)	571 (3600)	68,2 (1,83)	406 (2880)	46,1 (1,46)	163 (2400)	28,3 (1,22)
15	778 (4960)	106,2 (2,52)	590 (3720)	76,3 (1,89)	436 (2976)	51,6 (1,51)	271 (2480)	31,6 (1,26)

По данным таблицы 4.2 построен график, показанный на рисунке 4.4.

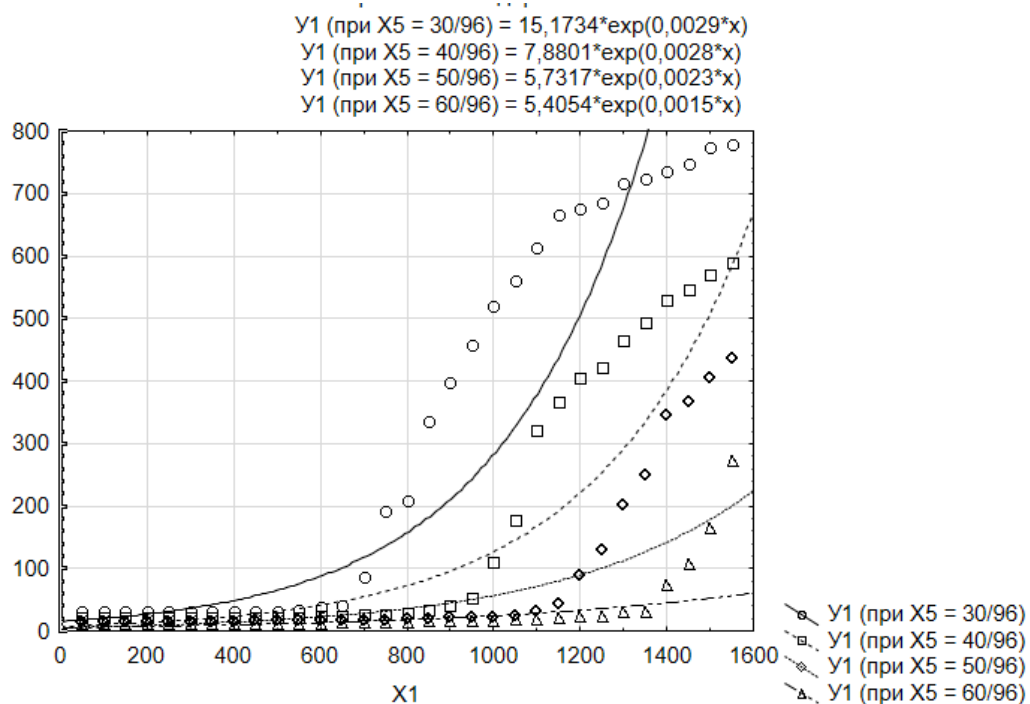


Рисунок 4.4 – Усредненные значения транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от X_1 и X_5

Результаты исследования транспортных задержек опубликованы в журнале «Интеллект. Инновации. Инвестиции» [106 Д. Д. Сильченков, Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин].

На основе анализа таблицы 4.1 были сделаны следующие рекомендации для главной дороги:

- при $\chi \leq 1$ для расчета транспортной задержки по основному направлению (Y_1) можно использовать формулу Ф. Вебстера [106 Д. Д. Сильченков, Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин];
- при $\chi \geq 1$ для определения транспортной задержки по основному направлению (Y_1) не рекомендуется применять формулу Ф. Вебстера, необходимо использовать данные таблицы 4.2;
- для приближенного и быстрого определения транспортной задержки по главной дороге (Y_1) можно использовать зависимость $X_1 \times \frac{1}{X_5}$:
 - при $X_1 \times \frac{1}{X_5} \geq 2200$ будут наблюдаться значения $Y_1 \geq 50$ с;

- при $X_1 \times \frac{1}{X_5} \leq 1600$ будут наблюдаться значения $Y_1 \leq 20$ с (для циклов регулирования с $X_5=50/96$ и $60/96$);
- при $X_1 \times \frac{1}{X_5} \leq 1900$ будут наблюдаться значения $Y_1 \leq 30$ с.

В таблицах 4.3 – 4.6 показаны усредненные значения транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2), в столбике «Aimsun» показаны значения экспериментальной задержки, значение в скобках – это значение выражения $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}}$, в столбике «Вебстер» – значение транспортной задержки, рассчитанной по формуле Ф. Вебстера [105]. Значение в столбике «Вебстер» в скобках это χ – степень насыщения направления.

Так же ячейки раскрашены в цвета, в соответствии с величиной Y_2 :

- желтый цвет – задержка до 20 с включительно;
- голубой цвет – задержка до 30 с включительно;
- зеленый цвет – задержка от 31 с до 50 с включительно;
- коричневый цвет – задержка от 51 с до 100 с включительно;
- красный цвет – задержка более 101 с.

По данным таблиц 4.3 – 4.6 построены соответствующие графические зависимости (см. рисунки 4.5 – 4.8).

Таблица 4.3 – Усредненные значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6) и интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2, c													
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час		$X_3 = 100$, пр. ед./ час		$X_3 = 125$, пр. ед./ час		$X_3 = 150$, пр. ед./ час		$X_3 = 175$, пр. ед./ час		$X_3 = 200$, пр. ед./ час		$X_3 = 225$, пр. ед./ час	
	Aimsun	Ф. Вебстер	Aimsun	Ф. Вебстер	Aimsun	Ф. Вебстер	Aimsun	Ф. Вебстер	Aimsun	Ф. Вебстер	Aimsun	Ф. Вебстер	Aimsun	Ф. Вебстер
50	23 (0,39)	23,6 (0,12)	24 (0,49)	23,6 (0,12)	24 (0,59)	23,6 (0,12)	26 (0,68)	23,6 (0,12)	27 (0,78)	23,6 (0,12)	28 (0,88)	23,6 (0,12)	29 (0,98)	23,6 (0,12)
100	24 (0,49)	24,5 (0,24)	25 (0,59)	24,5 (0,24)	26 (0,68)	24,5 (0,24)	28 (0,78)	24,5 (0,24)	29 (0,88)	24,5 (0,24)	30 (0,98)	24,5 (0,24)	32 (1,08)	24,5 (0,24)
150	26 (0,59)	25,5 (0,36)	27 (0,68)	25,5 (0,36)	29 (0,78)	25,5 (0,36)	30 (0,88)	25,5 (0,36)	32 (0,98)	25,5 (0,36)	39 (1,08)	25,5 (0,36)	41 (1,17)	25,5 (0,36)
200	27 (0,68)	26,6 (0,48)	28(0,78)	26,6 (0,48)	30 (0,88)	26,6 (0,48)	33 (0,98)	26,6 (0,48)	38 (1,08)	26,6 (0,48)	47 (1,17)	26,6 (0,48)	54 (1,27)	26,6 (0,48)
250	27 (0,78)	27,7 (0,60)	30 (0,88)	27,7 (0,60)	32 (0,98)	27,7 (0,60)	50 (1,08)	27,7 (0,60)	85 (1,17)	27,7 (0,60)	118 (1,27)	27,7 (0,60)	130 (1,37)	27,7 (0,60)
300	30 (0,88)	28,9 (0,72)	36 (0,98)	28,9 (0,72)	55 (1,08)	28,9 (0,72)	142 (1,17)	28,9 (0,72)	207 (1,27)	28,9 (0,72)	224 (1,37)	28,9 (0,72)	248 (1,47)	28,9 (0,72)
350	36 (0,98)	30,2 (0,84)	59 (1,08)	30,2 (0,84)	144 (1,17)	30,2 (0,84)	238 (1,27)	30,2 (0,84)		30,2 (0,84)		30,2 (0,84)		30,2 (0,84)
400	108 (1,08)	31,6 (0,96)	176 (1,17)	31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)
450	169 (1,17)	33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)
500	224 (1,27)	34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)

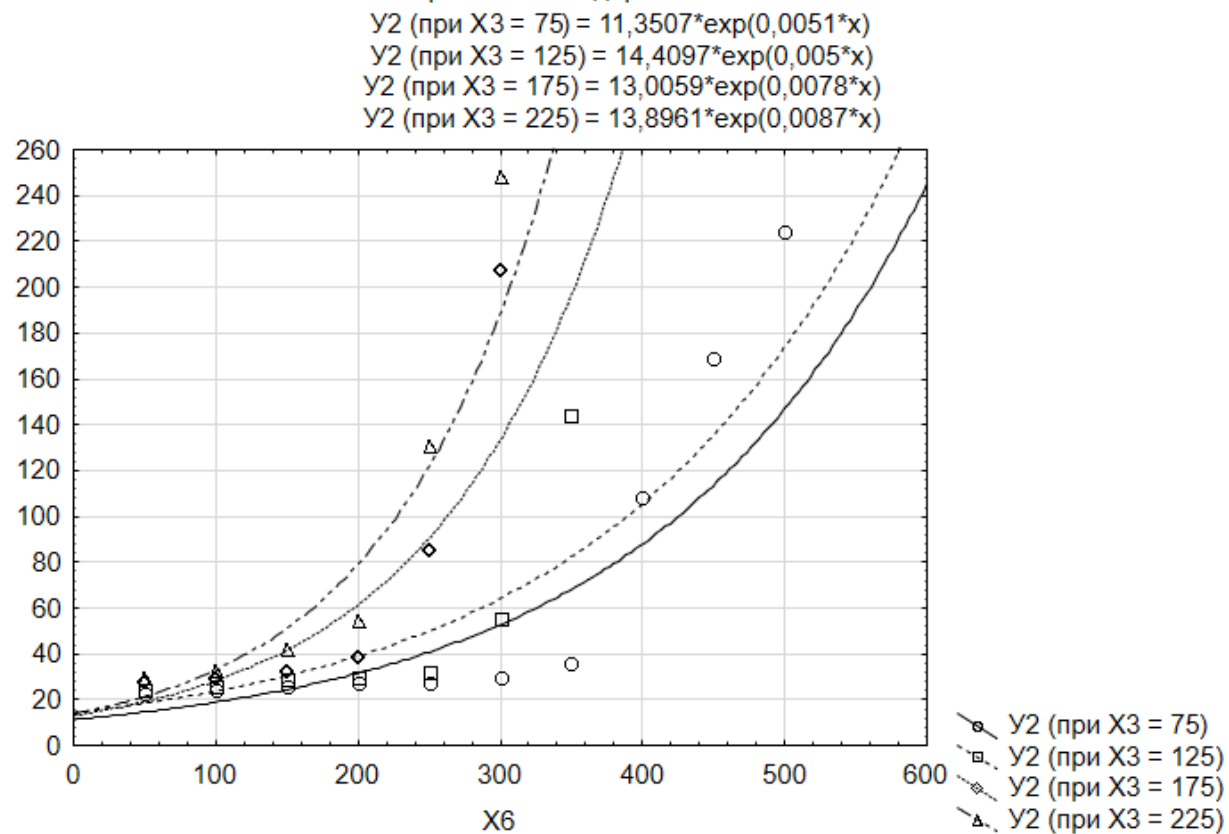


Рисунок 4.5 – График усредненной транспортной задержки по второстепенной дороге (Y_2) в зависимости от интенсивности транспортного потока, приходящейся на одну полосу по второстепенной дороге, (X_6) и интенсивности транспортного потока, движущегося по кольцу, приходящейся на одну полосу (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по главной дороге 60/96 (X_5)

Таблица 4.4 – Усредненные значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу (X_6) и интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2, c													
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час		$X_3 = 100$, пр. ед./ час		$X_3 = 125$, пр. ед./ час		$X_3 = 150$, пр. ед./ час		$X_3 = 175$, пр. ед./ час		$X_3 = 200$, пр. ед./ час		$X_3 = 225$, пр. ед./ час	
	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп
50	17 (0,31)	17,0 (0,09)	17 (0,39)	17,0 (0,09)	17 (0,47)	17,0 (0,09)	18 (0,55)	17,0 (0,09)	19 (0,63)	17,0 (0,09)	20 (0,71)	17,0 (0,09)	20 (0,78)	17,0 (0,09)
100	18 (0,39)	17,7 (0,18)	18 (0,47)	17,7 (0,18)	18 (0,55)	17,7 (0,18)	19 (0,63)	17,7 (0,18)	20 (0,71)	17,7 (0,18)	21 (0,78)	17,7 (0,18)	22 (0,86)	17,7 (0,18)
150	19 (0,47)	18,4 (0,27)	20 (0,55)	18,4 (0,27)	21 (0,63)	18,4 (0,27)	21 (0,71)	18,4 (0,27)	23 (0,78)	18,4 (0,27)	24 (0,86)	18,4 (0,27)	25 (0,94)	18,4 (0,27)
200	20 (0,55)	19,2 (0,36)	21 (0,63)	19,2 (0,36)	22 (0,71)	19,2 (0,36)	22 (0,78)	19,2 (0,36)	24 (0,86)	19,2 (0,36)	25 (0,94)	19,2 (0,36)	26 (1,02)	19,2 (0,36)
250	20 (0,63)	20,0 (0,45)	21 (0,71)	20,0 (0,45)	22 (0,78)	20,0 (0,45)	23 (0,86)	20,0 (0,45)	24 (0,94)	20,0 (0,45)	26 (1,02)	20,0 (0,45)	30 (1,10)	20,0 (0,45)
300	21 (0,71)	21,0 (0,54)	22 (0,78)	21,0 (0,54)	23 (0,86)	21,0 (0,54)	24 (0,94)	21,0 (0,54)	27 (1,02)	21,0 (0,54)	33 (1,10)	21,0 (0,54)	43 (1,18)	21,0 (0,54)
350	23 (0,78)	22,0 (0,63)	24 (0,86)	22,0 (0,63)	25 (0,94)	22,0 (0,63)	27 (1,02)	22,0 (0,63)	34 (1,10)	22,0 (0,63)	52 (1,18)	22,0 (0,63)	89 (1,26)	22,0 (0,63)
400	25 (0,86)	23,1 (0,72)	26 (0,94)	23,1 (0,72)	30 (1,02)	23,1 (0,72)	46 (1,10)	23,1 (0,72)	82 (1,18)	23,1 (0,72)	143 (1,26)	23,1 (0,72)	178 (1,33)	23,1 (0,72)
450	26 (0,94)	24,2 (0,81)	29 (1,02)	24,2 (0,81)	58 (1,10)	24,2 (0,81)	98 (1,18)	24,2 (0,81)	174 (1,26)	24,2 (0,81)	233 (1,33)	24,2 (0,81)	226 (1,41)	24,2 (0,81)
500	38 (1,02)	25,5 (0,90)	74 (1,10)	25,5 (0,90)	140 (1,18)	25,5 (0,90)	188 (1,26)	25,5 (0,90)		25,5 (0,90)		25,5 (0,90)		25,5 (0,90)
550	95 (1,10)	27,0 (0,99)	138 (1,18)	27,0 (0,99)	204 (1,26)	27,0 (0,99)	260 (1,33)	27,0 (0,99)		27,0 (0,99)		27,0 (0,99)		27,0 (0,99)
600	130 (1,18)	28,6 (1,08)		28,6 (1,08)		28,6 (1,08)		28,6 (1,08)		28,6 (1,08)		28,6 (1,08)		28,6 (1,08)

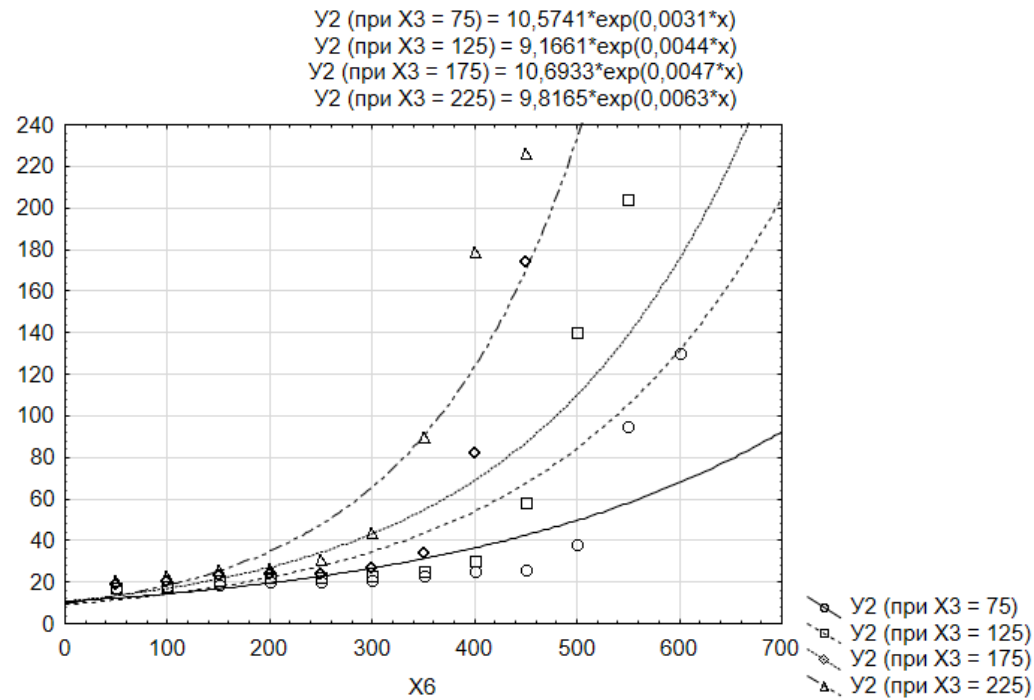


Рисунок 4.6 – График усредненной транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6) и интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица 4.5 – Усредненные значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу (X_6) и интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2, c													
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час		$X_3 = 100$, пр. ед./ час		$X_3 = 125$, пр. ед./ час		$X_3 = 150$, пр. ед./ час		$X_3 = 175$, пр. ед./ час		$X_3 = 200$, пр. ед./ час		$X_3 = 225$, пр. ед./ час	
	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп	Aimsun	Вебстеп
50	11 (0,28)	11,5 (0,07)	12 (0,35)	11,5 (0,07)	12 (0,42)	11,5 (0,07)	12 (0,49)	11,5 (0,07)	13 (0,56)	11,5 (0,07)	13 (0,63)	11,5 (0,07)	13 (0,70)	11,5 (0,07)
100	12 (0,35)	11,9 (0,14)	12 (0,42)	11,9 (0,14)	13 (0,49)	11,9 (0,14)	13 (0,56)	11,9 (0,14)	13 (0,63)	11,9 (0,14)	14 (0,70)	11,9 (0,14)	15 (0,77)	11,9 (0,14)
150	14 (0,42)	12,4 (0,22)	14 (0,49)	12,4 (0,22)	14 (0,56)	12,4 (0,22)	14 (0,63)	12,4 (0,22)	15 (0,70)	12,4 (0,22)	16 (0,77)	12,4 (0,22)	17 (0,84)	12,4 (0,22)
200	14 (0,49)	13,0 (0,29)	14 (0,56)	13,0 (0,29)	15 (0,63)	13,0 (0,29)	15 (0,70)	13,0 (0,29)	16 (0,77)	13,0 (0,29)	16 (0,84)	13,0 (0,29)	18 (0,91)	13,0 (0,29)
250	14 (0,56)	13,5 (0,36)	14 (0,63)	13,5 (0,36)	15 (0,70)	13,5 (0,36)	15 (0,77)	13,5 (0,36)	16 (0,84)	13,5 (0,36)	17 (0,91)	13,5 (0,36)	18 (0,98)	13,5 (0,36)
300	15 (0,63)	14,2 (0,43)	15 (0,70)	14,2 (0,43)	15 (0,77)	14,2 (0,43)	16 (0,84)	14,2 (0,43)	17 (0,91)	14,2 (0,43)	18 (0,98)	14,2 (0,43)	20 (1,05)	14,2 (0,43)
350	15 (0,70)	14,9 (0,50)	16 (0,77)	14,9 (0,50)	17 (0,84)	14,9 (0,50)	17 (0,91)	14,9 (0,50)	18 (0,98)	14,9 (0,50)	20 (1,05)	14,9 (0,50)	22 (1,13)	14,9 (0,50)
400	16 (0,77)	15,6 (0,58)	17 (0,84)	15,6 (0,58)	17 (0,91)	15,6 (0,58)	18 (0,98)	15,6 (0,58)	20 (1,05)	15,6 (0,58)	23 (1,13)	15,6 (0,58)	26 (1,20)	15,6 (0,58)
450	17 (0,84)	16,5 (0,65)	18 (0,91)	16,5 (0,65)	19 (0,98)	16,5 (0,65)	19 (1,05)	16,5 (0,65)	22 (1,13)	16,5 (0,65)	25 (1,20)	16,5 (0,65)	32 (1,27)	16,5 (0,65)
500	19 (0,91)	17,4 (0,72)	20 (0,98)	17,4 (0,72)	20 (1,05)	17,4 (0,72)	23 (1,13)	17,4 (0,72)	27 (1,20)	17,4 (0,72)	42 (1,27)	17,4 (0,72)	62 (1,34)	17,4 (0,72)
550	20 (0,98)	18,4 (0,79)	21 (1,05)	18,4 (0,79)	23 (1,13)	18,4 (0,79)	34 (1,20)	18,4 (0,79)	50 (1,27)	18,4 (0,79)	113 (1,34)	18,4 (0,79)	154 (1,41)	18,4 (0,79)
600	22 (1,05)	19,6 (0,87)	24 (1,13)	19,6 (0,87)	35 (1,20)	19,6 (0,87)	56 (1,27)	19,6 (0,87)	108 (1,34)	19,6 (0,87)	158 (1,41)	19,6 (0,87)	234 (1,48)	19,6 (0,87)

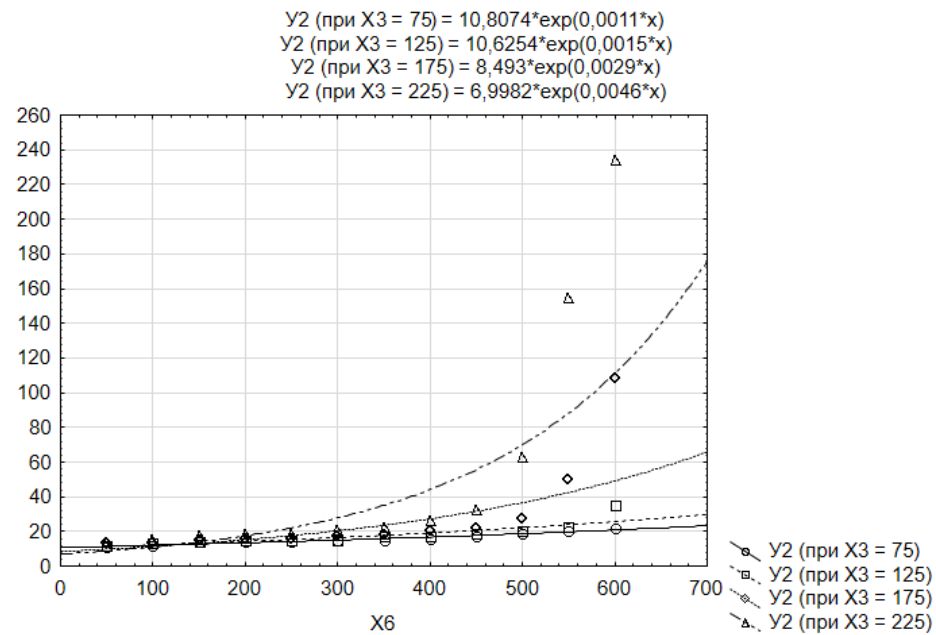


Рисунок 4.7 – График усредненной транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6) и интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

Таблица 4.6 – Усредненные значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу (X_6) и интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2, c													
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час		$X_3 = 100$, пр. ед./ час		$X_3 = 125$, пр. ед./ час		$X_3 = 150$, пр. ед./ час		$X_3 = 175$, пр. ед./ час		$X_3 = 200$, пр. ед./ час		$X_3 = 225$, пр. ед./ час	
	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер	Aimsun	Вебстер
50	7 (0,22)	7,0 (0,06)	7 (0,28)	7,0 (0,06)	7 (0,33)	7,0 (0,06)	8 (0,39)	7,0 (0,06)	8 (0,45)	7,0 (0,06)	8 (0,50)	7,0 (0,06)	8 (0,56)	7,0 (0,06)
100	8 (0,28)	7,3 (0,12)	8 (0,33)	7,3 (0,12)	8 (0,39)	7,3 (0,12)	8 (0,45)	7,3 (0,12)	9 (0,50)	7,3 (0,12)	9 (0,56)	7,3 (0,12)	9 (0,61)	7,3 (0,12)
150	8 (0,33)	7,6 (0,18)	8 (0,39)	7,6 (0,18)	8 (0,45)	7,6 (0,18)	8 (0,50)	7,6 (0,18)	9 (0,56)	7,6 (0,18)	9 (0,61)	7,6 (0,18)	10 (0,67)	7,6 (0,18)
200	9 (0,39)	7,9 (0,24)	9 (0,45)	7,9 (0,24)	9 (0,50)	7,9 (0,24)	9 (0,56)	7,9 (0,24)	10 (0,61)	7,9 (0,24)	10 (0,67)	7,9 (0,24)	10 (0,72)	7,9 (0,24)
250	9 (0,45)	8,3 (0,30)	9 (0,50)	8,3 (0,30)	9 (0,56)	8,3 (0,30)	9 (0,61)	8,3 (0,30)	10 (0,67)	8,3 (0,30)	10 (0,72)	8,3 (0,30)	11 (0,78)	8,3 (0,30)
300	9 (0,50)	8,7 (0,36)	9 (0,56)	8,7 (0,36)	9 (0,61)	8,7 (0,36)	10 (0,67)	8,7 (0,36)	10 (0,72)	8,7 (0,36)	11 (0,78)	8,7 (0,36)	12 (0,84)	8,7 (0,36)
350	10 (0,56)	9,1 (0,42)	10 (0,61)	9,1 (0,42)	10 (0,67)	9,1 (0,42)	10 (0,72)	9,1 (0,42)	11 (0,78)	9,1 (0,42)	11 (0,84)	9,1 (0,42)	12 (0,89)	9,1 (0,42)
400	10 (0,61)	9,6 (0,48)	10 (0,67)	9,6 (0,48)	10 (0,72)	9,6 (0,48)	11 (0,78)	9,6 (0,48)	12 (0,84)	9,6 (0,48)	12 (0,89)	9,6 (0,48)	13 (0,95)	9,6 (0,48)
450	11 (0,67)	10,1 (0,54)	11 (0,72)	10,1 (0,54)	11 (0,78)	10,1 (0,54)	12 (0,84)	10,1 (0,54)	13 (0,89)	10,1 (0,54)	13 (0,95)	10,1 (0,54)	15 (1,00)	10,1 (0,54)
500	12 (0,72)	10,7 (0,60)	12 (0,78)	10,7 (0,60)	13 (0,84)	10,7 (0,60)	13 (0,89)	10,7 (0,60)	14 (0,95)	10,7 (0,60)	15 (1,00)	10,7 (0,60)	16 (1,06)	10,7 (0,60)
550	13 (0,78)	11,4 (0,66)	13 (0,84)	11,4 (0,66)	14 (0,89)	11,4 (0,66)	14 (0,95)	11,4 (0,66)	16 (1,00)	11,4 (0,66)	17 (1,06)	11,4 (0,66)	18 (1,11)	11,4 (0,66)
600	13 (0,84)	12,1 (0,72)	14 (0,89)	12,1 (0,72)	14 (0,95)	12,1 (0,72)	16 (1,00)	12,1 (0,72)	17 (1,06)	12,1 (0,72)	19 (1,11)	12,1 (0,72)	24 (1,17)	12,1 (0,72)

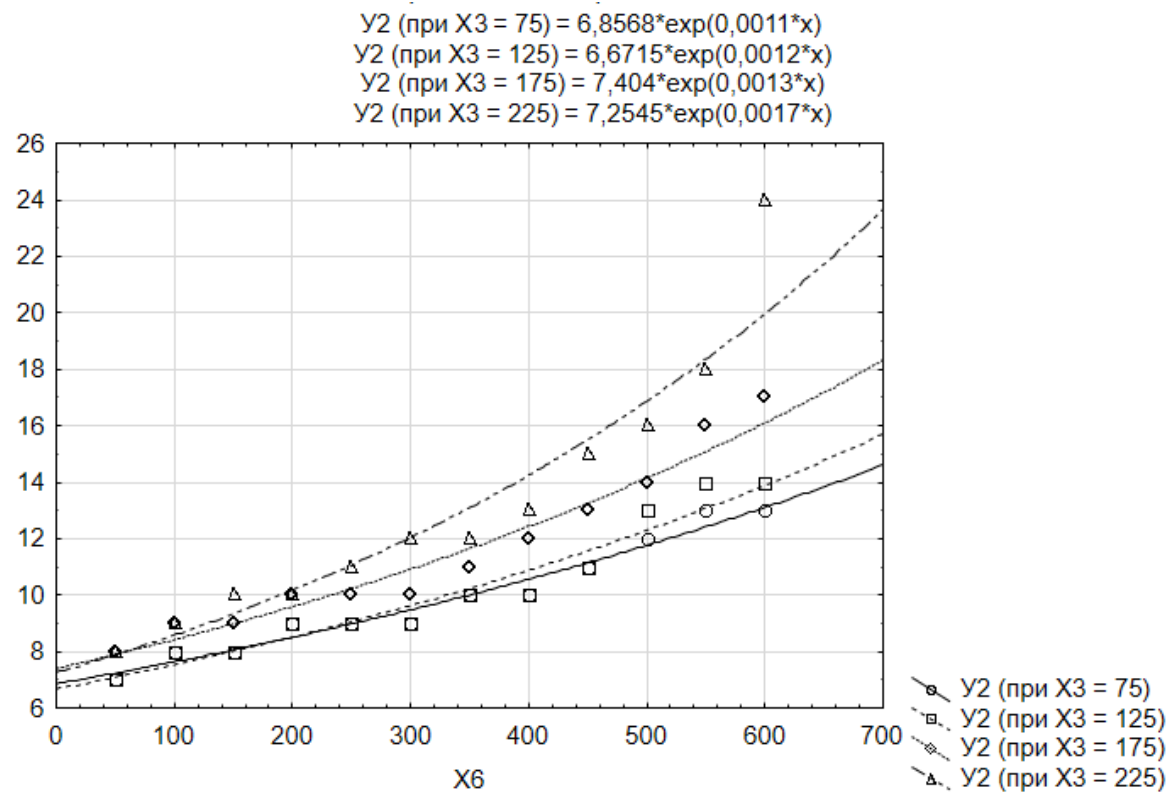


Рисунок 4.8 – График усредненной транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящаяся на одну полосу, (X_6) и интенсивность дорожного движения по кольцу, приходящаяся на одну полосу, (X_3) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

На основании таблиц 4.3 – 4.6 можно сделать заключения:

- на величину транспортной задержки по второстепенной дороге оказывают влияние одновременно два фактора: загрузка направления, которую можно оценить степенью насыщенности направления χ и загрузка полукольца, которую можно оценить предложенным выражением $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}}$;
- при одновременном выполнении условий $\chi \leq 0,72$ [106 Д. Д. Сильченков, Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин] и $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}} \leq 0,88$ для расчета транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) можно использовать формулу Ф. Вебстера;
- при не выполнении приведенных выше условий не рекомендуется применять формулу Ф. Вебстера для расчета задержки по второстепенной дороге (Y_2), необходимо использовать данные таблиц 4.3 – 4.6;
- для приближенного и быстрого определения транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) можно использовать выражение $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}}$:
 - при $X_5=60/96$ для второстепенной дороги будет наблюдаться транспортная задержка $Y_2 \leq 30$ с при $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}} \leq 0,88$;
 - при $X_5=50/96$ для второстепенной дороги будет наблюдаться транспортная задержка $Y_2 \leq 20$ с при $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}} \leq 0,7$, $20 \leq Y_2 \leq 30$ с при $0,7 \leq \frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}} \leq 1,02$;
 - при $X_5=40/96$ для второстепенной дороги будет наблюдаться транспортная задержка $Y_2 \leq 20$ с при $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}} \leq 1$, $20 \leq Y_2 \leq 30$ с при $0,7 \leq \frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}} \leq 1,20$.

Похожие рекомендации величины средней транспортной задержки от уровня обслуживания для кольцевых пересечений приведены источнике [107].

- предложенное неравенство $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}} \leq 0,88$ было модернизировано в формулу по определению достаточного количества полос (n) на кольцевой части КПСРПЦО. Для этого значение $\frac{X_3+X_6}{\text{ПСПК}}$ не должно превышать 0,7, что бы

в конце моделирований на второстепенном направлении не образовывались значительные очереди ТС (более 10 ТС):

$$n \geq \frac{N_{i\text{втор}} + N_{i\text{кольцо}}}{0,7 \times \text{ПСПК}}, (4.5)$$

где n – число полос движения по кольцу КПСРПЦО;

$N_{i\text{втор}}$ – интенсивность движения, заезжающего на кольцо транспорта, с
 i направления второстепенной дороги, пр. ед./час;

$N_{i\text{кольцо}}$ – интенсивность движения по кольцу прямо напротив i направления второстепенной дороги, пр. ед./час.

Чтобы определить рекомендации по режиму работы светофорных объектов на транспортной развязке необходимо решить систему неравенств:

$$\begin{cases} \chi_{\text{глав}} \leq 1; \\ \chi_{\text{втор}} \leq 0,72; \end{cases} (4.6)$$

Выразим $\chi_{\text{глав}}$ и $\chi_{\text{втор}}$ по формуле 4.4, получим:

$$\begin{cases} \frac{N_{i\text{глав}} \times T_{\text{цикла}}}{M_{i\text{глав}} \times t_{\text{зглав}}} \leq 1; \\ \frac{N_{i\text{втор}} \times T_{\text{цикла}}}{M_{i\text{втор}} \times t_{\text{звтор}}} \leq 0,72; \end{cases} (4.7)$$

Так как на развязке осуществляется двухфазное светофорное регулирование, то

$$T_{\text{цикла}} = t_{\text{зглав}} + t_{\text{звтор}} + t_{\text{перех}}, (4.8)$$

где $t_{\text{зглав}}$ – время горения зеленого сигнала светофора для главного направления, с;

$t_{\text{звтор}}$ – время горения зеленого сигнала светофора для второстепенного направления и кольцевой части, с;

$t_{\text{перех}}$ – время переходных сигналов, с, длительность которых можно рассчитать по рекомендациям [85, 93].

$$\begin{cases} N_{i\text{глав}} \times T_{\text{цикла}} \leq M_{i\text{глав}} \times t_{\text{зглав}}; \\ N_{i\text{втор}} \times T_{\text{цикла}} \leq 0,72 \times M_{i\text{втор}} \times (T_{\text{цикла}} - t_{\text{перех}} - t_{\text{зглав}}); \end{cases} (4.9)$$

Решив данную систему неравенств, получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{зглав} \geq \frac{0,72 \times t_{перех} \times M_{ивтор} \times N_{иглав}}{0,72 \times M_{иглав} \times M_{ивтор} - M_{иглав} \times N_{ивтор} - 0,72 \times N_{иглав} \times M_{ивтор}}; \\ t_{втор} \geq \frac{t_{перех} \times M_{иглав} \times N_{ивтор}}{0,72 \times M_{иглав} \times M_{ивтор} - M_{иглав} \times N_{ивтор} - 0,72 \times N_{иглав} \times M_{ивтор}}; \\ T_{цикла} \geq \frac{0,72 \times t_{перех} \times M_{ивтор} \times M_{иглав}}{0,72 \times M_{иглав} \times M_{ивтор} - M_{иглав} \times N_{ивтор} - 0,72 \times N_{иглав} \times M_{ивтор}}; \end{array} \right. \quad (4.10)$$

Если перейдем к фазовым коэффициентам [85, 93], получим измененную систему неравенств, деля числитель и знаменатель дробей формулы 4.10 на $M_{иглав} \times M_{ивтор}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{зглав} \geq \frac{0,72 \times t_{перех} \times y_{глав}}{0,72 - y_{втор} - 0,72 \times y_{глав}}; \\ t_{звтор} \geq \frac{t_{перех} \times y_{втор}}{0,72 - y_{втор} - 0,72 \times y_{глав}}; \\ T_{цикла} \geq \frac{0,72 \times t_{перех}}{0,72 - y_{втор} - 0,72 \times y_{глав}}; \end{array} \right. \quad (4.11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{зглав} \geq T_{цикла} \times y_{глав}; \\ t_{звтор} \geq \frac{T_{цикла} \times y_{втор}}{0,72}; \\ T_{цикла} \geq \frac{0,72 \times t_{перех}}{0,72 - y_{втор} - 0,72 \times y_{глав}}; \end{array} \right. \quad (4.12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{зглав} \geq T_{цикла} \times y_{глав}; \\ t_{звтор} \geq 1,39 \times T_{цикла} \times y_{втор}; \\ T_{цикла} \geq \frac{t_{перех}}{1 - (1,39 \times y_{втор} + y_{глав})}; \end{array} \right. \quad (4.13)$$

Для одновременного выполнения всех неравенства в формуле 4.13 знаки неравенств заменим на знаки равно.

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{зглав} = T_{цикла} \times y_{глав}; \\ t_{звтор} = 1,39 \times T_{цикла} \times y_{втор}; \\ T_{цикла} = \frac{t_{перех}}{1 - (1,39 \times y_{втор} + y_{глав})}; \end{array} \right. \quad (4.14)$$

При расчете по формуле 4.14 длительность цикла, время горения сигналов светофора получаются по величине малыми. Для устранения данного недостатка адаптируем методику [85, 93] по расчету светофорного цикла

получившимся коэффициентом «1,39» для второстепенной дороги. Получим следующие формулы для светофорного цикла:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{цикла}} = \frac{1,5 \times t_{\text{перех}} + 5}{1 - (1,39 \times y_{\text{втор}} + y_{\text{глав}})} \\ t_{\text{зглав}} = \frac{(T_{\text{цикла}} - t_{\text{перех}}) \times y_{\text{глав}}}{1,39 \times y_{\text{втор}} + y_{\text{глав}}} \\ t_{\text{звтор}} = \frac{1,39 \times (T_{\text{цикла}} - t_{\text{перех}}) \times y_{\text{втор}}}{1,39 \times y_{\text{втор}} + y_{\text{глав}}}; \end{array} \right. \quad (4.15)$$

Выражение 4.15 практически всегда не противоречит выражению 4.13.

Для проверки эффективности адаптированной методики в сравнении со стандартной было проведено моделирование ДД для КПСРПЦО с диаметром центрального островка 60 м. Интенсивности по второстепенным дорогам (с двух подходов) брались равными, из которых 50 % транспортного потока двигалось прямо, 50 % налево; интенсивности по главной дороге (с двух подходов) брались равными, из которых 100 % транспортного потока двигалось прямо. Число полос движения по кольцу составляло 2 шт. Остальные допущения были такими же, как и при исследовании влияния транспортных и организационно-планировочных факторов на величины транспортных задержек на КПСРПЦО. Результаты приведены в таблице 4.7 и опубликованы в журнале «Architecture and Engineering» [108 Д. Д. Сильченков, Ю.А. Сильченкова, Г.С. Закожурникова, С. С. Закожурников]. Критерий эффективности – средняя задержка на пересечении, рассчитанная по формуле 2.6.

Таблица 4.7 – Сравнительная таблица методик расчета светофорного цикла

Фазовый коэффициент главной дорожки	Фазовый коэффициент второстепенная дорожка	Модернизированная методика ОДМ				Методика ОДМ				Проверка загрузки кольца модернизированная методика ОДМ		Проверка загрузки кольца методика ОДМ		Средняя задержка модернизированная методика ОДМ, с	Средняя задержка методика ОДМ, с	Относительная разница, %
		Зеленый главная дорожка, с	Зеленый второстепенная дорожка, с	Сумма переходных сигналов, с	Длительность цикла, с	Зеленый главная дорожка, с	Зеленый второстепенная дорожка, с	Сумма переходных сигналов, с	Длительность цикла, с	$\frac{X_3 + X_6}{\text{ПСПК}} \leq 0,7$	Да/нет	$\frac{X_3 + X_6}{\text{ПСПК}} \leq 0,7$	Да/нет			
0,2	0,1	9	6	6	21	9	5	6	20	0,27	да	0,29	да	7,1	6,4	10,1
0,3	0,1	13	6	6	25	13	4	6	23	0,32	да	0,34	да	7,7	6,2	20,3
0,4	0,1	18	6	6	30	18	4	6	28	0,37	да	0,40	да	9,2	10,1	-10,4
0,5	0,1	26	7	6	39	24	5	6	35	0,44	да	0,47	да	11,5	19,1	-65,7
0,6	0,1	39	9	6	54	35	6	6	47	0,52	да	0,56	да	14,4	23,0	-59,2
0,7	0,1	68	13	6	87	56	8	6	70	0,63	да	0,69	да	21,8	38,3	-43,1
0,8	0,1	190	33	6	230	119	15	6	140	0,79	нет	0,88	нет	Моделирование не проводилось		
0,2	0,2	9	12	6	27	9	9	6	23	0,46	да	0,49	да	10,4	9,9	5,0
0,3	0,2	14	13	6	33	13	9	6	28	0,53	да	0,58	да	11,1	11,4	-2,8
0,4	0,2	22	15	6	43	19	10	6	35	0,62	да	0,67	да	13,8	16,4	-19,3
0,5	0,2	37	20	6	63	29	12	6	47	0,72	нет	0,79	нет	19,1	32,9	-72,4
0,6	0,2	74	34	6	115	48	16	6	70	0,84	нет	0,93	нет	Моделирование не проводилось		
0,7	0,2	451	179	6	636	104	30	6	140	1,00	нет	1,12	нет	Моделирование не проводилось		
0,2	0,3	10	21	6	37	9	13	6	28	0,64	да	0,68	да	13,1	20,5	-56,1
0,3	0,3	18	25	6	49	15	15	6	35	0,73	нет	0,79	нет	30,1	52,3	-73,6
0,4	0,3	35	36	6	77	23	17	6	47	0,84	да	0,91	нет	Моделирование не проводилось		

Продолжение таблицы 4.7

0,5	0,3	89	74	6	169	40	24	6	70	0,96	нет	1,05	нет	Моделирование не проводилось		
0,6	0,3	-489	-340	6	-824	89	45	6	140	-	-	1,23	нет	Моделирование не проводилось		
0,2	0,4	14	38	6	57	10	19	6	35	0,82	нет	0,86	нет	7,7	7,4	3,8
0,3	0,4	32	59	6	97	17	23	6	47	0,92	нет	0,98	нет	Моделирование не проводилось		
0,4	0,4	131	182	6	318	32	32	6	70	1,04	нет	1,13	нет	Моделирование не проводилось		
0,5	0,4	-121	-135	6	-250	74	60	6	140	-	-	1,29	нет	Моделирование не проводилось		
0,2	0,5	28	99	6	133	12	29	6	47	0,99	нет	1,04	нет	Моделирование не проводилось		
0,3	0,5	842	1952	6	2800	24	40	6	70	1,11	нет	1,18	нет	Моделирование не проводилось		
0,4	0,5	-56	-97	6	-147	60	74	6	140	-	-	1,34	нет	Моделирование не проводилось		
Эффективность														-28		

Исходя из данных таблицы 4.7 можно сформулировать вывод, что применение адаптированной методики расчета параметров светофорной сигнализации позволяет уменьшить среднюю транспортную задержку на транспортной развязке в среднем на 28 %, а в наиболее вероятном режиме работы транспортной развязки, когда сумма фазовых коэффициентов по главной и второстепенной дороги находится в границах 0,5..0,7, – до 40 %.

На основании анализа научно – технической литературы, проведенных выше исследований обобщим рекомендации по применению технологии организации дорожного движения КПСРПЦО в городских условиях:

- КПСРПЦО рекомендуется применять на перекрестках в соответствии с номограммой выбора планировочного решения перекрестка (см. рисунок 2.18);
- приоритет движения на КПСРПЦО предоставляется загруженному направлению, для него организуется сквозное движение через центральный островок;
- движение пешеходов и транспорта рекомендуется выполнять в разных уровнях, при невозможности этого, необходимо относить пешеходные переходы от КПСРПЦО в соответствии с существующими рекомендациями по применению круговых пересечений;
- на развязке организуется двухфазное светофорное регулирование. В первой фазе осуществляется движение по основному направлению, во второй – по второстепенному направлению и кольцу;
- длительность цикла регулирования, основных фаз регулирования предлагается определять в соответствии с выражением 4.16;
- диаметр центрального островка оказывает малое влияние на эффективность организации дорожного движения, минимальный диаметр можно определять различными методами, например методом динамического габарита;

- достаточное количество полос движения по кольцу должно быть
$$n \geq \frac{N_{i\text{втор}} + N_{i\text{кольцо}}}{0,7 \times \text{ПСПК}};$$
- достаточное количество полос движения для основного направления через островок должно быть таково, чтобы степень загрузки направления была меньше или равна 1 ($\chi \leq 1$);
- достаточное количество полос движения по второстепенному направлению должно быть таково, чтобы степень загрузки направления была меньше или равна 0,72 ($\chi \leq 0,72$);
- число полос для правоповоротных потоков должно определяться в соответствии с интенсивностью движения по данному направлению.

Ниже на рисунке 4.9 в виде блок – схемы приведена методика обоснования параметров КПСРПЦО и ее описание.

На первом этапе происходит анализ участка УДС. Определяется возможность организации КПСРПЦО: максимальное количество полос движения по главному направлению (m) и второстепенному направлению (n) исходя из доступного пространства на участке УДС. Далее необходимо провести исследование характеристик дорожного движения: рассчитать интенсивностей движения, приведенных интенсивностей движения ($N_{прi}$), долю левого поворота. Продумать вопрос о перспективе роста интенсивностей дорожного движения исходя из роста населения, увеличения количества транспортных средств, мобильности граждан, будущих маршрутов движения общественного транспорта.

На втором этапе происходит последовательный расчет параметров возможных планировочных решений КПСРПЦО. Принимаем число полос движения по основному направлению $i=1$, по второстепенному направлению $j=1$. Рассчитываем приведенные интенсивности движения по полосам движения. Проверяем возможность применения КПСРПЦО по разработанным номограммам. При успешной проверке определяем минимальный диаметр островка (например, методом динамического габарита), рассчитываем режим

работы светофорной сигнализации, ПСПК и достаточное количество полос на кольцевой части КПСРПЦО. Далее рассчитываем транспортные задержки по подходам, определяем среднюю транспортную задержку на пересечении. Сохраняем результаты расчета. Увеличиваем число полос по второстепенному, а затем главному направлению на 1 до тех пор, пока они не станут равны n и m .

На третьем этапе последовательным сравнением всех рассчитанных вариантов определяем оптимальный вариант КПСРПЦО по критерию минимальной средней задержки на пересечении.

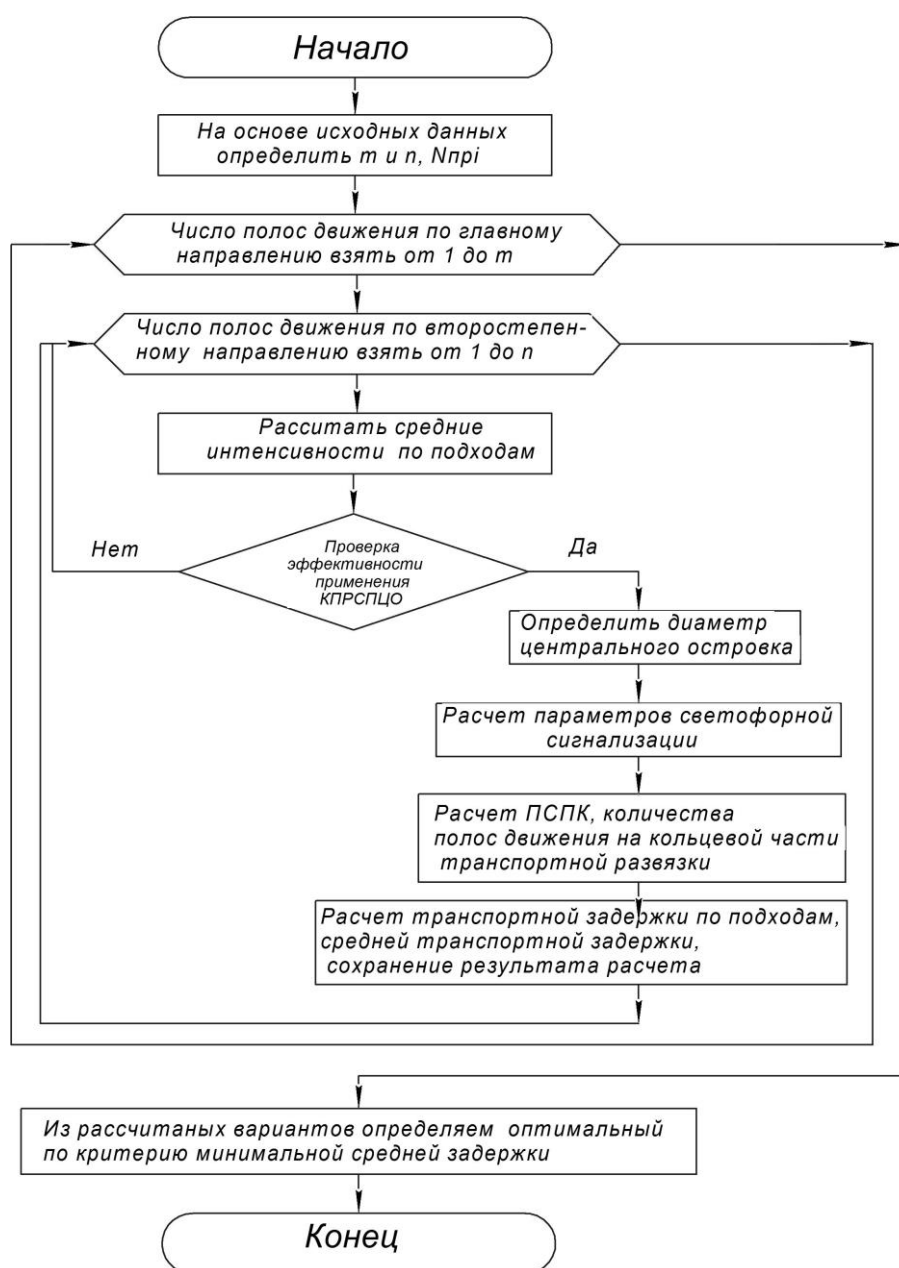


Рисунок 4.9 – Блок – схема методики обоснования параметров КПСРПЦО

4.1 Определение параметров КПСРПЦО для пересечения пр. им. В. И. Ленина и ул. 7 – ой Гвардейской Бригады в г. Волгограде

Исходные интенсивности дорожного движения на пересечении приведены в таблице 2.1 во 2 главе.

При расчете не будем учитывать правоповоротные потоки, так как для них организуются отдельные полосы (в соответствии с допущениями, выполненных исследований, см. рисунок 2.5, 2.10). Число полос движения для заезда на КПСРПЦО для главного направления принимаем равным 3, для второстепенного – 2, как максимально возможным исходя из геометрических размеров участка улично-дорожной сети: доступного свободного пространства, расстояний до объектов капитального строительства. Меньшее число полос движения применять нерационально потому, что мы не попадем в область эффективного применения КПСРПЦО.

Определим средние интенсивности движения по полосам для каждого направления, долю левого поворота для главного направления:

$$N_{1\text{сред}} = \frac{1259 + 355}{3} = 538 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$N_{2\text{сред}} = \frac{1310 + 209}{3} = 506,3 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$N_{3\text{сред}} = \frac{374}{2} = 187 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$N_{4\text{сред}} = \frac{298,5 + 458,5}{2} = 378,5 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$w_{1\text{налево}} = \frac{355}{355 + 1259 + 41,5} \approx 0,2$$

$$w_{2\text{налево}} = \frac{209}{209 + 1310 + 790} \approx 0,1$$

Определяем максимальные значения рассчитанных параметров.

$$N_{\text{гл.сред.тах}} = 538 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$N_{\text{втор.сред.тах}} = 378,5 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$w_{\text{налево}} = 0,2$$

Проверяем эффективность применения КПСРПЦО по номограмме рисунок 2.18. Исходя из номограммы применение КПСРПЦО – эффективно.

Исходя из геометрических размеров участка УДС, движения общественного транспорта по кольцевой части транспортной развязки, выбран диаметр островка КПСРПЦО равным 40 м (см. рисунок 2.4). Правоповоротные потоки не учитываем, так как для них организованы выделенные полосы движения, без заезда на транспортную развязку.

Далее определим потоки насыщения:

$$M_1 = M_2 = 525 \times 7,5 + \frac{1800}{1 + \frac{1,545}{15}} = 5574 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$M_3 = M_4 = \frac{3000}{1 + \frac{1,545}{15}} = 2727 \text{ (пр. ед./час)}$$

Рассчитываем фазовые коэффициенты:

$$y_{\text{глав}} = \frac{355 + 1259}{5574} = 0,29$$

$$y_{\text{втор}} = \frac{298,5 + 458,5}{2727} = 0,28$$

Рассчитываем длительность светофорного цикла, зеленых сигналов для главного и второстепенного направления. Сумма переходных сигналов принимаем равной 6 с.

$$T_{\text{цикла}} = \frac{1,5 \times 6 + 5}{1 - (1,39 \times 0,28 + 0,29)} = 44 \text{ (с)}$$

$$t_{\text{зглав}} = \frac{(44 - 6) \times 0,29}{1,39 \times 0,28 + 0,29} = 16 \text{ (с)}$$

$$t_{\text{звтор}} = \frac{(44 - 6) \times 0,28 \times 1,39}{1,39 \times 0,28 + 0,29} = 22 \text{ (с)}$$

Рассчитываем ПСПК:

$$\text{ПСПК} = 1286,55 - 1243,2 \times \frac{16}{44} = 834 \text{ (пр. ед./час)}$$

Рассчитываем интенсивности движения напротив въездов на КПСРПЦО с второстепенных направлений:

$$N_{3\text{кольцо}} = 355 + 458,5 = 813,5 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$N_{4\text{кольцо}} = 209 \text{ (пр. ед./час)}$$

Рассчитываем суммарную интенсивность въезжающего на кольцевую часть с второстепенного направления и движущегося по кольцу транспортного потока. Выбираем наибольшее значение.

$$N_{3\text{втор}} + N_{3\text{кольцо}} = 374 + 813,5 = 1187,5 \text{ (пр. ед./час)}$$

$$N_{4\text{втор}} + N_{4\text{кольцо}} = 757 + 209 = 966 \text{ (пр. ед./час)}$$

Определяем необходимых полос движения на кольцевой части КПСРПЦО:

$$n \geq \frac{1187,5}{0,7 \times 834} \geq 2,03$$

Принимаем равным $n = 2$.

Определим степени насыщенности направлений (без учета правоповоротных потоков):

$$\chi_1 = \frac{1614 \times 44}{5574 \times 16} = 0,8 \leq 1;$$

$$\chi_2 = \frac{1519 \times 44}{5574 \times 16} = 0,75 \leq 1;$$

$$\chi_3 = \frac{374 \times 44}{2727 \times 22} = 0,27 \leq 0,72;$$

$$\chi_4 = \frac{757 \times 44}{2727 \times 22} = 0,56 \leq 0,72.$$

Расчетные значения степеней насыщенности направлений получились меньше критических значений, следовательно, использовать методику Ф. Вебстера расчета транспортной задержки рекомендуется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, содержащей решение задачи, направленной на развитие технологии ОДД на круговых пересечениях, имеющим важное значение для развития государственной политики Российской Федерации в области БДД и технологии ОДД.

Основные научно-практические результаты диссертационного исследования заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ применения и существующих технологий ОДД на круговых пересечениях. В результате проведенного анализа установлено: КРСРПЦО нашли ограниченное применение на УДС городов, отсутствие системной информации о возможности применения КРСРПЦО, методик расчета параметров пересечения, транспортных задержках и т.д.

2. Разработана имитационной модели дорожного движения на участке УДС крупного города, проведена ее валидатность. Проведенные исследования ДД на разработанной модели в программном комплексе Aimsun, оценивают применение КРСРПЦО, как высоко эффективное решение проблемы транспортных заторов;

3. Обоснована область применения КРСРПЦО, как технологии ОДД, на одноуровневых пересечениях. Разработана номограмма выбора планировочного решения перекрестка, определяющая область эффективного применения КРСРПЦО на УДС городов;

4. Исследованы закономерности транспортных задержек от организационно – планировочных факторов КРСРПЦО и характеристик дорожного движения. Интенсивность ДД (транспортного потока) и эффективная длительность цикла регулирования по основному направлению оказывают влияние на транспортную задержку по основному направлению по экспоненциальной зависимости. Интенсивность ДД (транспортного потока), движущегося по кольцу, эффективная длительность цикла регулирования по

основному направлению и интенсивность ДД (транспортного потока), движущегося по второстепенному направлению, оказывают влияние на транспортную задержку на второстепенном направлении также по экспоненциальной зависимости.

5. Разработаны математические зависимости числа полос движения и режима работы светофорной сигнализации на КПСРПЦО от характеристик дорожного движения. Минимальный диаметр можно определять различными методами, например методом динамического габарита, увеличение диаметра приводит к снижению транспортной задержки не более чем на 10 %.

6. Разработана методика обоснования параметров и рекомендаций по применению КПСРПЦО на УДС.

Применение разработанной методики и рекомендаций позволит повысить эффективность ОДД на кольцевых пересечениях со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 – 2012 годах» : утверждена Постановлением Правительства РФ от 20 февраля 2006 г. N 100. – Текст : электронный // Информационно-правовой справочник Гарант : [Сайт]. – URL: <http://base.garant.ru/189189/> (дата обращения 22.01.2021).
2. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 годах» : утверждена Постановлением Правительства РФ от 3 октября 2013 г. N 864. Текст : электронный // Информационно-правовой справочник Гарант : [Сайт]. – URL: <http://base.garant.ru/70467076/> (дата обращения 22.01.2021).
3. Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 января 2018 года №1-р. Текст : электронный // Информационно-правовой справочник Гарант : [Сайт]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71760528/> (дата обращения 22.01.2021).
4. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года : Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. N 204. Текст : электронный // Информационно-правовой справочник Гарант : [Сайт]. – URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/1195467/#ixzz6kAOeEs3U> (дата обращения 21.01.2021).
5. Показатели состояния безопасности дорожного движения – Текст : электронный – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 26.11.2020).
6. Бойков, В.Н. Анализ дорожно-транспортных происшествий с использованием ГИС IndorRoad / В. Н. Бойков, С. А. Субботин – Текст : электронный // САПР И ГИС АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. – 2014. – № 1 (2). – С. 74–76.

7. Куракина, Е. В. Эффективность комплексного подхода к исследованию мест концентрации ДТП в системе УДД-ТС-Д-ВС / Е. В. Куракина. – Текст : электронный // Сборник научных статей по материалам 6-ой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», (Орел, 20 мая 2020 г.). – Орел, 2020. с. 175–185.
8. Бабаев, Д. Э. Принудительное снижение скорости движения транспортного средства / Д. Э. Бабаев, М. Д. Сиволобова. – Текст : электронный // Тезисы докладов конкурса научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета (Волгоград, 19–22 мая 2020 г.) / [Редколлегия: С.В. Кузьмин (отв. ред.) и др.]. – Волгоград, 2020. – С. 147–148.
9. Рябушенко, А. В. Оптимизация скоростного режима на улично – дорожной сети города как фактор безопасности дорожного движения / А. В. Рябушенко. – Текст : электронный // Сборник научных статей по материалам V международной заочной научно-практической конференции, (Минск, 01–03 октября 2019 г.). – Минск, 2019. – С.65–74.
10. Позняков, Н. М. Топология улично-дорожной сети / Н. М. Поздняков. – учебное пособие. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный строительный университет, 2013. – 103 с. – Текст : непосредственный.
11. Клинковштейн, Г. И. Организация дорожного движения : учебник для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – 5-е издание, переработанное и дополненное – Москва : Транспорт, 2001. – 247 с. Текст : непосредственный.
12. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения : учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – Москва : Академкнига, 2005. – 279 с. Текст : непосредственный.
13. Пугачёв, И. Н. Организация и безопасность дорожного движения : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И. Н. Пугачёв, А. Э. Горев, Е.М. Олещенко. – Москва : Академия, 2009. – 272 стр. Текст : электронный.

14. Руне, Э. Справочник по безопасности дорожного движения / Э. Руне, А. Б. Мюсен, Т. Ваа. ; под редакцией профессора В. В. Сильянова – Москва : МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с. Текст : электронный.
15. Майоров, В. И. Обеспечение безопасности дорожного движения в условиях массовой автомобилизации / В. И. Майоров. – Текст : электронный // Актуальные вопросы контроля и надзора в социально значимых сферах деятельности общества и государства : материалы IV всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию профессора И.А. Складорова (Нижний Новгород, 12 апреля 2018 г.) / [ответственный редактор А.В. Мартынов]. – Нижний Новгород, 2018. – с. 97–119.
16. Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 29.12.2017 N 443-ФЗ. Текст : электронный // Информационно-правовой справочник Гарант : [Сайт]. – URL: <https://base.garant.ru/71848756/> (дата обращения 22.01.2021).
17. Кузнецова А. П. Генеалогия современных транспортных развязок / А. П. Кузнецова. Текст : электронный // САПР И ГИС АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. – 2017. – № 1(8). – С. 84–92.
18. Fichier:Hénard Transformation de la place de l'Opéra.jpg – Текст : электронный – URL: https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:H%C3%A9nard_Transformation_de_la_place_de_l'Op%C3%A9ra.jpg/ (дата обращения: 12.01.2021).
19. Brown M. The Design of Roundabouts / M. Brown – Текст : электронный // UK. TRL. HMSO. – 1995. – 270 p.
20. Самые запутанные дорожные развязки в мире – Текст : электронный – URL: <https://www.avto25.ru/news/articles/2015/11/27/27360.html> (дата обращения: 12.01.2021).
21. Бойков, В. Н. Анализ дорожно-транспортных происшествий с использованием ГИС IndorRoad / В. Н. Бойков, С. А. Субботин. – Текст : электронный // СПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1(2). с. 74–76.

22. Tollazzi, T. Comparative analysis of four new alternative types of roundabouts: «Turbo», «Flower», «Target» and «Four-Flyover» roundabout / T. Tollazzi, R. Mauro, M. Guerrieri, Rencelj. – Текст : Электронный // Periodica Polytechnica-Civil Engineering. – 2016. Vol. 60. № 1. P.51–60.
23. Никитин Н. А. Анализ эффективности кольцевого пересечения с пешеходными переходами. / Н. А. Никитин. – Текст : Электронный // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. – № 22 (11). с. 231–240.
24. ОДМ 218.2.071-2016. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. – Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2016. – 166 с. – Текст : непосредственный.
25. Analysis of Non-Conventional Roundabouts Performances through Microscopic Traffic Simulation / Astarita V. [and other] – Текст : электронный // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – № 505–506. – P. 481–488.
26. Gallelli, V. Comparison between Simulated and Experimental Crossing Speed Profiles on Roundabout with Different Geometric Features / V. Gallelli, R. Vaiana, T. Iuele - Текст : электронный // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2014. – № 111. – P. 117–126.
27. Montella, A. Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types / A. Montella - Текст : Электронный // Accident Analysis & Prevention. – 2011. – № 4 (43). – P. 1451–1463.
28. Roundabouts: An Informational Guide Second Edition – Текст : электронный – The National Academies Press. – 2010. – 396 p.
29. Vaiana, R. Methodological Approach for Evaluation of Roundabout Performances through Microsimulation / R. Vaiana, V. Gallelli, T. Iuele – Текст : электронный // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – № PART 1 (253–255). – P. 1956–1966.

30. Yap, Y. H. An International Review of Roundabout Capacity Modelling / Y. H. Yap, H. M. Gibson, B. J. Waterson – Текст : электронный // Transport Reviews. – 2013. – № 5 (33). – P. 593–616.
31. Mini Roundabouts. Good Practices Guidance – Текст : электронный // UK Department for Transport. 2006. – 53 p.
32. Джавадов, А. А. Основные этапы развития кольцевых пересечений / А. А. Джавадов, Ю. Я. Комаров, И. Ю. Грошев. — Текст : электронный // Молодой ученый. — 2015. — № 23 (103). — С. 131-133.
33. Gates, T. J. Converting old traffic circles to modern roundabouts / T. J. Gates, R. E. Maki. – Текст : электронный // ITE 2000 Annual Meeting and Exhibit (Nashville, 06-09 August 2001). – Nashville, 2001. – p. 201–220.
34. Laureshyn, A. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioral data / A. Laureshyn, A. Svensson, C. Hyden – Текст : электронный // Accident Analysis and Prevention. – 2010. – №42. – p. 1637–1646.
35. Пospelов, П. И. Методическое обеспечение автоматизированного проектирования кольцевых пересечений / П. И. Пospelов – Текст : электронный // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – №2(3). – С. 28–31.
36. What roundabout design provides the highest possible safety? – Текст : Электронный // Nordic Road & Transport Research. – 2000. – Vol. 12 – No 2 (2000), p. 17– 21.
37. Pellecuer, L. Dernieres avancees sur les carrefours giratoires / L. Pellecuer, M. St-Jacques – Текст : электронный // Canadian Journal of Civil Engineering. – 2008. – Vol. 35. – P. 542–553.
38. Михайлов, А. Ю. Современные кольцевые пересечения: зарубежный опыт / А. Ю. Михайлов, А. Е. Косцов. – Москва : А-проджект, 2018. – 116 с. – Текст : электронный.
39. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Повышение эффективности

использования кольцевых развязок – Текст : электронный – URL: <http://base.garant.ru/71802764/> (дата обращения: 13.01.2020).

40. Указания по разметке автомобильных дорог (ВСН 23-75). – Москва : ФГУП ЦПП, 2004 – 127 с. – Текст : электронный.

41. Brilon, W. The State of the Art in Germany / W. Brilon, M. Vendhey – Текст : электронный // ITE Journal. 1998. – № 68 (11). – p. 48-54.

42. Brilon, W. A State of the Art in Germany / W. Brilon. – Текст : электронный // National Roundabout Conference (Vail, 22–25 May 2005). – Vail, 2005. – 15 p.

43. Guichet B. Evolution of Roundabouts in France and their New Uses / B. Guichet. – Текст : электронный // National Roundabout Conference (Vail, 22–25 May 2005). – Vail, 2005. – 7 p.

44. Modern Roundabout Practice in United States. NCHRP Synthesis № 264 / J. Bared, K. Courage, R. Cunard, and etc. – Текст : электронный // National academy press. – 82 p.

45. Redington, T. The Modern Roundabout Arrives in Vermont / T. Redington – Текст : электронный // AASHTO Quarterly Magazine. 1995. – Vol. 75. No. 1. – p. 11–12.

46. Tollazzi, T. New type of roundabout: roundabout with “depressed” lanes for right turning - “flower roundabout”, Promet / T. Tollazzi, M. Renčelj, S. Turnšek // Traffic&Transportation. 2011. – № 23. p. 353–358.

47. Tollazzi, T. Modern and Alternative Types of Roundabouts. State of the Art / T. Tollazzi, M. Renčelj – Текст : электронный // 9th International Conference “Environmental Engineering” (Vilnius, 22–23 May 2014). – Vilnius, 2014. – 7 p.

48. Roundabouts: An Information Guide. Publication № FHWA-RD-00-67 – Текст : электронный – Federal Highway Administration. 2000. – 277 p.,

49. Киндеева, Е. А. Перекрестки с круговым движением – основные разновидности и особенности эксплуатации / Е. А. Киндеева – Текст : электронный // Материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием (Тюмень, 14 марта 2019 г.). / [отв. ред. Д. А. Захаров]. – Тюмень, – 2019. с. 47-53.

50. O'Connor, C. Guidelines for the planning and design of roundabout / C. O'Connor, N. Boudreau, J. Danila, A. Paul – Текст : электронный // Massachusetts Department of transportation. 2020. – 82 p.
51. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali. (GU n. 170 del 24-7-2006) : MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI DECRETO 19 aprile 2006 // Gazzettaufficiale : [сайт]. – URL: www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2006/07/24/170/sg/pdf (дата обращения 22.01.2021).
52. The Magic of the Roundabout – Текст : электронный – URL: <https://www.roundaboutsofbritain.com/maggic-roundabout/> (дата обращения: 12.01.2020).
53. Naanani, H. Enhanced AODV Routing Protocol for An architecture V2V in VANET / H. Naanani, Yo. Farah, M. Ouamer, I. Mouhib – Текст : электронный // European Journal of Scientific Research.– 2016. – 9 p.
54. Bysani, T. A Literature Study On Traffic, Traffic Control Devices, Roundabouts, Pedestrian Access / T. Bysani – Текст : электронный // INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE TECHNOLOGY AND RESEARCH.– 2016. – Volume № 4. – Issue № 6. – 4989–4993 p.
55. Akcelik, R. Roundabouts in Australia / R. Akcelik. – Текст : электронный // TRB National Roundabout Conference (Kansas City 18–21 May 2008 year). Kansas City, 2008. – 20 p.
56. Turboroundabouts: Multicriterion Assessment of Intersection Capacity, Safety, and Emissions / L. Vasconcelos, A. B. Silva, A.M. [and other] – Текст : электронный // Transportation Research Record. – 2014. – № 2402. – P. 28–37.
57. Ibanez, G. Synchronous Roundabouts with Rotating Priority Sectors (SYROPS): High Capacity and Safety for Conventional and Autonomous Vehicles / G. Ibanez, T. Meuser, M. A. Lopez-Carmona, D. Lopez-Pajares – Текст : электронный // *Electronics*. – 2020. – № 9 (1726). – 22p.;

58. Патент № 2468138 Российская Федерация, МПК E01C1/04. Развязка транспортная (варианты) : № 2011130936/03: заявление 25.07.2011 : опубликовано 27.11.2012 / Шулякин В. А. – 23 с.
59. Патент № 2350708 Российская Федерация, МПК E01C1/04. Дорожная развязка : № 2007104032/03: заявление 08.10.2004 : опубликовано 27.03.2009 / Бутеляускас С. – 9 с.
60. Патент № 107164 Российская Федерация, МПК E01C1/04. Транспортная развязка : № 2011108802/03: заявление 03.09.2011 : опубликовано 08.10.2011 / Картопольцев В. М., Киряков Е. И., Бычков Н. О., Приведенная Т. С. – 15 с.
61. Патент № WO2011/099954 A1 Всемирная Организация Интеллектуальной Собственности. Международное бюро, МПК E01C1/04. : RST/UA201 1/000009: заявление 10.02.2011 : опубликовано 18.08.2011 / Петрук В. Б., Федотов С. В.– 20 с.
62. Поздняков, М. Н. Совершенствование организации дорожного движения на кольцевых пересечениях: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; / Поздняков Михаил Николаевич; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2005. – 24 с. – Текст : непосредственный.
63. Липницкий, А. С. Повышение эффективности организации дорожного движения на основе применения компактных кольцевых пересечений: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; / Липницкий Алексей Сергеевич; Иркутский государственный технический университет. – Иркутск, 2010. – 24 с. – Текст : непосредственный.
64. Чумаков, Д. Ю. Проектирование элементов малых кольцевых пересечений в населенных пунктах: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; / Чумаков Дмитрий Юрьевич;

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Волгоград, 2007. - 24 с. Текст : непосредственный.

65. Мещерякова, Е. А. Разработка турбо-кольцевой схемы на перекрестке с круговым движением / Е. А. Мещерякова, Е. В. Справцева – Текст : электронный // Материалы международной студенческой научно-практической конференции, (Рязань, 20 февраля 2020 г.).– Рязань, 2020. – с. 290-295.

66. Никитин, Н. А. Турбокольцо как альтернатива обычному кольцевому пересечению / Н. А. Никитин, Ю. Э. Савина, Т. Е. Аполлонова – Текст : электронный // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2019. – № 1 (47). – с. 23–28.

67. Silva, A. B. Turbo-roundabout use and design / A. B. Silva, S. Santos, M. Gaspar – Текст : Электронный // CITTA 6th annual conference on planning research, responsive transports for smart mobility, (Coimbra, 17 may 2013 year). – Coimbra, 2013. – 10 p.

68. CORRIERE, F. Performance Analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context / F. CORRIERE, G. Marco – Текст : электронный // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2012. – № 53. – p. 622–632.

69. Bulla, L. A. Analysis and Comparison between Two-Lane Roundabouts and Turbo Roundabouts Based on a Road Safety Audit Methodology and Micro-simulation: A Case Study in Urban Area/ L. A. Bulla, W. Castro – Текст : электронный // 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, (Indianapolis, 14 – 16 september 2011 year). – Indianapolis, 2011. – 12 p.

70. Mauro, R. Comparative Analysis of Compact Multilane Roundabouts and Turbo Roundabouts / R. Mauro, F. Branco – Текст : Электронный // Journal of Transportation Engineering. 2010. – Volume 136. Issue 4. – 12 p.

71. Kwakwa, O. K. Assessment of Turbo and Multilane Roundabout Alternatives to Improve Capacity and Delay at a Single Lane Roundabout Using Microsimulation Model Vissim: A Case Study in Ghana / O. K. Kwakwa, C. A. Adams – Текст :

электронный // American Journal of Civil Engineering and Architecture. –2016. – Vol. 4. No. 4. – P. 106-116.

72. Елугачев, П. А. Кольцевые пересечения в двух уровнях. Инструменты проектирования есть, а правил выполнения нет / П.А. Елугачев, М. А. Елугачев, А. Н. Байгулов – Текст : электронный // САПР И ГИС АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. – 2014. – № 1(2). – с. 66–69.

73. Елугачев, П. А. Обоснование ширины и количества полос движения на кольцевых пересечениях автомобильных дорог / П.А. Елугачёв, М. А. Катасонов, М. А. Елугачев – Текст : электронный // САПР И ГИС АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. – 2013. – № 1. – с. 24–28.

74. Руководство по проектированию городских улиц и дорог – Текст : электронный / Центральный научно-исследовательский и проектный институт по градостроительству Госгражданстроя. — Москва : Стройиздат, 1980. — 222 с.

75. Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR). Publication Number: FHWA-HRT-09-060 – Текст : электронный // URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09060/006.cfm> (дата обращения: 04.12.2020).

76. Tollazzi, T. Alternative Types of Roundabouts. An Informational Guide / T. Tollazzi –Текст : электронный // Springer International Publishing. – 2015. – 206 p.

77. Lambertus, G.H. Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Comfort and Safety / G.H. Lambertus, MSc Fortuijn – Текст : электронный // Annual Meeting 2003 of the Institute of Transportation Engineers (ITE). – Seattle. – 2003. – 20 p.

78. David, L. H. Observational Analysis of Pedestrian, Bicyclist, and Motorist Behaviors at Roundabouts in the United States / L. H. David, C. L. Daniel – Текст : электронный // Transportation Research Record. – 1982. – 155-165 pp.

79. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров,

дорожных ограждений и направляющих устройств. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 112 с. Текст : непосредственный.

80. Baranowski, B. Pedestrian Crosswalk Signals at Roundabouts: Where are they Applicable? / B. Baranowski – Текст : электронный // National Roundabout Conference (Vail, 22 – 25 May 2005). Vail. – 2005. – 15 p.

81. ОДМ 218.6.017-2015. Методические рекомендации по применению дорожных ограждений различного типа на автомобильных дорогах федерального значения. – Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. – 46 с. Текст : непосредственный.

82. ГОСТ 33150-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование пешеходных и велосипедных дорожек. Общие требования. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 11 с. Текст : непосредственный.

83. Свод правил. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001 : СП 59.13330.2016: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 14 ноября 2016 г. N 798/пр. – Текст : электронный // Информационно-правовой справочник Гарант : [Сайт]. – URL: <http://base.garant.ru/71584218/> (дата обращения 23.01.2020).

84. Мероприятия по организации пешеходного движения на кольцевых пересечениях / Д.Д. Сильченков, Г.С. Закожурникова, Ю.А. Сильченкова, С.С. Закожурников // Дороги и мосты. – 2021. – № 1 (45). – С. 170–178.

85. ОДМ 218.6.003-2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. – Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2011. – 69 с. Текст : непосредственный.

86. Aimsun Micro / Meso 6. Руководство пользователя – Текст : электронный // TTS – Transport Simulation System, 2009.– 236 с.

87. Андронов, Р. В. К вопросу о методах оценки задержек транспортных средств на регулируемом пересечении / Р. В. Андронов – Текст : электронный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 34-37.

88. Андронов, Р. В. Подходы к решению проблемы перегрузки транспортного пересечения на магистральной дороге регулируемого движения / Р. В. Андронов, Р. С. Кривошеин, Е. В. Низовских – Текст : электронный // Наука сегодня: задачи и пути их решения: материалы международной научно-технической конференции (Вологда, 27 мая 2020 г.). – Вологда, 2020. – С. 9–12.
89. Андронов, Р. В. Расчет методом Монте-Карло задержек транспортных средств на изолированном регулируемом пересечении при его работе на высоких уровнях загрузки / Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц – Текст : Электронный // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1 (60). – С. 221–226.
90. Лагереv, Р. Ю. Анализ алгоритмов оценки показателей функционирования регулируемых пересечений в условиях перенасыщения сети / Р. Ю. Лагереv, А. Г. Левашев – Текст : электронный // Транспортная лаборатория ИрГТУ. – Режим доступа: http://transport.istu.edu/downloads/cong_net_3.pdf (дата обращения: 26.11.2020).
91. Магомедов, Ф. М., Меликов И. М. Моделирование транспортной задержки на регулируемом пересечении / Ф. М. Магомедов, И. М. Меликов – Текст : Электронный // Вестник аграрной науки Дона. – 2014. – №4 (28) – С. 17–22.
92. О безопасности дорожного движения : Федеральный закон от 10.12.1995 N 196-ФЗ. Текст : электронный // Информационно-правовой справочник Гарант : [Сайт]. – URL: <http://base.garant.ru/10105643/> (дата обращения 22.01.2021).
93. ОДМ 218.4.005-2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2011. – 265 с. Текст : непосредственный.
94. Клоян, А. Н. Методика статистической проверки достоверности уравнения аварийности кольцевых пересечений автомобильных дорог / А. Н.

- Клюян, А. М. Бургунутдинов, Г. Б. Лялькина – Текст : электронный // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2020. – №1 (18). – с. 47–52.
95. Roundabouts. Road planning and design manual – Текст : электронный // Australia : Department of Main Roads.– 2006. – Chapter 14. – 101 p.
96. Определение условий эффективного применения кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком (КПСРПЦО) / Д. Д. Сильченков, А. В. Лемешкин, В. С. Метлев, В. В. Ульяновский // Строительные и дорожные машины. - 2020. - № 2.
97. ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2012. – 144 с. – Тест : непосредственный.
98. Исследование транспортных задержек на кольцевом пересечении со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком / Д. Д. Сильченков, А. В. Лемешкин, Ю. Я. Комаров, В. С. Метлев // Строительные и дорожные машины. - 2020. - № 4. - С. 27-30.
99. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров – Текст : непосредственный // Учебное пособие 2-е издание переработанное и дополненное — Москва : Высшая школа. – 1985.– 327 с.
100. StatSoft. Электронный учебник по статистике – Текст : электронный – URL: http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stgenlinmod.html#sums_squares (дата обращения: 19.01.2021).
101. Сильченков, Д. Д. Определение пропускной способности полосы движения кольцевой части кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком / С. В. Ганзин, Д. Д. Сильченков, Ю. А. Сильченкова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2021. - № 2. - С. 79-85. - DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-79. - URL: http://intellekt-izdanie.osu.ru/arch/2021_2_79.pdf.

102. StatSoft. Оптимизация производственного процесса: профили желательности – Текст : электронный – URL: http://statsoft.ru/solutions/ExamplesBase/branches/detail.php?ELEMENT_ID=551 (дата обращения: 19.01.2021).
103. Бежаева, З. И. Введение в теорию планирования регрессионных экспериментов / З. И. Бежаева, М. Б. Малютов // Московский государственный институт электронного машиностроения : Темплан. – 1983. – 84 с. – Текст : электронный.
104. Боровиков В.П. STATISTICA, искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / В. П. Боровиков. – 2-ое издание. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 688 с. – Текст : Электронный.
105. Webster, F.V. Traffic Signal Settings. Road Research. Technical Paper No. 39 / F. V. Webster. – London : Road Research Laboratory, 1957. – 230 p. – Текст : Электронный.
106. Сильченков, Д. Д. Определение условий применения формулы Ф. Вебстера по определению транспортной задержки на кольцевом пересечении со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком / Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин, Д. Д. Сильченков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2021. - № 1. - С. 76-86. – DOI: 10.25198/2077-7175-2021-1-76. – URL: <http://intellekt-izdanie.osu.ru>.
107. FHWA–RD–00–067. Roundabout. An informational guide. // Federal Highway Administration, 2000. – Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2014/si_nedv/psp_2014/pages/Articles/9/Katasonov_M.A._Dolzhikov_A.I.pdf.pdf (дата обращения: 19.01.2021).
108. Adaptation of the Traffic Signal Control Design Method to a Hamburger Roundabout (Адаптация методики расчета светофорного цикла для кругового пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком) / Д.Д. Сильченков, Ю.А. Сильченкова, Г.С. Закожурникова, С.С. Закожурников // Architecture and Engineering. - 2021. - Vol. 6, issue 3. - С. 70-76. - DOI: 10.23968/2500-0055-2021-6-3-70-76.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – ЧАСТЬ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КПСРПО

Таблица А.1 – Часть расчетно-экспериментальной таблицы для определения областей эффективного применения
КПСРПО

Опыт	Интенсивность главной дорога	Интенсивность главная дорога			Поток насыщения	Доля левого поворота по главной дороге	Второстепенная дорога		Перекресток со светофорным регулированием			Перекресток с выделенными полосами для транспортных средств, ожидающих поворот налево					
		прямо	налево	направо			Интенсивность (10% налево и 5% направо)	Поток насыщения	Цикл	Зеленый главный	Зеленый второст.	Цикл	Зеленый главный	Зеленый стрелка	Зеленый второст.	поток насыщения главная	Поток насыщения лево
1	563	507	28	28	5629	0,1	362	3623	21	7	6	29	7	1	9	6140	1581
2	563	507	28	28	5629	0,1	725	3623	24	5	11	33	6	1	14	6140	1581
3	563	507	28	28	5629	0,1	1087	3623	28	5	15	39	6	1	20	6140	1581
4	563	507	28	28	5629	0,1	1449	3623	34	5	21	46	6	1	27	6140	1581
5	563	507	28	28	5629	0,1	1630	3623	38	5	25	52	6	1	33	6140	1581
6	1126	1013	56	56	5629	0,2	362	3623	24	11	5	33	12	2	7	6140	1581
7	1126	1013	56	56	5629	0,2	725	3623	28	10	10	39	11	2	14	6140	1581
8	1126	1013	56	56	5629	0,2	1087	3623	34	10	16	47	12	2	21	6140	1581
9	1126	1013	56	56	5629	0,2	1449	3623	43	12	23	59	13	3	31	6140	1581
10	1126	1013	56	56	5629	0,2	1630	3623	49	13	28	68	15	3	38	6140	1581
11	1689	1520	84	84	5629	0,3	362	3623	28	15	5	39	17	3	7	6140	1581
12	1689	1520	84	84	5629	0,3	725	3623	34	16	10	47	18	4	13	6140	1581
13	1689	1520	84	84	5629	0,3	1087	3623	43	18	17	60	20	4	24	6140	1581
14	1689	1520	84	84	5629	0,3	1449	3623	57	21	28	81	25	5	39	6140	1581

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ ПО ОСНОВНОМУ НАПРАВЛЕНИЮ

Таблица Б.1 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) при диаметре островка 40 м (X_4)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_5=30/96$	$X_5=40/96$	$X_5=50/96$	$X_5=60/96$
50	31	22	14	11
100	31	22	14	11
150	31	22	14	11
200	31	22	15	11
250	31	22	15	11
300	31	22	15	11
350	31	22	15	11
400	31	23	15	11
450	31	23	15	11
500	31	23	16	12
550	36	23	16	12
600	39	23	17	12
650	41	24	17	12
700	89	26	19	13
750	265	27	18	12
800	278	29	20	13
850	405	35	21	14
900	449	44	21	15
950	492	62	23	15
1000	550	142	24	16
1050	572	220	26	16
1100	633	349	36	18
1150	684	402	59	19
1200	693	418	100	21
1250	698	446	136	32
1300	750	500	252	33
1350	741	538	261	30
1400	759	561	384	167
1450	767	578	403	189
1500	808	604	444	211
1550	818	609	461	286

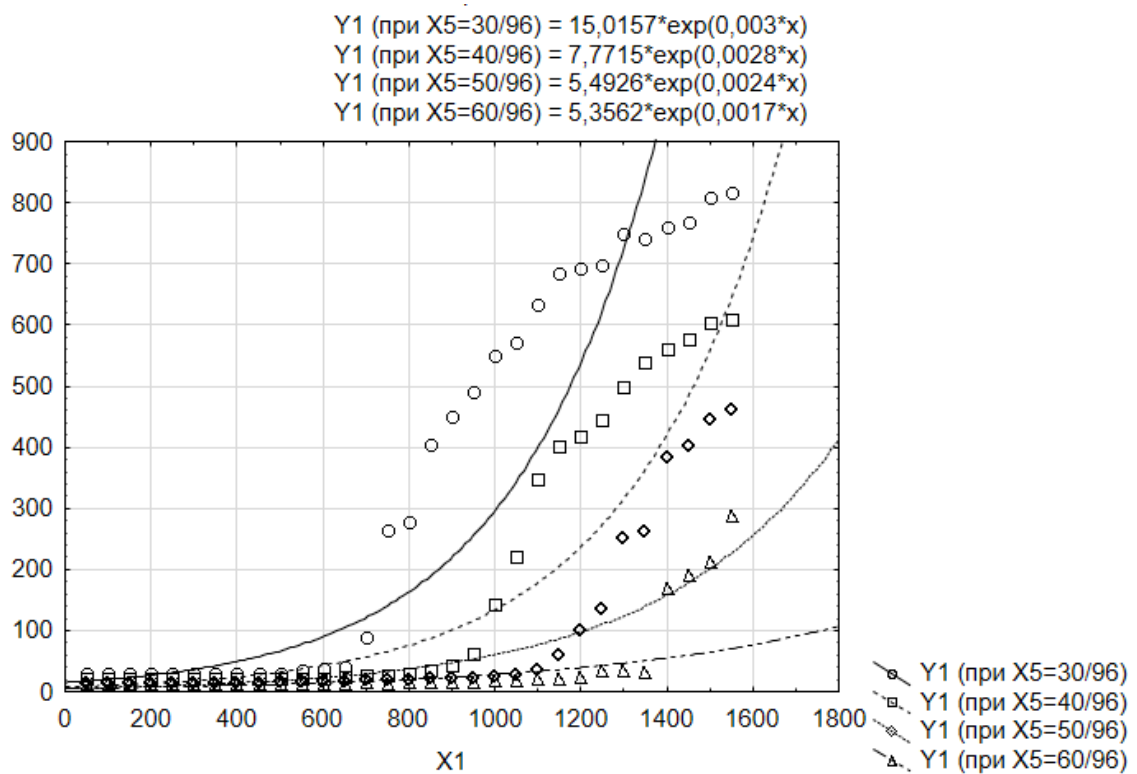


Рисунок Б.1 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 40 м (X_4)

Таблица Б.2 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) при диаметре островка 50 м (X_4)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_5=30/96$	$X_5=40/96$	$X_5=50/96$	$X_5=60/96$
50	32	22	14	10
100	32	22	14	10
150	32	22	14	10
200	32	22	15	10
250	32	22	15	10
300	32	22	15	10
350	32	22	15	10
400	32	22	15	10
450	32	22	16	11
500	32	23	16	11
550	35	23	16	11
600	38	23	17	11
650	41	24	17	11
700	88	26	18	12
750	153	27	18	12
800	168	29	20	12
850	313	34	20	13
900	378	38	21	13
950	442	47	22	14
1000	506	107	25	14
1050	545	166	25	16
1100	605	318	30	16
1150	667	363	40	18
1200	679	426	81	19
1250	691	403	79	19
1300	702	442	179	24
1350	721	487	221	30
1400	732	541	363	48
1450	746	527	355	68
1500	786	569	408	69
1550	773	580	434	244

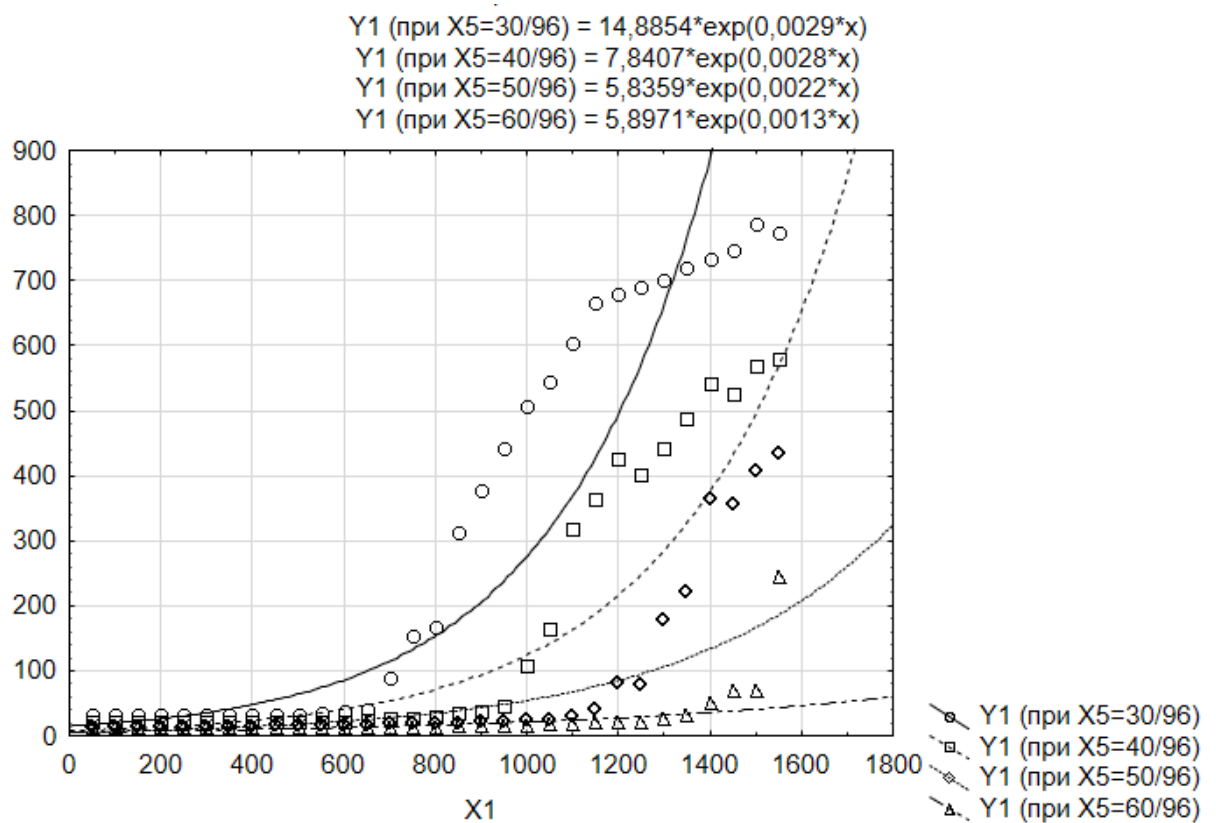


Рисунок Б.2 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 50 м (X_4)

Таблица Б.3 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) при диаметре островка 60 м (X_4)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_5=30/96$	$X_5=40/96$	$X_5=50/96$	$X_5=60/96$
50	32	22	14	9
100	32	22	14	9
150	32	22	15	10
200	32	22	15	10
250	32	22	15	10
300	32	22	15	10
350	32	22	15	10
400	32	22	15	10
450	33	23	16	10
500	33	23	16	11
550	35	23	16	11
600	37	24	17	11
650	42	24	17	11
700	84	26	18	12
750	190	26	18	12
800	206	28	19	12
850	272	35	20	13
900	387	42	21	13
950	458	50	22	14
1000	507	97	21	14
1050	557	167	25	15
1100	609	313	30	16
1150	661	351	38	17
1200	669	397	87	19
1250	689	424	165	19
1300	710	462	212	23
1350	721	479	247	25
1400	721	511	327	29
1450	730	539	351	93
1500	749	545	390	231
1550	761	576	427	263

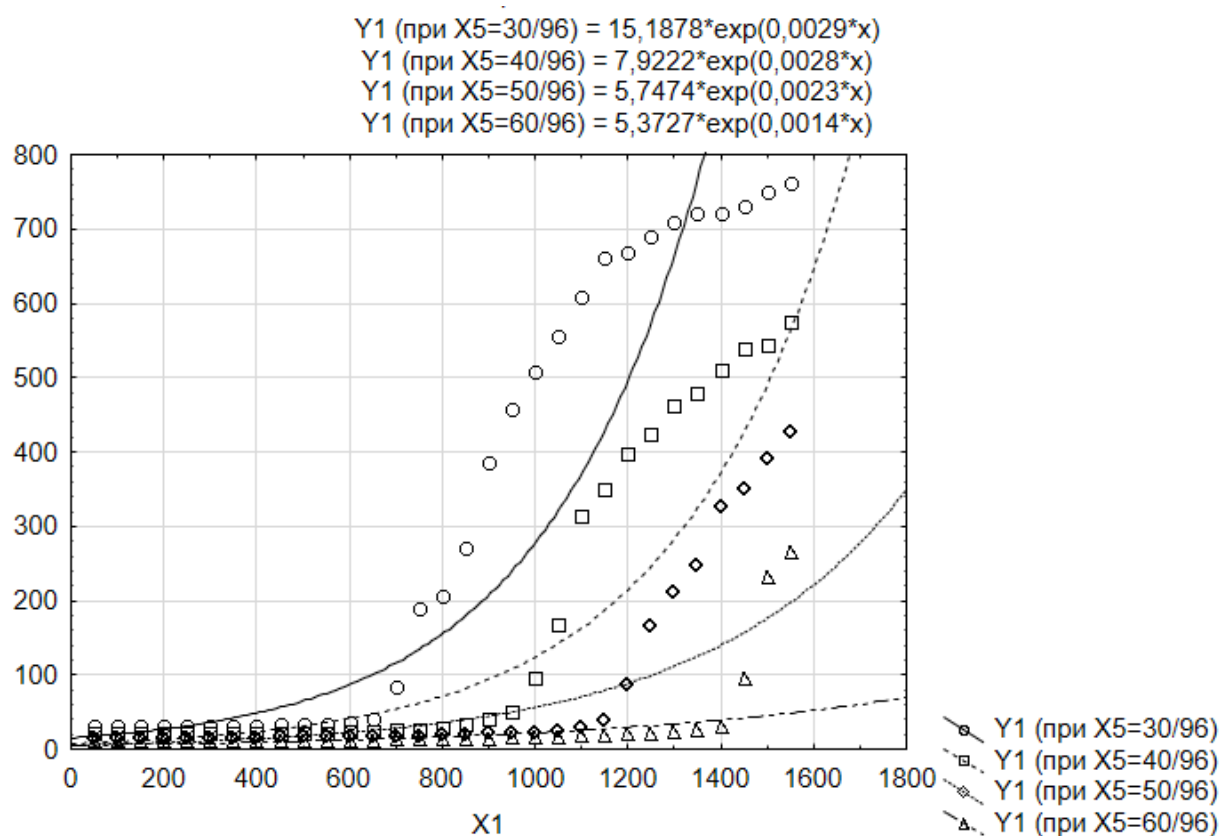


Рисунок Б.3 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 60 м (X_4)

Таблица Б.4 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) при диаметре островка 70 м (X_4)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_5=30/96$	$X_5=40/96$	$X_5=50/96$	$X_5=60/96$
50	31	21	15	9
100	31	22	15	10
150	31	22	15	10
200	31	22	15	10
250	31	22	15	10
300	31	22	15	10
350	31	22	15	10
400	32	22	15	11
450	32	22	16	11
500	32	23	16	11
550	35	23	16	11
600	38	24	17	11
650	42	24	17	12
700	82	26	18	13
750	164	26	18	13
800	180	29	18	13
850	354	36	20	14
900	383	39	21	14
950	436	50	22	14
1000	515	98	22	15
1050	565	156	25	17
1100	608	303	30	17
1150	646	353	40	20
1200	658	379	82	24
1250	665	410	134	23
1300	701	454	164	34
1350	710	472	268	32
1400	732	502	308	38
1450	749	541	355	70
1500	751	567	380	142
1550	759	593	421	289

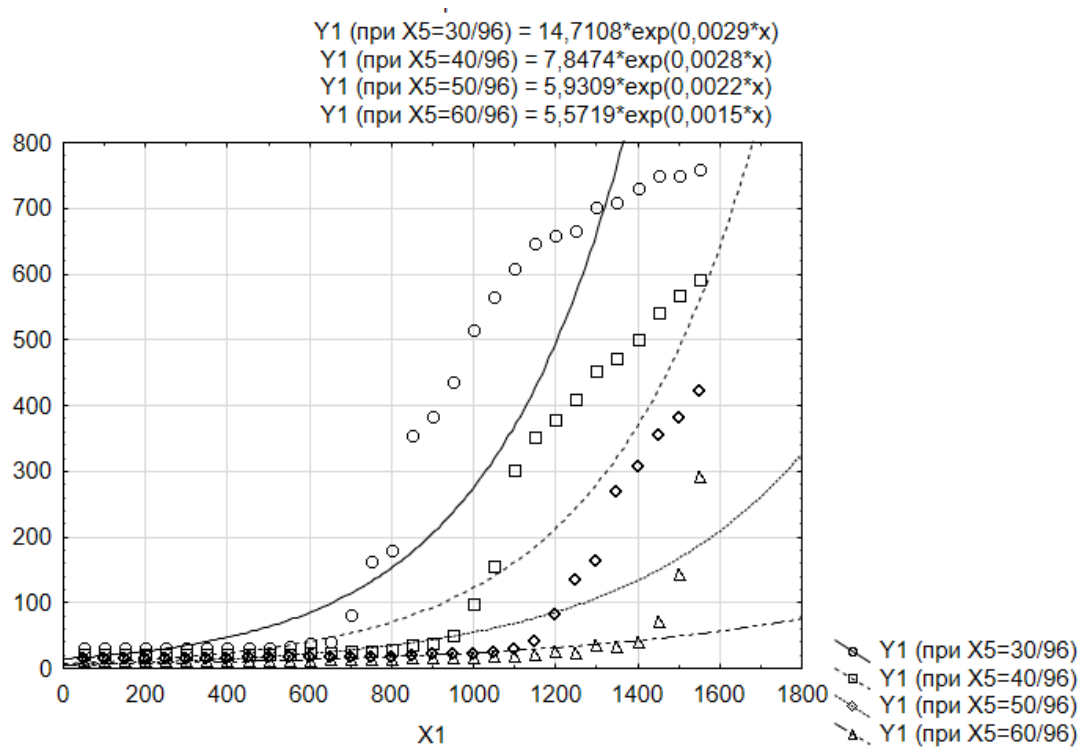


Рисунок Б.4 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 70 м (X_4)

Таблица Б.5 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_4=40$, м	$X_4=50$, м	$X_4=60$, м	$X_4=70$, м
50	31	32	32	31
100	31	32	32	31
150	31	32	32	31
200	31	32	32	31
250	31	32	32	31
300	31	32	32	31
350	31	32	32	31
400	31	32	32	32
450	31	32	33	32
500	31	32	33	32
550	36	35	35	35
600	39	38	37	38
650	41	41	42	42
700	89	88	84	82
750	265	153	190	164
800	278	168	206	180
850	405	313	272	354
900	449	378	387	383
950	492	442	458	436
1000	550	506	507	515
1050	572	545	557	565
1100	633	605	609	608
1150	684	667	661	646
1200	693	679	669	658
1250	698	691	689	665
1300	750	702	710	701
1350	741	721	721	710
1400	759	732	721	732
1450	767	746	730	749
1500	808	786	749	751
1550	818	773	761	759

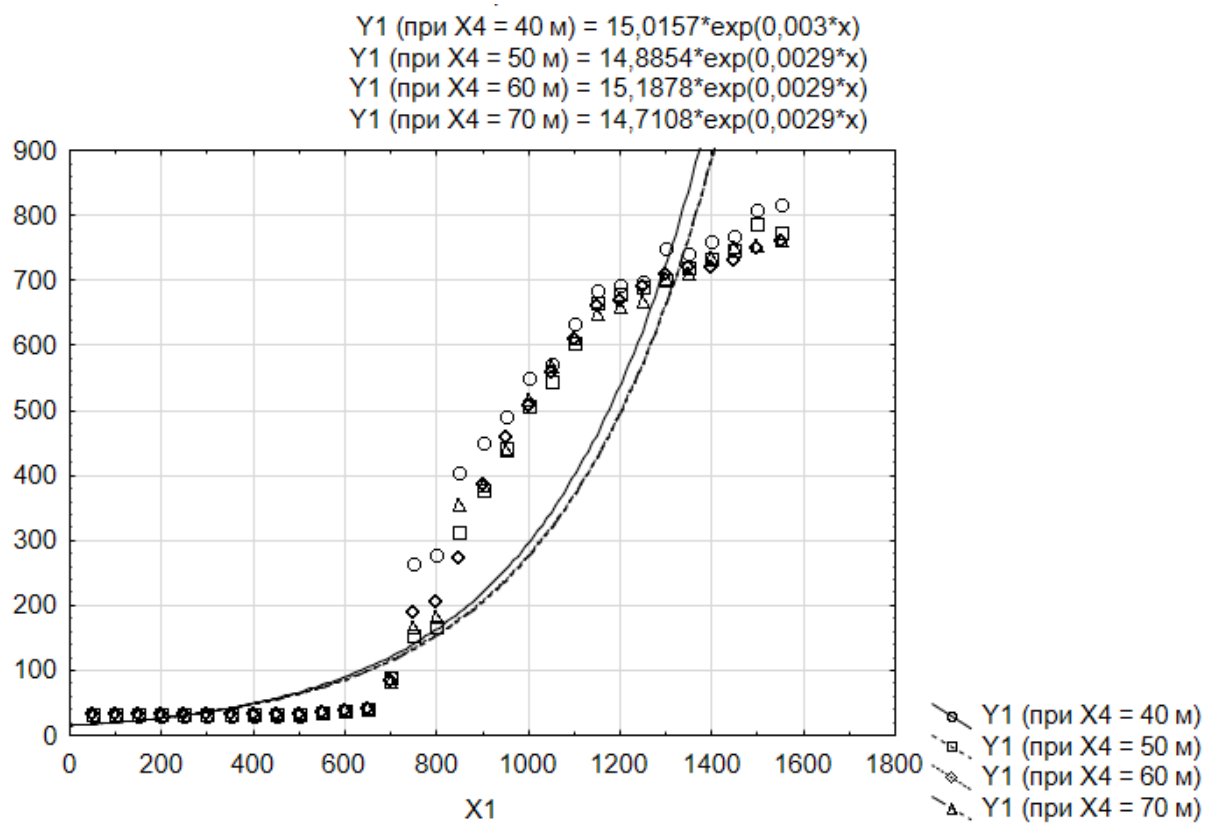


Рисунок Б.5 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

Таблица Б.6 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_4=40$, м	$X_4=50$, м	$X_4=60$, м	$X_4=70$, м
50	22	22	22	21
100	22	22	22	22
150	22	22	22	22
200	22	22	22	22
250	22	22	22	22
300	22	22	22	22
350	22	22	22	22
400	23	22	22	22
450	23	22	23	22
500	23	23	23	23
550	23	23	23	23
600	23	23	24	24
650	24	24	24	24
700	26	26	26	26
750	27	27	26	26
800	29	29	28	29
850	35	34	35	36
900	44	38	42	39
950	62	47	50	50
1000	142	107	97	98
1050	220	166	167	156
1100	349	318	313	303
1150	402	363	351	353
1200	418	426	397	379
1250	446	403	424	410
1300	500	442	462	454
1350	538	487	479	472
1400	561	541	511	502
1450	578	527	539	541
1500	604	569	545	567
1550	609	580	576	593

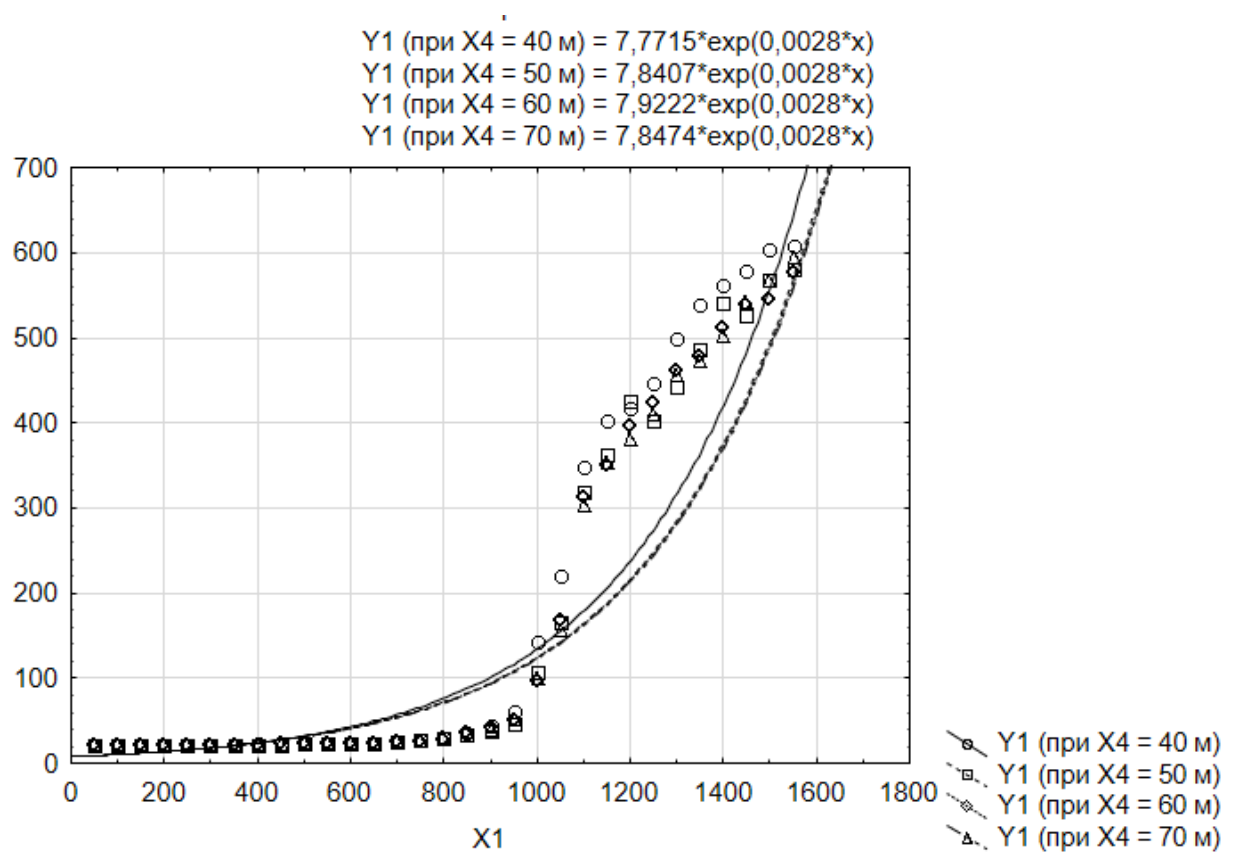


Рисунок Б.6 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

Таблица Б.7 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_4=40$, м	$X_4=50$, м	$X_4=60$, м	$X_4=70$, м
50	14	14	14	15
100	14	14	14	15
150	14	14	15	15
200	15	15	15	15
250	15	15	15	15
300	15	15	15	15
350	15	15	15	15
400	15	15	15	15
450	15	16	16	16
500	16	16	16	16
550	16	16	16	16
600	17	17	17	17
650	17	17	17	17
700	19	18	18	18
750	18	18	18	18
800	20	20	19	18
850	21	20	20	20
900	21	21	21	21
950	23	22	22	22
1000	24	25	21	22
1050	26	25	25	25
1100	36	30	30	30
1150	59	40	38	40
1200	100	81	87	82
1250	136	79	165	134
1300	252	179	212	164
1350	261	221	247	268
1400	384	363	327	308
1450	403	355	351	355
1500	444	408	390	380
1550	461	434	427	421

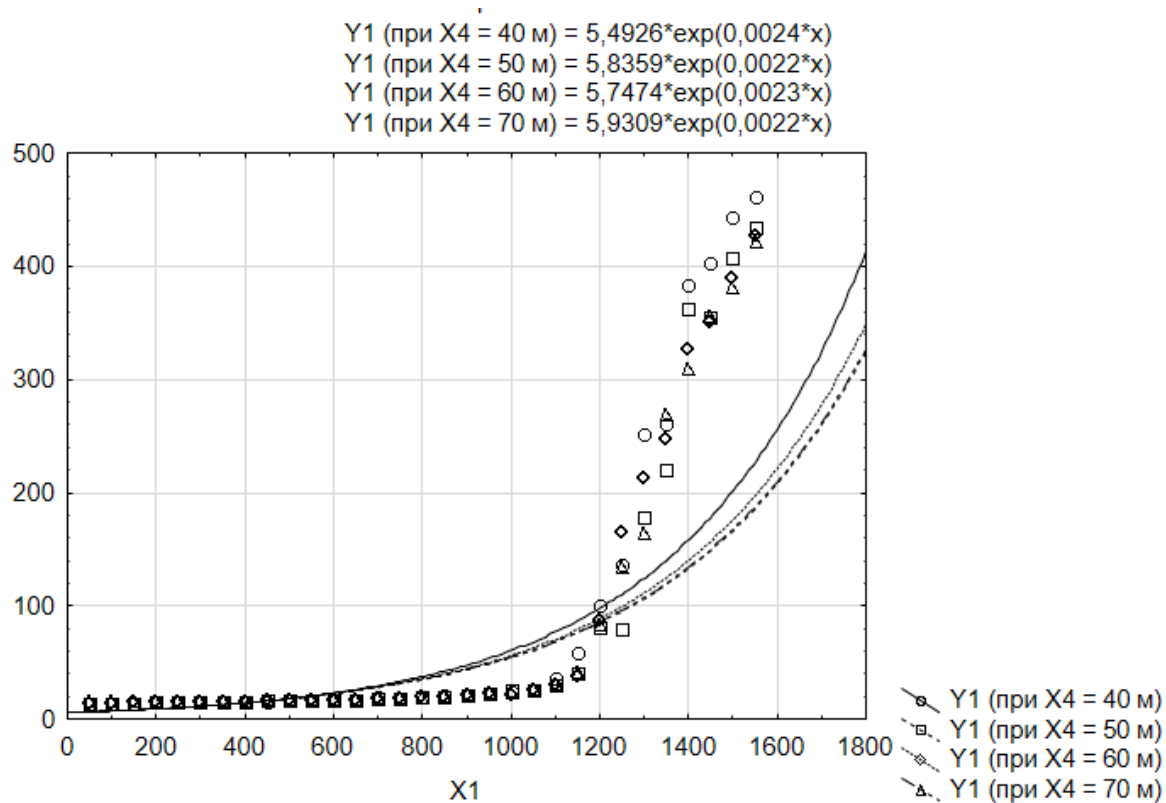


Рисунок Б.7 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица Б.8 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_1 , пр. ед./ час	Y_1 , с			
	$X_4=40$, м	$X_4=50$, м	$X_4=60$, м	$X_4=70$, м
50	11	10	9	9
100	11	10	9	10
150	11	10	10	10
200	11	10	10	10
250	11	10	10	10
300	11	10	10	10
350	11	10	10	10
400	11	10	10	11
450	11	11	10	11
500	12	11	11	11
550	12	11	11	11
600	12	11	11	11
650	12	11	11	12
700	13	12	12	13
750	12	12	12	13
800	13	12	12	13
850	14	13	13	14
900	15	13	13	14
950	15	14	14	14
1000	16	14	14	15
1050	16	16	15	17
1100	18	16	16	17
1150	19	18	17	20
1200	21	19	19	24
1250	32	19	19	23
1300	33	24	23	34
1350	30	30	25	32
1400	167	48	29	38
1450	189	68	93	70
1500	211	69	231	142
1550	286	244	263	289

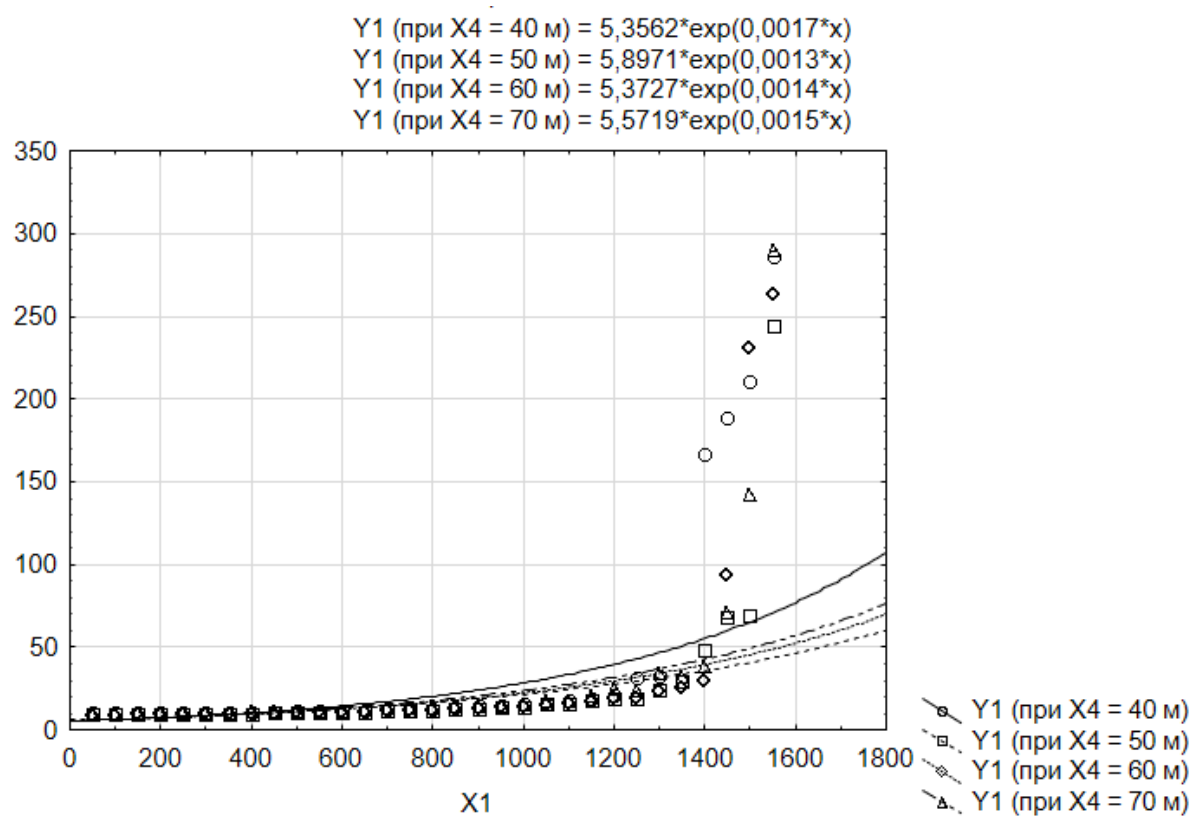


Рисунок Б.8 – Влияние интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) и диаметра островка (X_4) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

Таблица Б.9 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при диаметре островка 40 м (X_4)

X_5	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
30/96	31	39	278	550
40/96	22	23	29	142
50/96	15	17	20	24
60/96	11	12	13	16

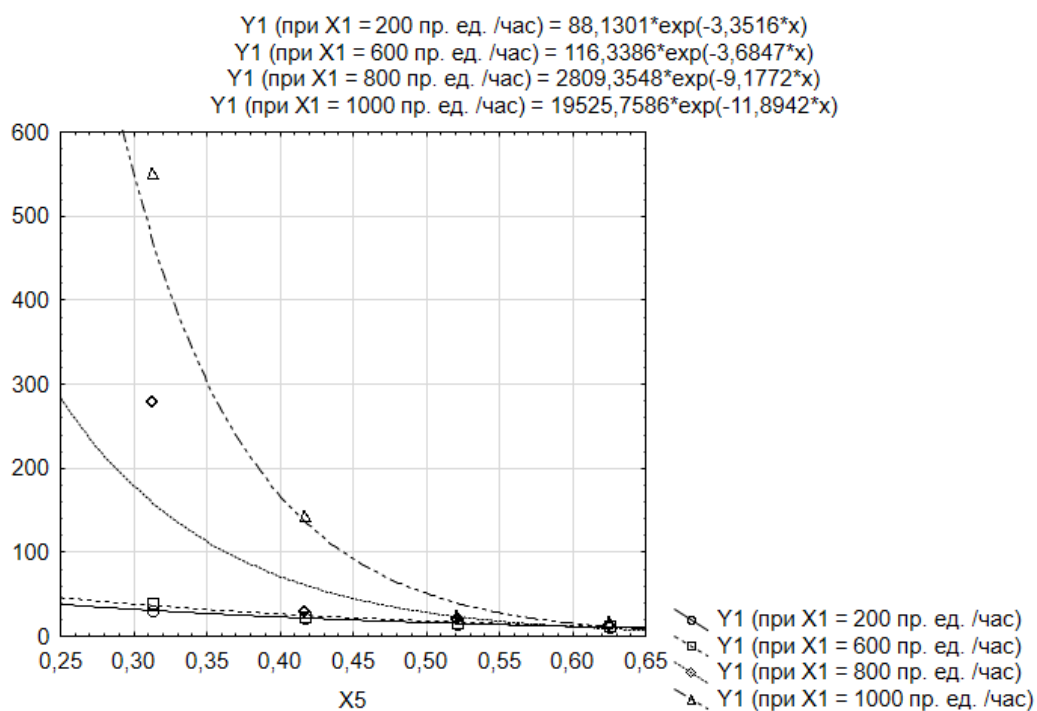


Рисунок Б.9 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 40 м (X_4)

Таблица Б.10 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при диаметре островка 50 м (X_4)

X_5	Y, c			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
30/96	32	38	168	605
40/96	22	23	29	107
50/96	15	17	20	25
60/96	10	11	12	14

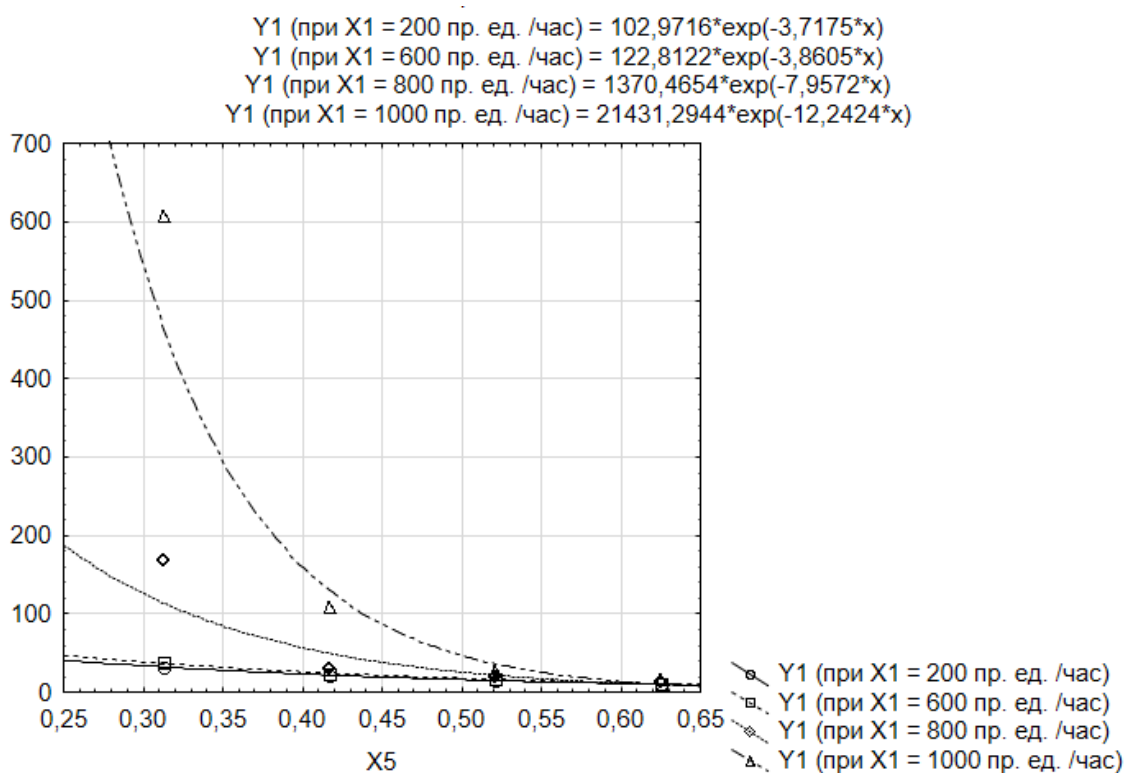


Рисунок Б.10 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 50 м (X_4)

Таблица Б.11 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при диаметре островка 60 м (X_4)

X_5	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
30/96	32	37	206	507
40/96	22	24	28	97
50/96	15	17	19	21
60/96	10	11	12	14

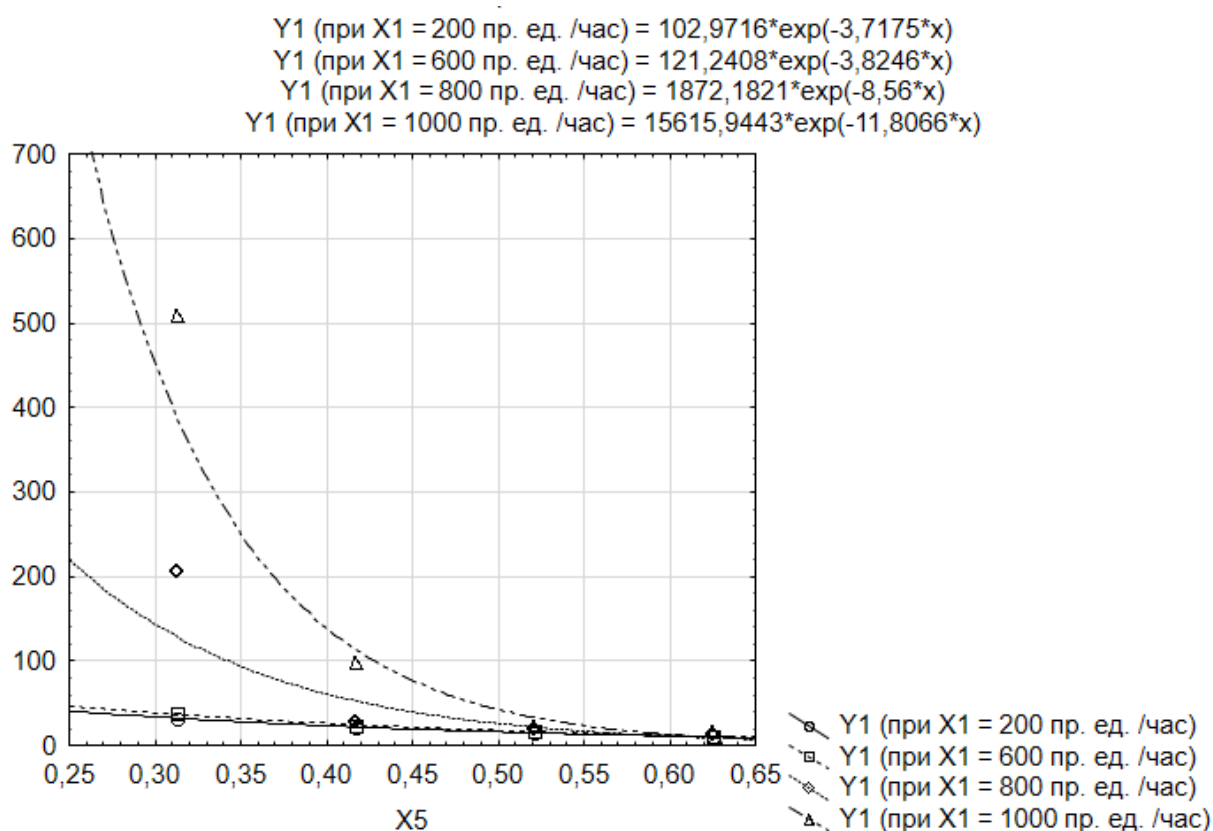


Рисунок Б.11 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 60 м (X_4)

Таблица Б.12 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при диаметре островка 70 м (X_4)

X_5	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
30/96	31	38	180	515
40/96	22	24	29	98
50/96	15	17	18	22
60/96	10	11	13	15

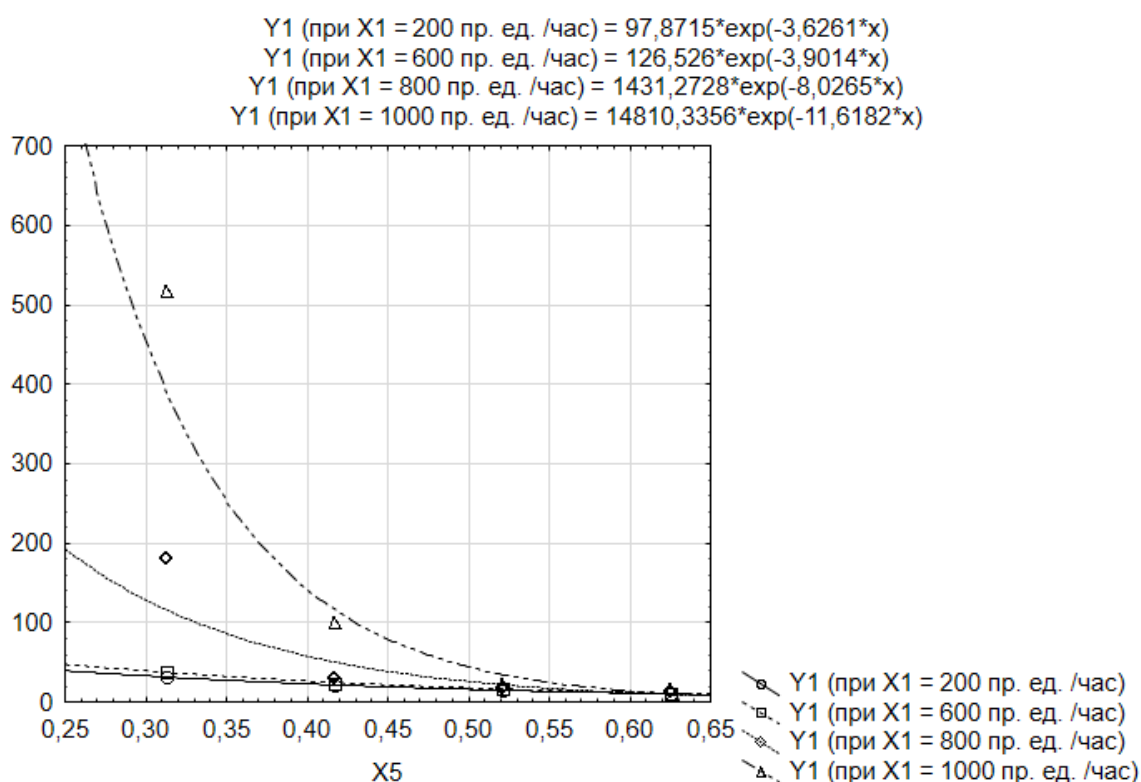


Рисунок Б.12 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при диаметре островка 70 м (X_4)

Таблица Б.13 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_4 , м	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
40	31	39	278	550
50	32	38	168	605
60	32	37	206	507
70	31	38	180	515

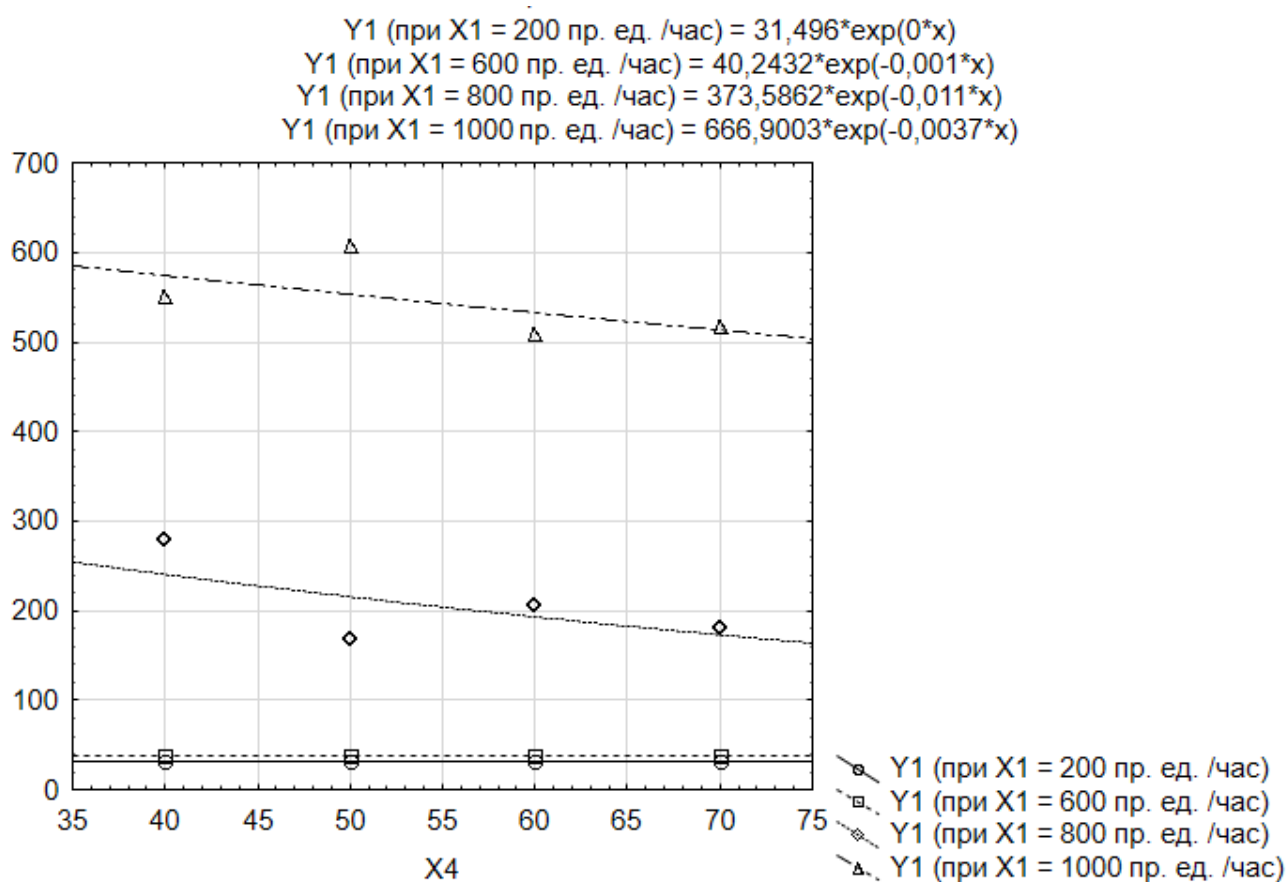


Рисунок Б.13 – Влияние диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

Таблица Б.14 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

X_4 , м	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
40	22	23	29	142
50	22	23	29	107
60	22	24	28	97
70	22	24	29	98

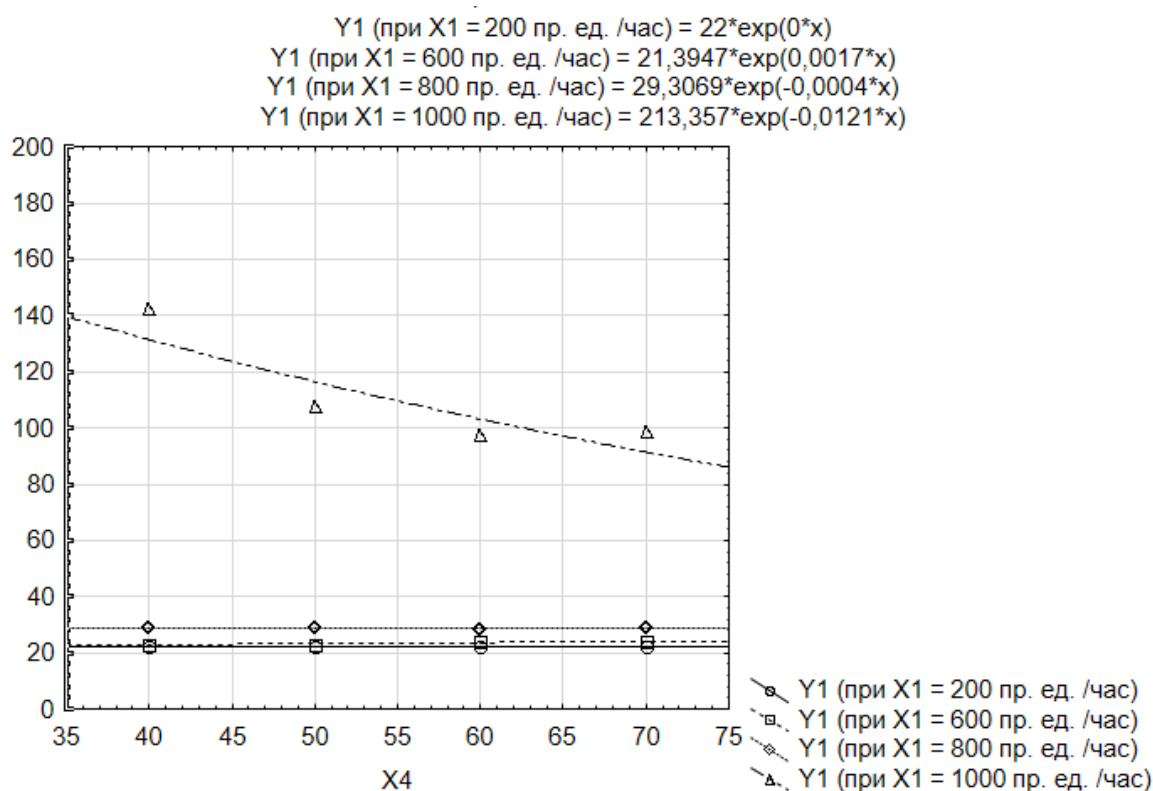


Рисунок Б.14 – Влияние диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

Таблица Б.15 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_4 , м	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
40	15	17	20	24
50	15	17	20	25
60	15	17	19	21
70	15	17	18	22

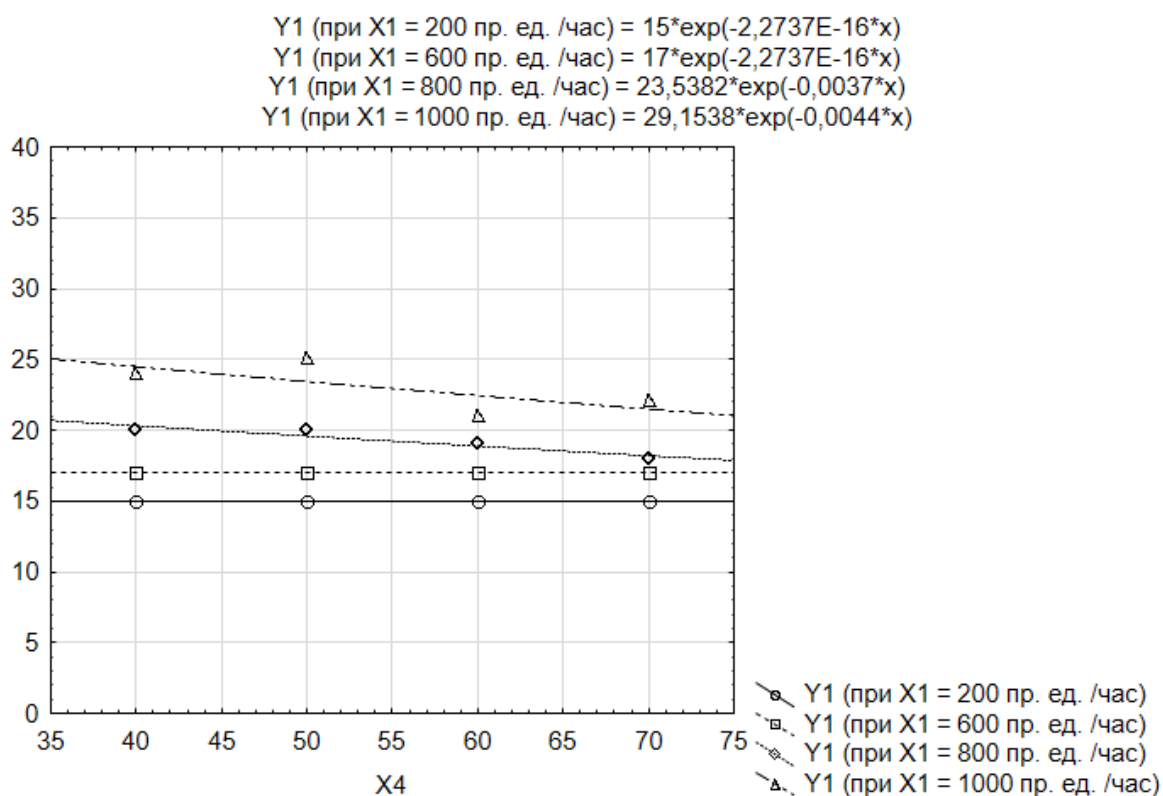


Рисунок Б.15 – Влияние диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица Б.16 – Значение транспортной задержки по основному направлению (Y_1) в зависимости от диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_4 , м	Y_1 , с			
	$X_1 = 200$, пр. ед./час	$X_1 = 600$, пр. ед./час	$X_1 = 800$, пр. ед./час	$X_1 = 1000$, пр. ед./час
40	11	12	13	16
50	10	11	12	14
60	10	11	12	14
70	10	11	13	15

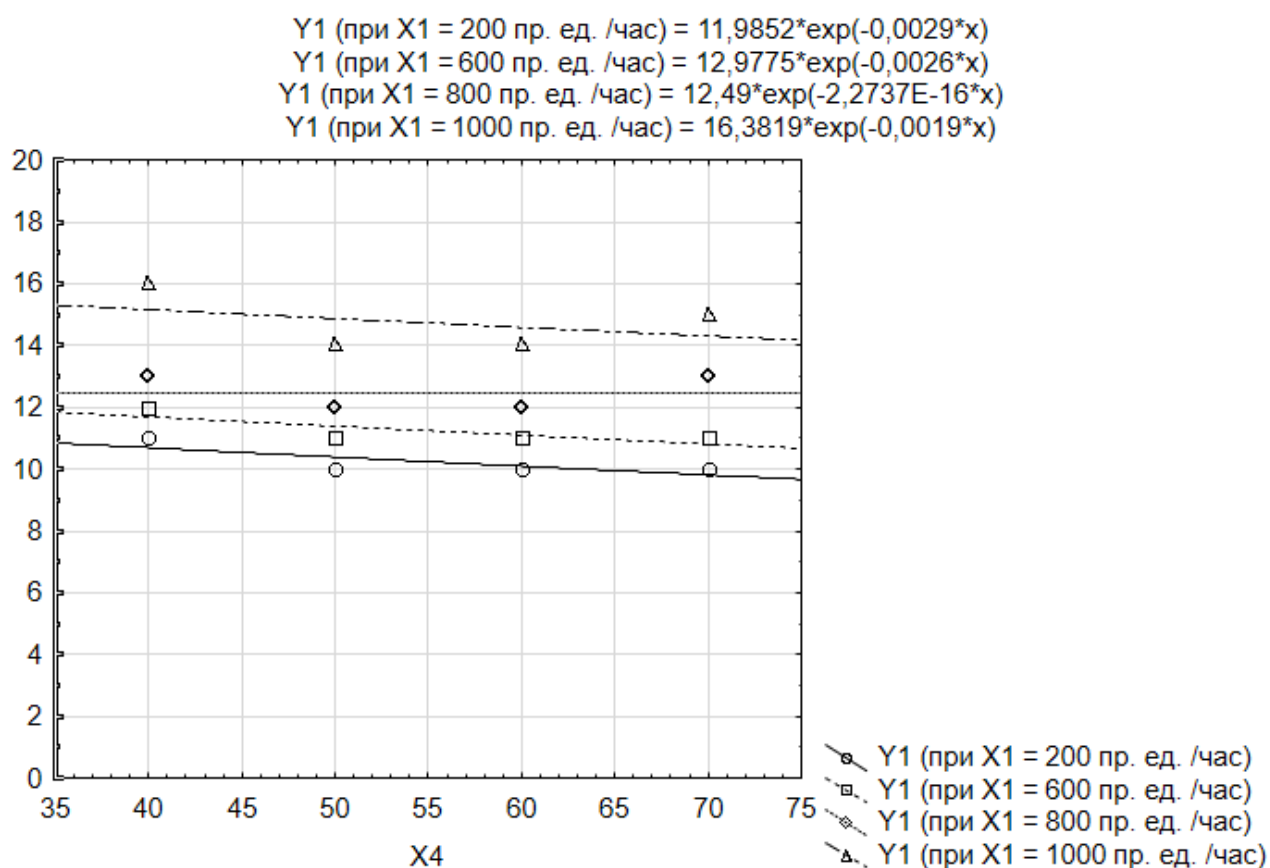


Рисунок Б.16 – Влияние диаметра островка (X_4) и интенсивности дорожного движения по основному направлению прямо, приходящейся на одну полосу, (X_1) на транспортную задержку по основному направлению (Y_1) при эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

ПРИЛОЖЕНИЕ В – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ ПО ВТОРОСТЕПЕННОМУ НАПРАВЛЕНИЮ

Таблица В.1 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	22	23	24	25	26	27	28
100	25	25	27	28	29	30	31
150	27	28	30	31	34	39	39
200	27	29	30	36	41	41	42
250	27	31	33	44	56	62	64
300	30	43	73	154	141	141	163
350	43	82	156	225			
400	135	196					
450	220						

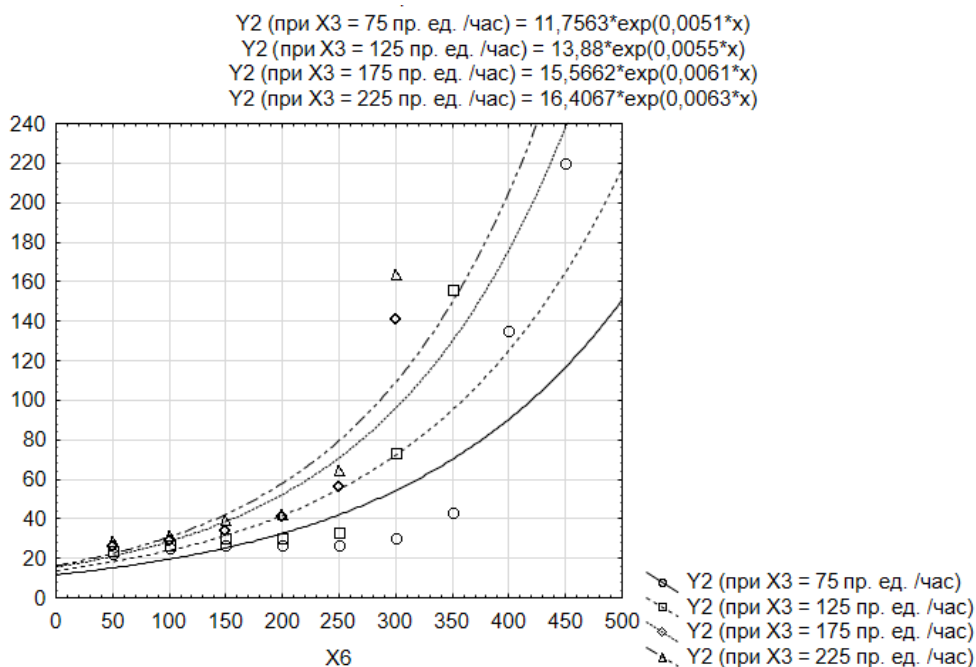


Рисунок В.1 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

Таблица В.2 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	16	16	17	18	18	19	20
100	18	18	19	20	20	22	22
150	20	21	22	22	24	25	26
200	20	21	22	23	25	26	26
250	20	21	22	23	25	26	29
300	21	22	23	26	28	37	38
350	23	25	27	29	45	50	52
400	26	27	37	42	86	102	112
450	28	35	90	120	154		
500	55	112	147	194			
550	133	162	213				

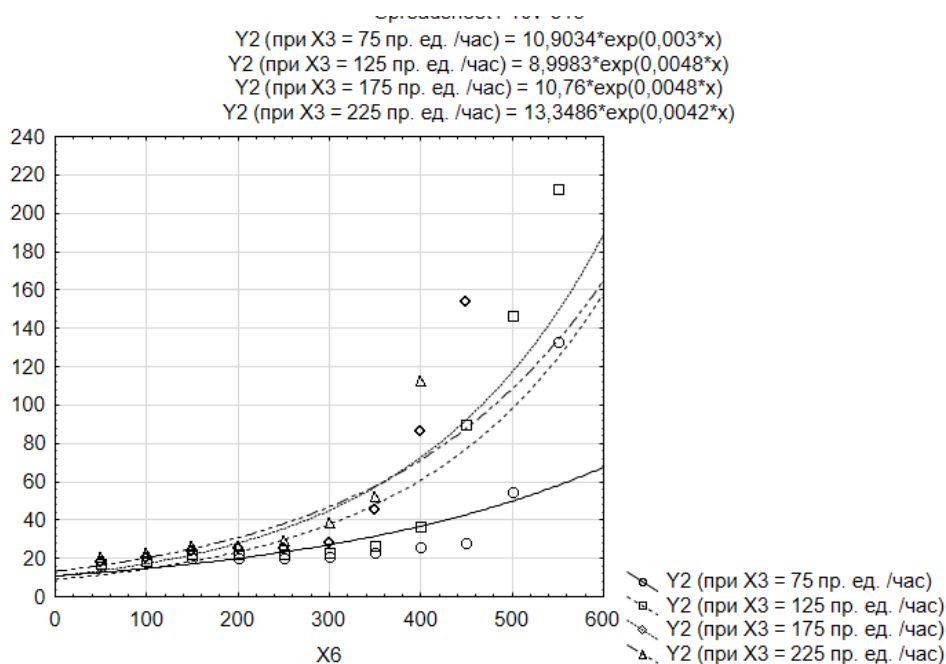


Рисунок В.2 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица В.3 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	11	11	11	12	12	13	13
100	12	12	13	13	14	14	15
150	14	14	15	15	16	17	18
200	14	14	15	15	17	17	18
250	14	14	15	15	17	18	18
300	15	15	15	16	18	19	20
350	16	16	17	18	19	21	22
400	16	17	18	19	20	23	25
450	17	18	19	20	24	27	33
500	19	20	22	24	27	44	83
550	21	22	24	50	42	140	128
600	22	25	33	73	135		

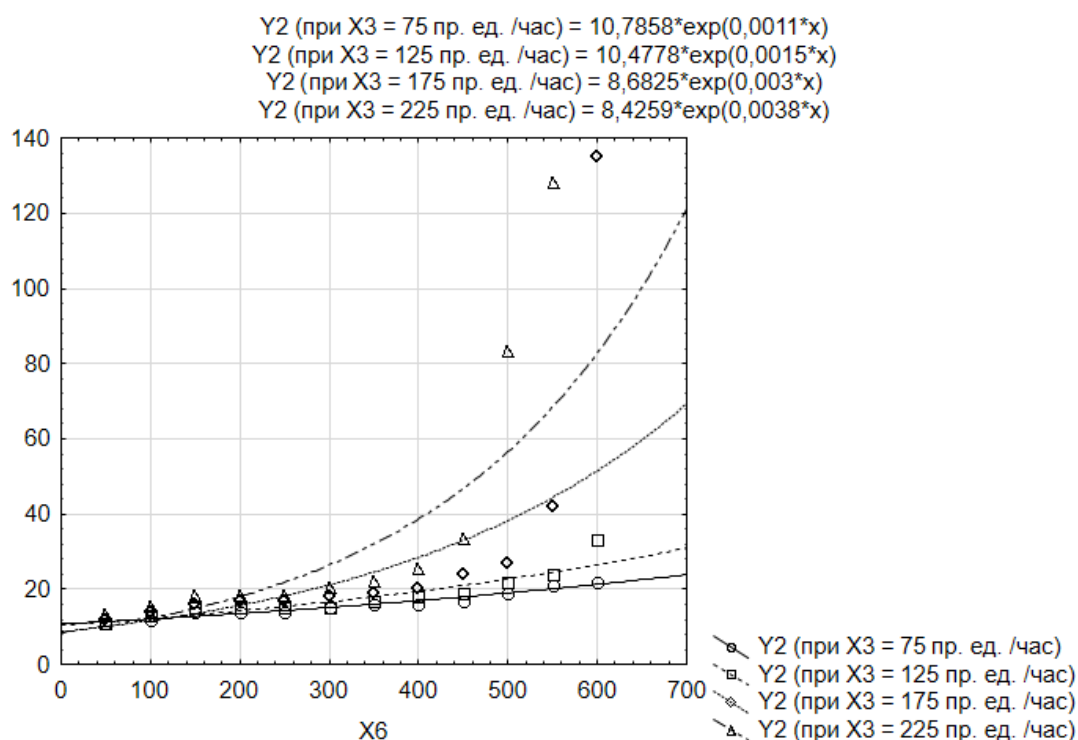


Рисунок В.3 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

Таблица В.4 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	11	11	11	12	12	13	13
100	12	12	13	13	14	14	15
150	14	14	15	15	16	17	18
200	14	14	15	15	17	17	18
250	14	14	15	15	17	18	18
300	15	15	15	16	18	19	20
350	16	16	17	18	19	21	22
400	16	17	18	19	20	23	25
450	17	18	19	20	24	27	33
500	19	20	22	24	27	44	83
550	21	22	24	50	42	140	128
600	22	25	33	73	135		

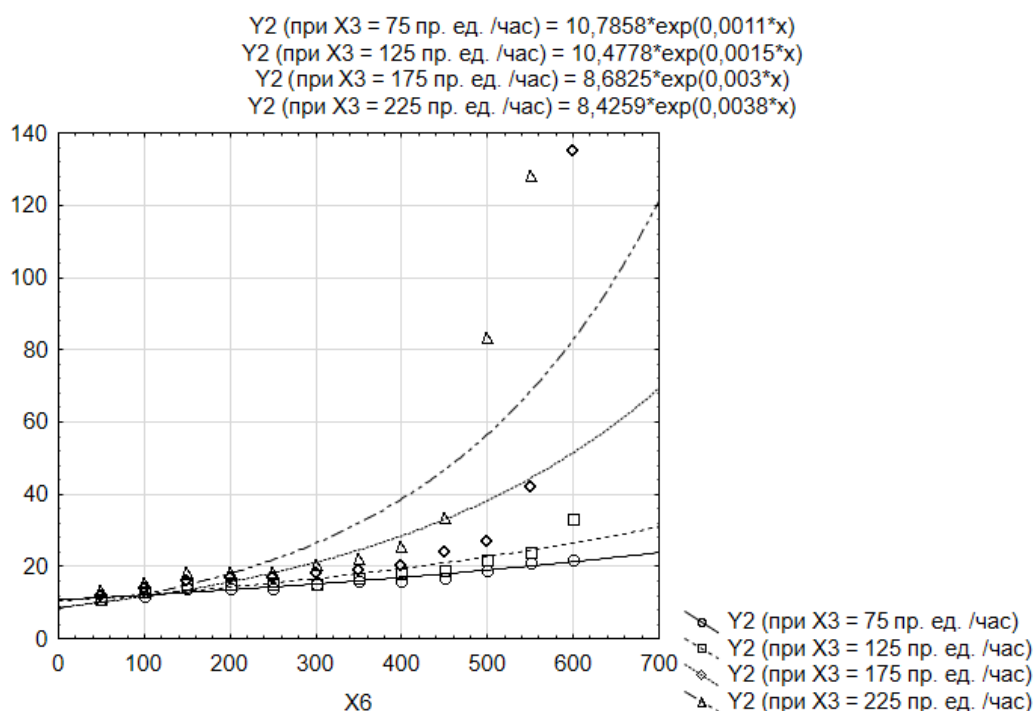


Рисунок В.4 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

Таблица В.5 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	25	26	27	29	31	32	33
100	26	26	27	30	31	32	34
150	26	27	29	31	33	43	45
200	28	30	32	35	41	49	77
250	29	31	35	54	103	172	221
300	31	38	56	166	270	304	346
350	38	51	148	230			
400	150	215					
450	178						

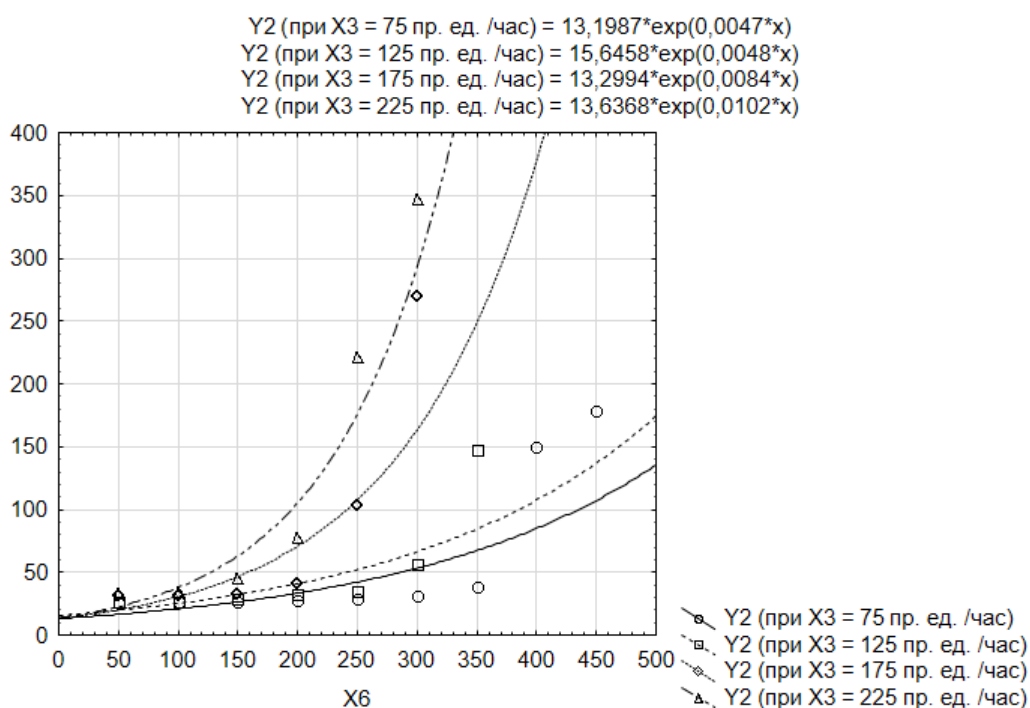


Рисунок В.5 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

Таблица В.6 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	18	19	20	20	22	23	24
100	19	19	20	21	22	24	25
150	19	20	21	21	23	24	26
200	21	22	23	24	26	27	28
250	21	22	23	25	27	28	32
300	22	23	24	26	28	32	48
350	23	24	26	30	32	67	84
400	26	28	33	63	79	188	217
450	26	29	62	98	184		
500	38	96	206	233			
550	116						

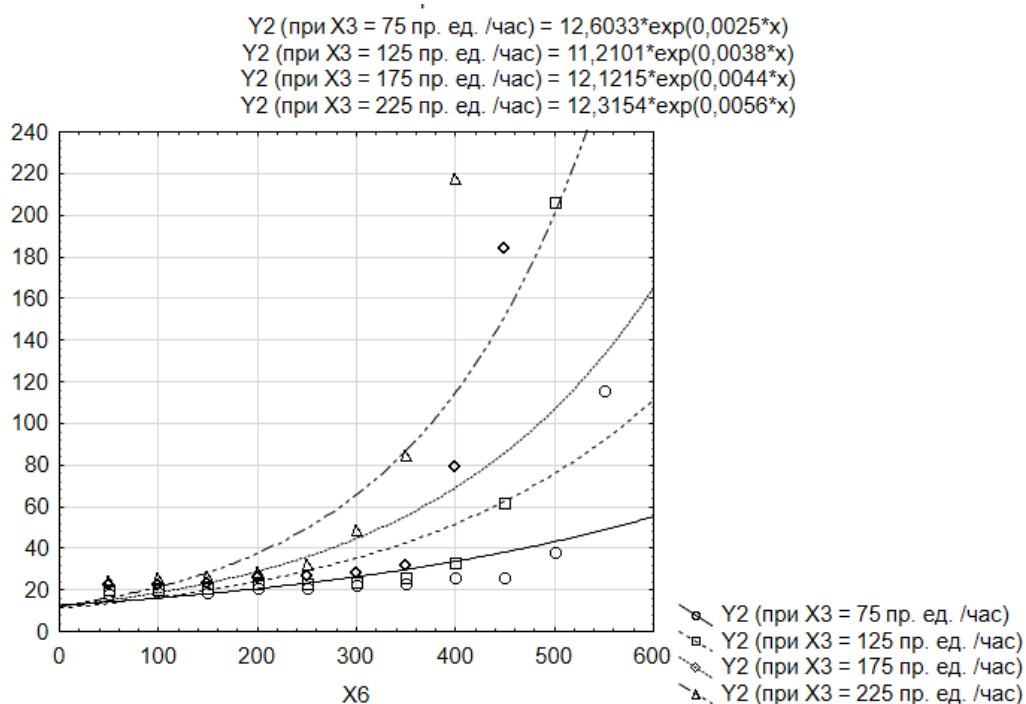


Рисунок В.6 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица В.7 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	12	13	14	14	15	15	15
100	13	13	14	14	15	16	16
150	13	13	14	14	16	17	17
200	14	15	15	15	17	17	19
250	14	15	15	16	18	18	20
300	15	15	16	17	19	20	22
350	15	16	17	18	19	21	22
400	16	17	18	20	21	27	31
450	17	18	19	21	23	28	38
500	17	18	19	23	31	39	47
550	19	21	23	29	67	104	174
600	23	27	52	77	123	176	280

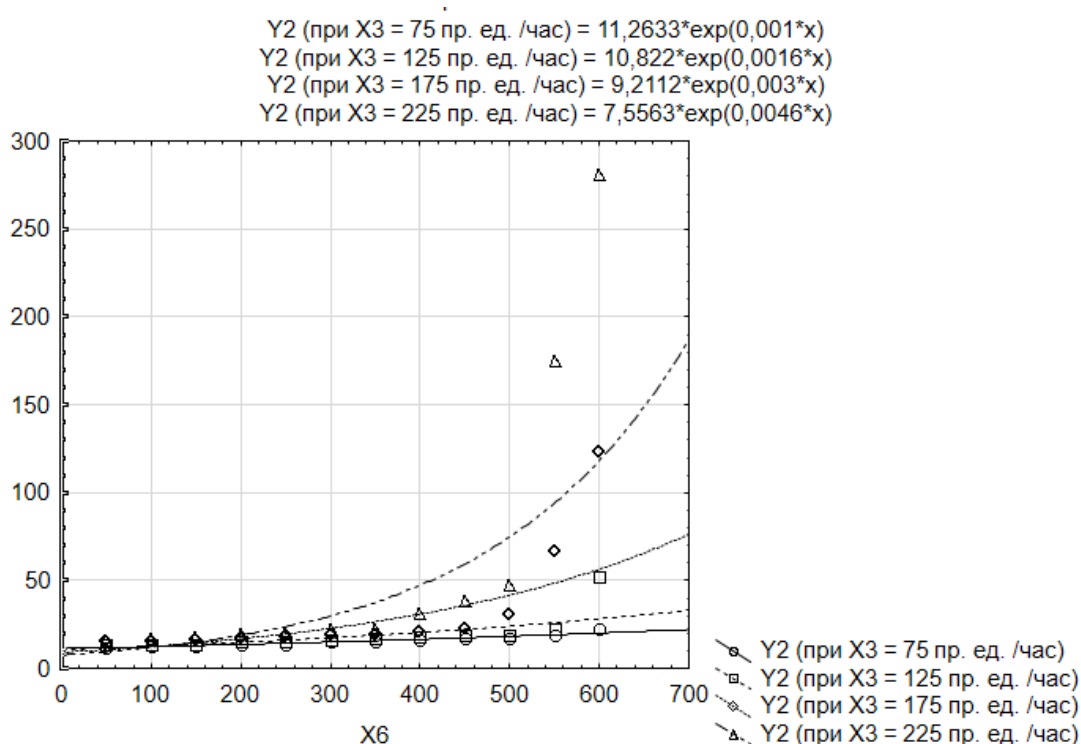


Рисунок В.7 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

Таблица В.8 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	8	8	9	9	9	9	10
100	8	9	9	9	9	9	10
150	8	9	9	9	10	10	11
200	9	9	9	10	10	10	11
250	9	9	9	10	10	10	13
300	9	9	10	10	11	11	13
350	10	10	10	10	11	11	13
400	10	10	11	11	12	12	15
450	11	11	11	12	12	12	16
500	11	11	12	12	13	13	17
550	12	12	13	14	17	17	17
600	14	14	15	16	18	18	28

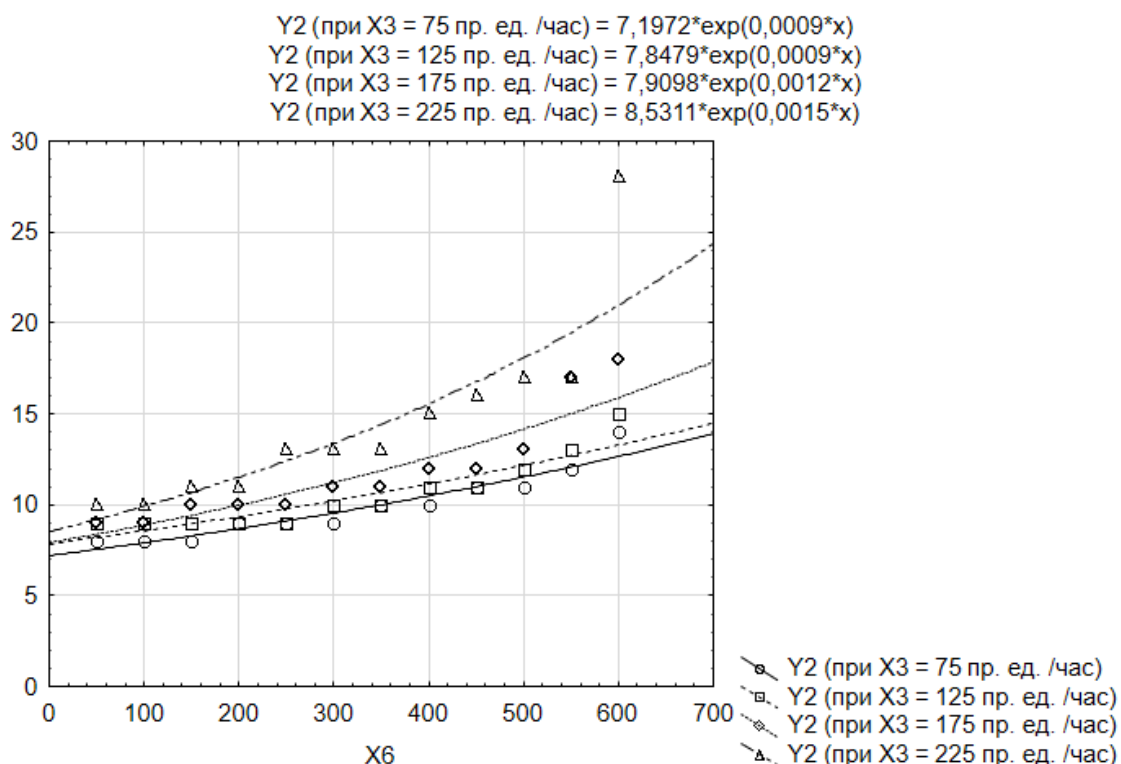


Рисунок В.8 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 50 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

Таблица В.9 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	$Y_2, с$						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	22	23	23	25	25	28	29
100	23	24	24	27	27	29	32
150	26	27	28	29	32	37	39
200	26	27	29	30	35	41	44
250	26	29	30	54	79	110	73
300	28	32	44	121	182	194	215
350	31	53	147	234			
400	73	149					
450	155						
500	237						

$$Y_2 \text{ (при } X_3 = 75 \text{ пр. ед. /час)} = 11,0949 \cdot \exp(0,0049 \cdot x)$$

$$Y_2 \text{ (при } X_3 = 125 \text{ пр. ед. /час)} = 13,7412 \cdot \exp(0,0049 \cdot x)$$

$$Y_2 \text{ (при } X_3 = 175 \text{ пр. ед. /час)} = 12,5276 \cdot \exp(0,0076 \cdot x)$$

$$Y_2 \text{ (при } X_3 = 225 \text{ пр. ед. /час)} = 15,3201 \cdot \exp(0,0072 \cdot x)$$

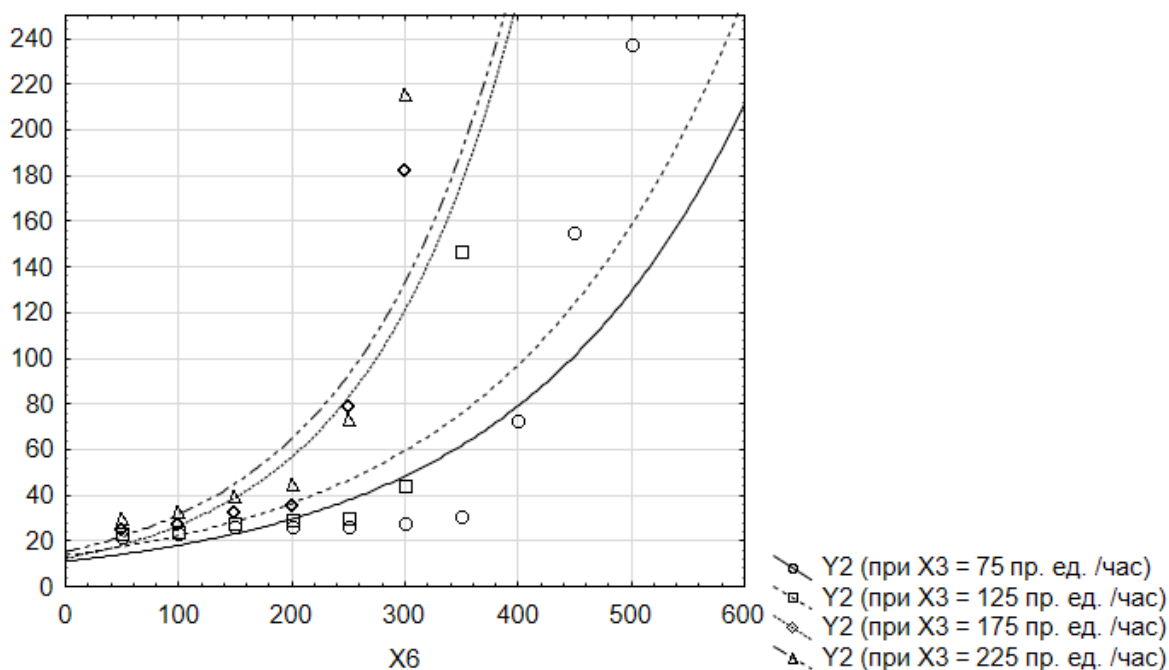


Рисунок В.9 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

Таблица В.10 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	16	16	16	17	18	19	19
100	17	17	17	18	19	20	21
150	19	19	20	20	22	23	25
200	19	20	21	21	22	24	26
250	19	20	21	22	23	25	28
300	20	21	22	23	26	28	37
350	22	23	24	26	29	42	93
400	23	24	25	36	51	115	158
450	24	27	40	86	186	233	
500	27	35	94	148			
550	43	121	199	260			
600	120						

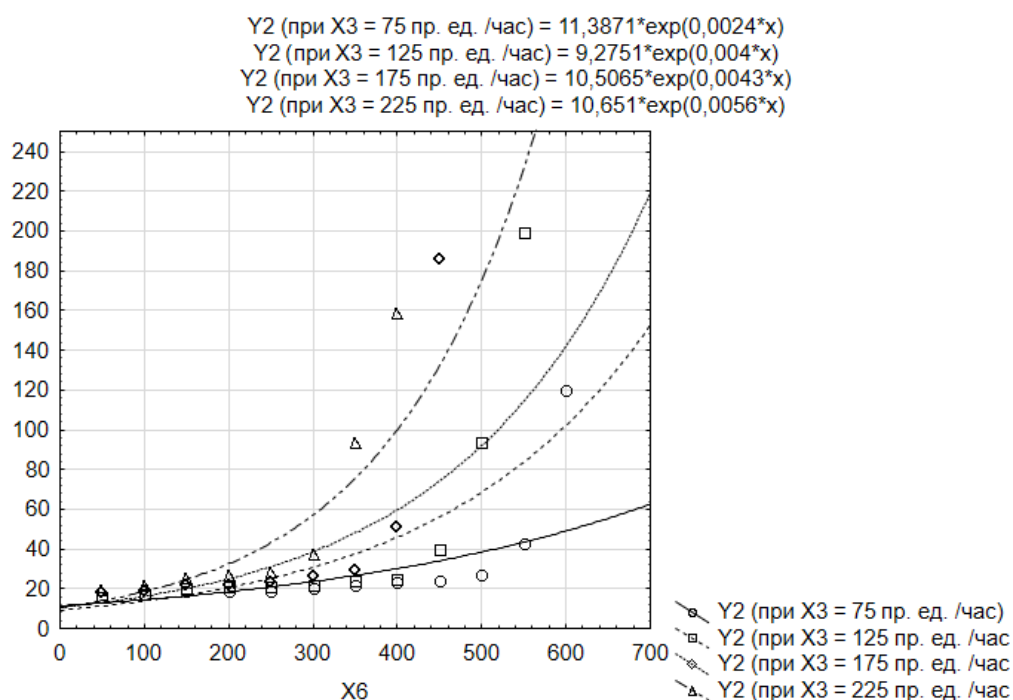


Рисунок В.10 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица В.11 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	10	11	11	11	12	12	12
100	11	11	12	12	12	13	14
150	14	14	13	13	14	15	16
200	14	14	14	14	15	16	17
250	14	14	14	14	15	16	18
300	14	14	15	15	16	17	19
350	15	16	16	16	18	20	22
400	16	16	17	17	19	22	23
450	17	17	18	18	21	23	28
500	19	20	20	22	25	29	64
550	20	21	22	29	36	105	163
600	20	21	30	32	87	143	
650	23	24	44	81	141		
700	25	50	111	164			

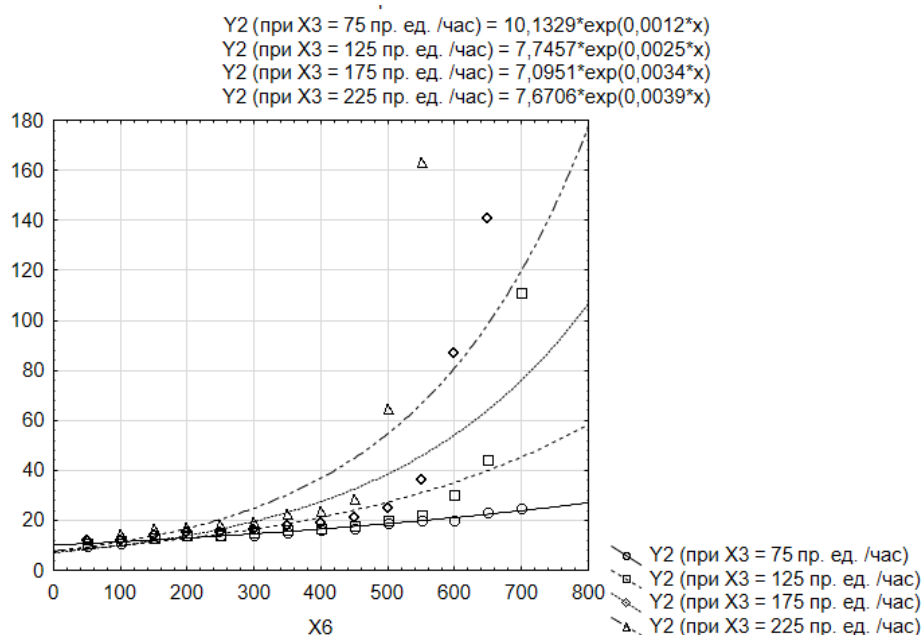


Рисунок В.11 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

Таблица В.12 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	10	11	11	11	12	12	12
100	11	11	12	12	12	13	14
150	14	14	13	13	14	15	16
200	14	14	14	14	15	16	17
250	14	14	14	14	15	16	18
300	14	14	15	15	16	17	19
350	15	16	16	16	18	20	22
400	16	16	17	17	19	22	23
450	17	17	18	18	21	23	28
500	19	20	20	22	25	29	64
550	20	21	22	29	36	105	163
600	20	21	30	32	87	143	
650	23	24	44	81	141		
700	25	50	111	164			

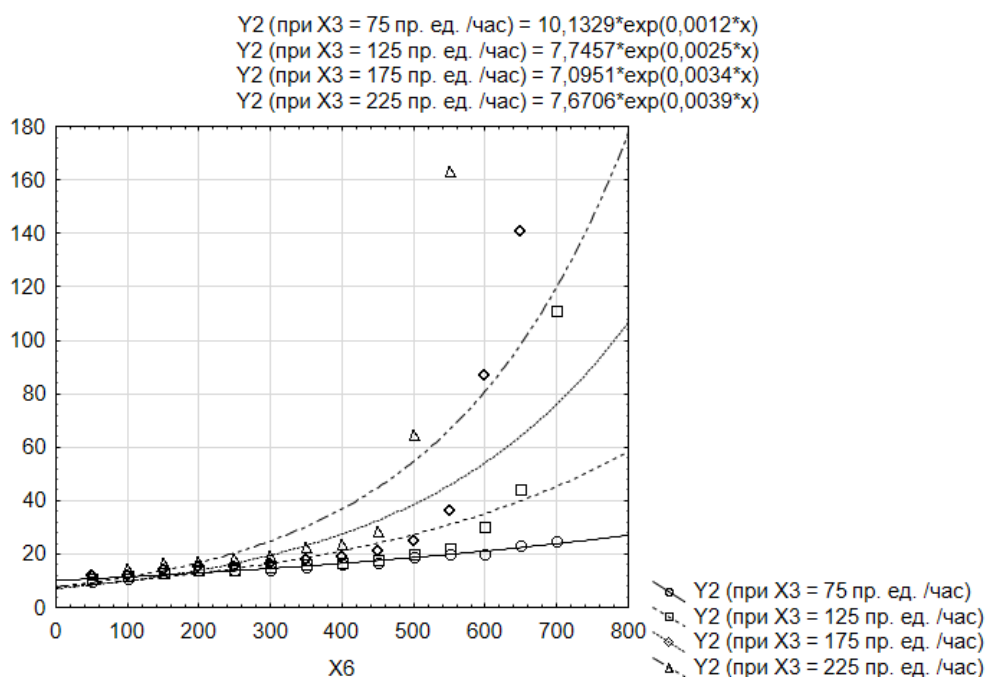


Рисунок В.12 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 60 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

Таблица В.13 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	22	23	23	24	25	26	26
100	23	24	24	25	27	27	31
150	25	26	27	28	30	37	42
200	26	27	28	31	36	55	54
250	27	28	29	46	100	126	161
300	29	32	48	125	234	255	269
350	33	50	123	263			
400	73	144					
450	123						
500	211						

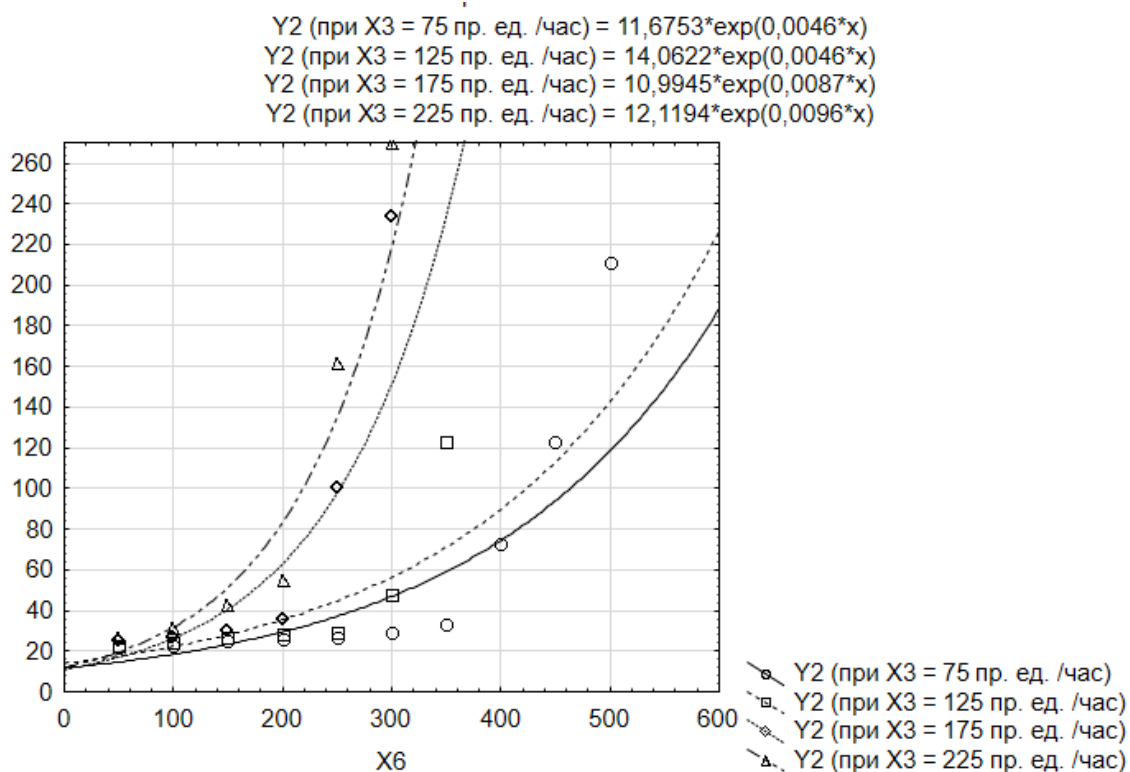


Рисунок В.13 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 60/96 (X_5)

Таблица В.14 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	16	16	16	16	17	18	18
100	17	17	17	17	18	19	20
150	19	19	19	19	21	22	23
200	20	20	20	20	22	23	25
250	20	20	20	21	22	25	29
300	21	21	22	22	24	34	49
350	22	22	23	24	29	49	128
400	23	23	25	42	113	168	224
450	25	26	39	86	172		
500	32	54	112	178			
550	86	130	201				
600	139						

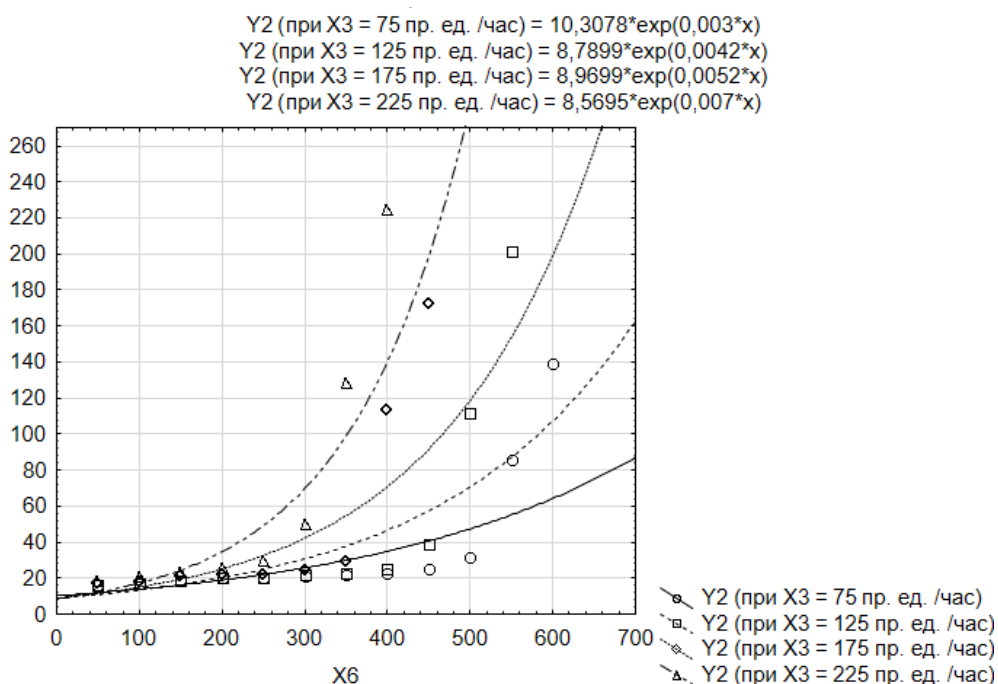


Рисунок В.14 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 50/96 (X_5)

Таблица В.15 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	11	11	11	11	11	11	11
100	11	11	12	12	12	12	13
150	13	14	14	14	14	14	15
200	14	14	14	14	14	15	16
250	14	14	14	14	15	16	17
300	14	15	15	15	15	17	18
350	15	15	16	16	17	19	22
400	16	16	16	17	18	20	23
450	17	18	18	18	20	23	29
500	19	20	20	21	24	56	54
550	20	21	22	28	53	102	149
600	21	23	23	40	85	155	188

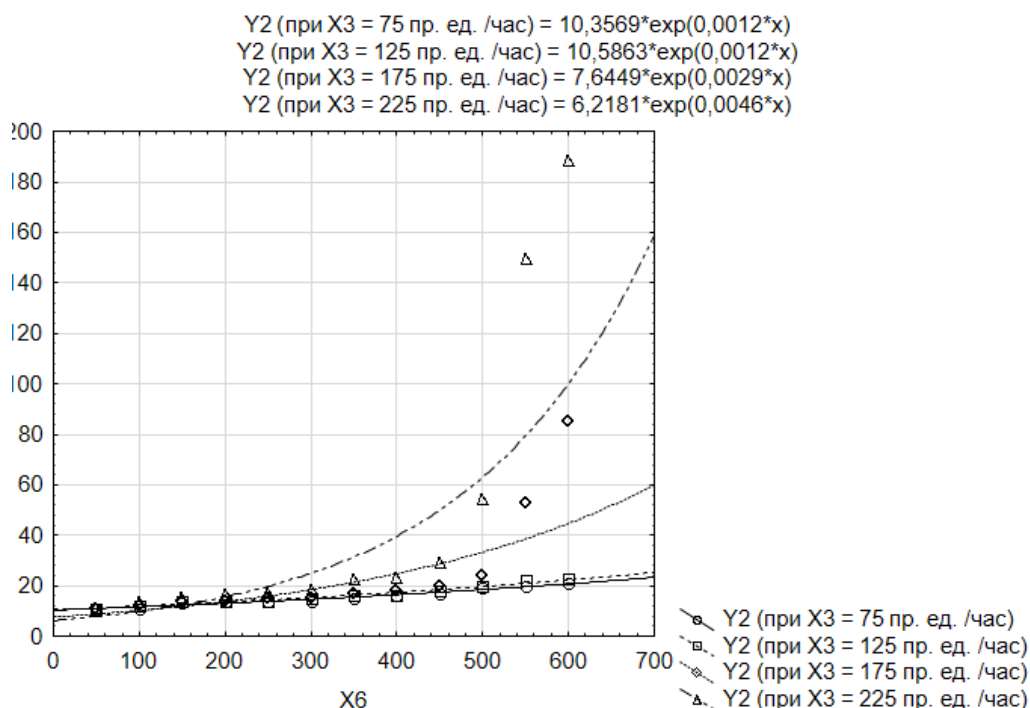


Рисунок В.15 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 40/96 (X_5) (X_5)

Таблица В.16 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

X_6 , пр. ед./ час	Y_2 , с						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
50	7	7	7	7	7	7	7
100	7	7	7	7	8	8	8
150	8	7	7	7	9	9	9
200	8	8	8	8	9	9	9
250	9	8	8	8	9	9	10
300	9	9	9	9	9	9	10
350	10	10	10	10	10	10	11
400	10	10	10	10	11	11	12
450	11	11	11	11	12	12	14
500	12	13	13	13	14	15	15
550	13	13	14	14	15	16	18
600	13	13	14	14	16	16	21

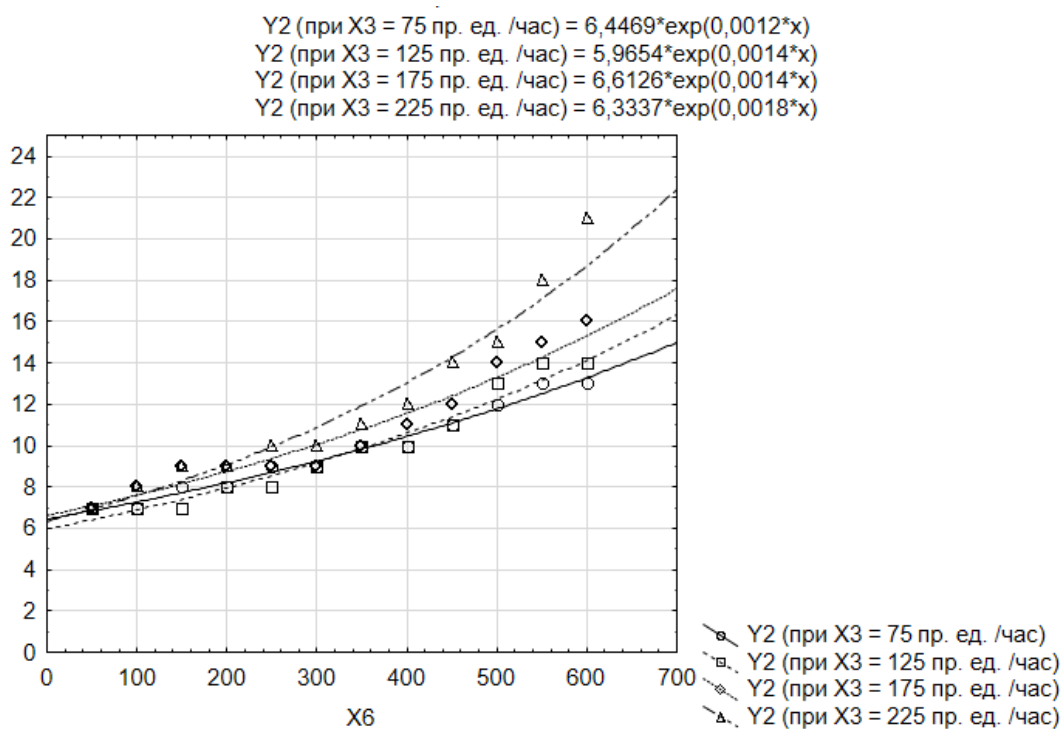


Рисунок В.16 – Влияние интенсивности дорожного движения по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 70 м (X_4) и эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению 30/96 (X_5)

Таблица В.17 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
60/96	25	25	27	28	29	30	31
50/96	18	18	19	20	20	22	22
40/96	12	12	13	13	14	14	15
30/96	12	12	13	13	14	14	15

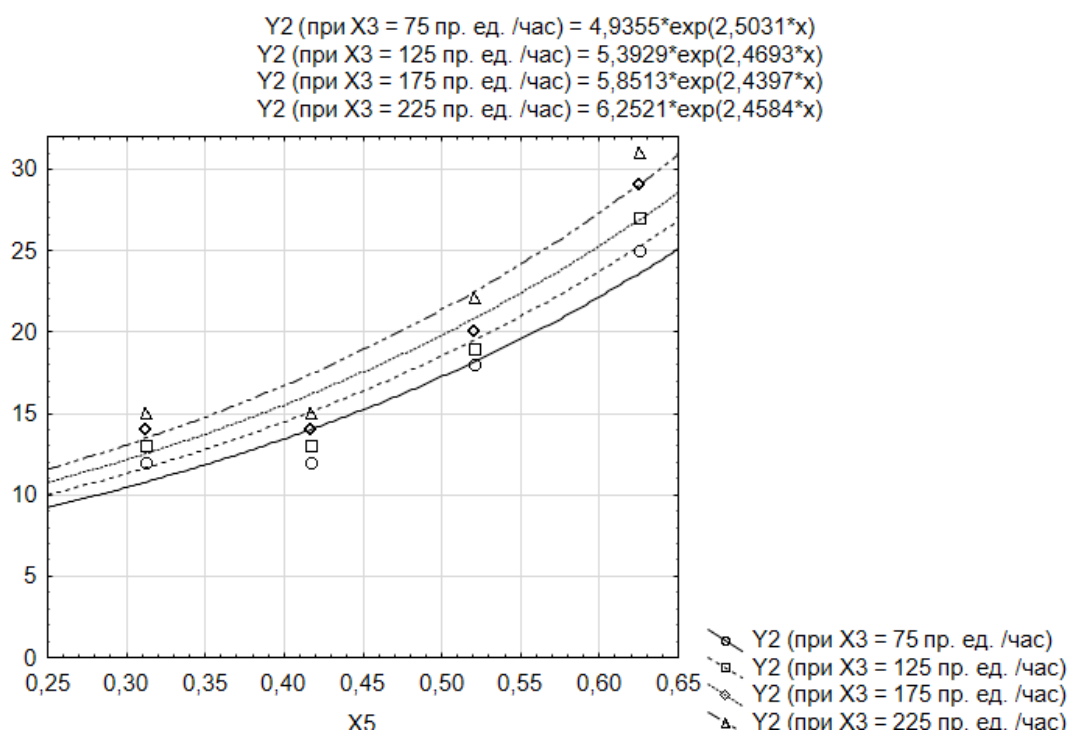


Рисунок В.17 — Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

Таблица В.18 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 40 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
60/96	27	31	33	44	56	62	64
50/96	21	22	23	26	28	37	38
40/96	15	15	15	16	18	19	20
30/96	15	15	15	16	18	19	20

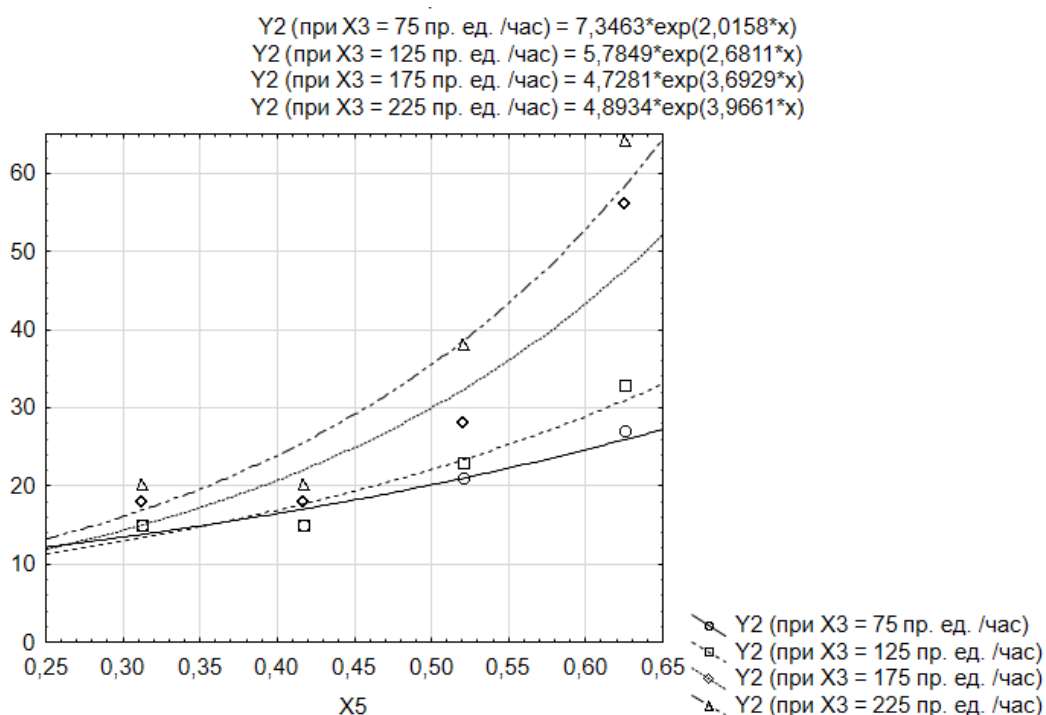


Рисунок В.18 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 40 м (X_4) интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

Таблица В.19 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 50 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 100, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 125, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 150, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 175, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 200, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 225, \text{ пр. ед./ час}$
60/96	26	26	27	30	31	32	34
50/96	19	19	20	21	22	24	25
40/96	13	13	14	14	15	16	16
30/96	8	9	9	9	9	9	10

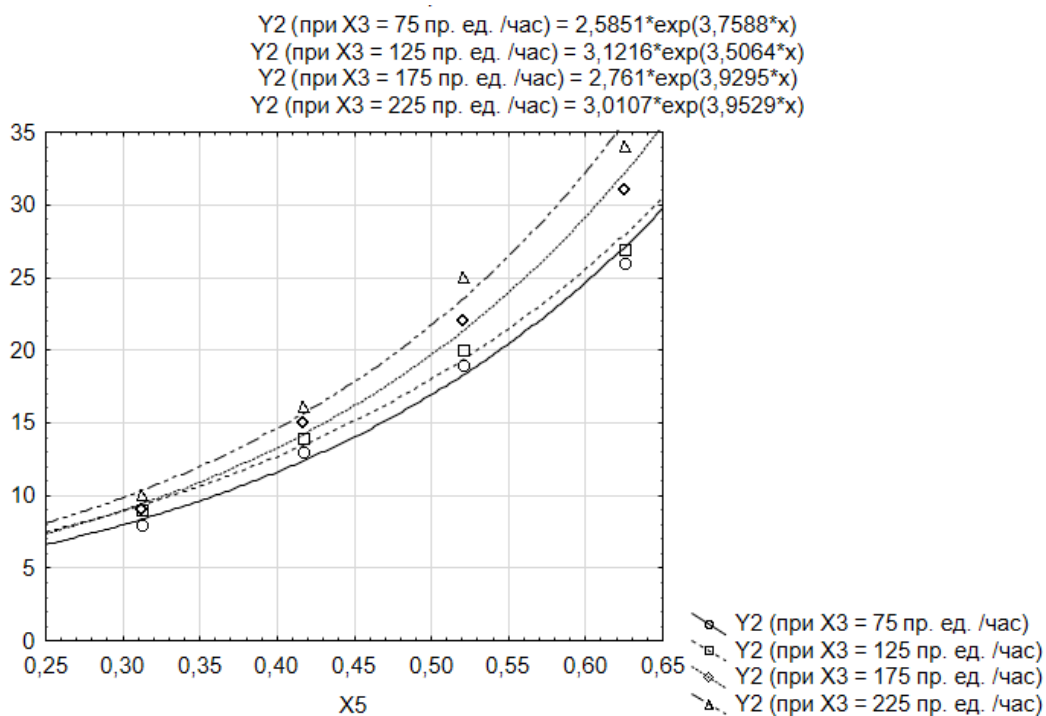


Рисунок В.19 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения кольца, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 50 м (X_4) интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

Таблица В.20 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 50 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 100, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 125, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 150, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 175, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 200, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 225, \text{ пр. ед./ час}$
60/96	28	30	32	35	41	49	77
50/96	22	23	24	26	28	32	48
40/96	15	15	16	17	19	20	22
30/96	9	9	10	10	11	11	13

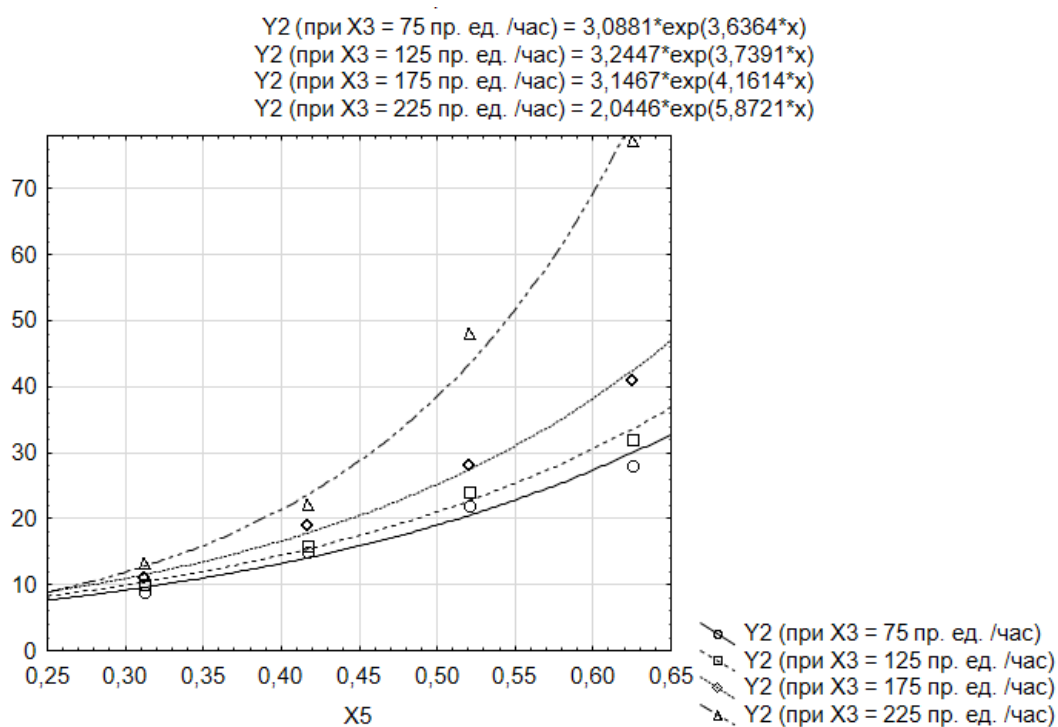


Рисунок В.20 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 50 м (X_4) интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

Таблица В.21 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 60 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75$, пр. ед./ час	$X_3 = 100$, пр. ед./ час	$X_3 = 125$, пр. ед./ час	$X_3 = 150$, пр. ед./ час	$X_3 = 175$, пр. ед./ час	$X_3 = 200$, пр. ед./ час	$X_3 = 225$, пр. ед./ час
60/96	23	24	24	27	27	29	32
50/96	17	17	17	18	19	20	21
40/96	11	11	12	12	12	13	14
30/96	11	11	12	12	12	13	14

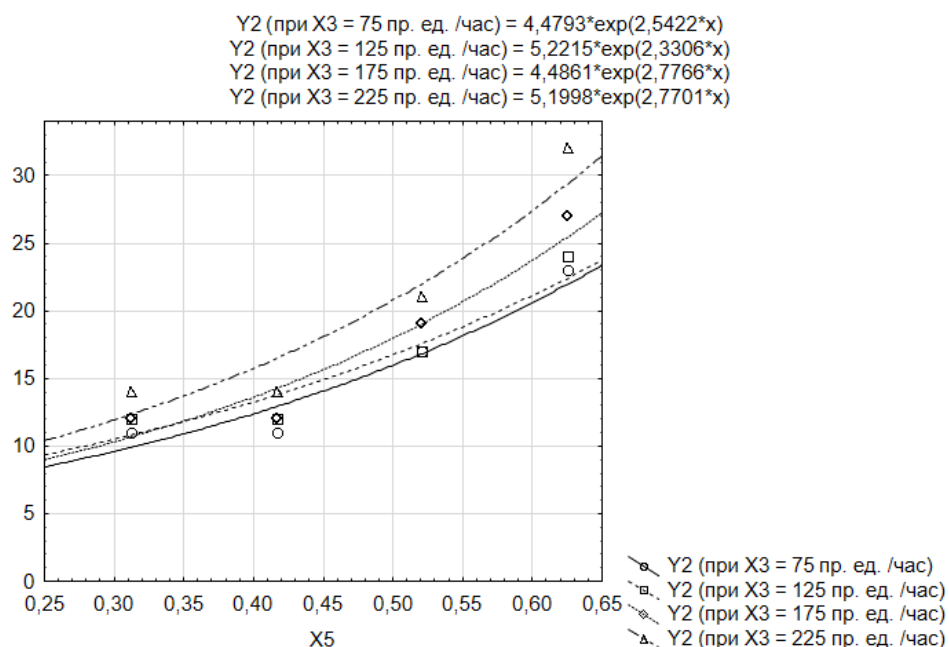


Рисунок В.21 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 60 м (X_4) интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

Таблица В.22 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 60 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 100, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 125, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 150, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 175, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 200, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 225, \text{ пр. ед./ час}$
60/96	28	32	44	121	182	194	215
50/96	20	21	22	23	26	28	37
40/96	14	14	15	15	16	17	19
30/96	14	14	15	15	16	17	19

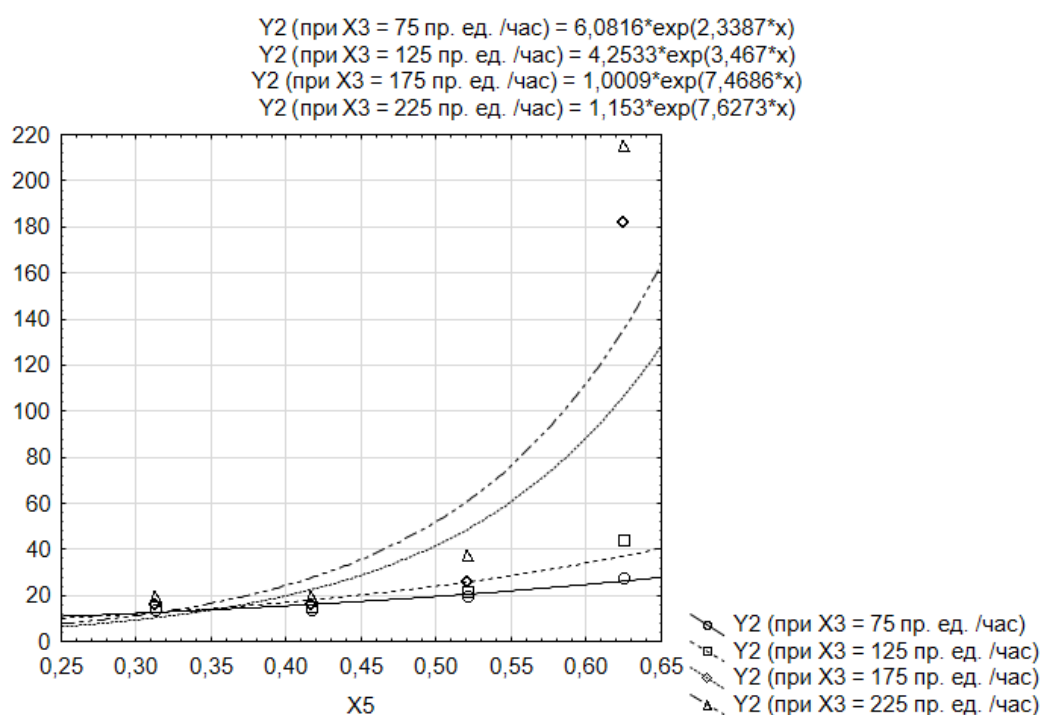


Рисунок В.22 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 60 м (X_4) интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

Таблица В.23 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 70 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 100, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 125, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 150, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 175, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 200, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 225, \text{ пр. ед./ час}$
60/96	23	24	24	25	27	27	31
50/96	17	17	17	17	18	19	20
40/96	11	11	12	12	12	12	13
30/96	7	7	7	7	8	8	8

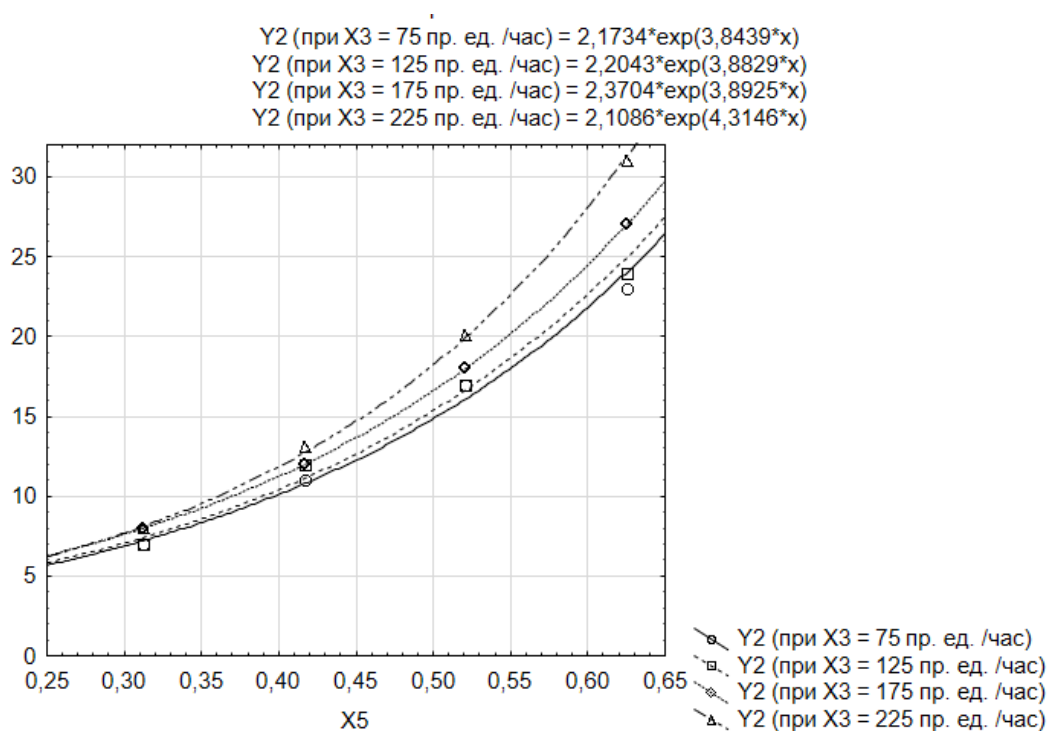


Рисунок В.23 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 70 м (X_4) интенсивности дорожного движения 100 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

Таблица В.24 – Значение транспортной задержки по второстепенному направлению (Y_2) в зависимости от эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) при диаметре островка 70 м (X_4) и интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу, (X_6)

X_5	Y_2, c						
	$X_3 = 75, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 100, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 125, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 150, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 175, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 200, \text{ пр. ед./ час}$	$X_3 = 225, \text{ пр. ед./ час}$
60/96	29	32	48	125	234	255	269
50/96	21	21	22	22	24	34	49
40/96	14	15	15	15	15	17	18
30/96	9	9	9	9	9	9	10

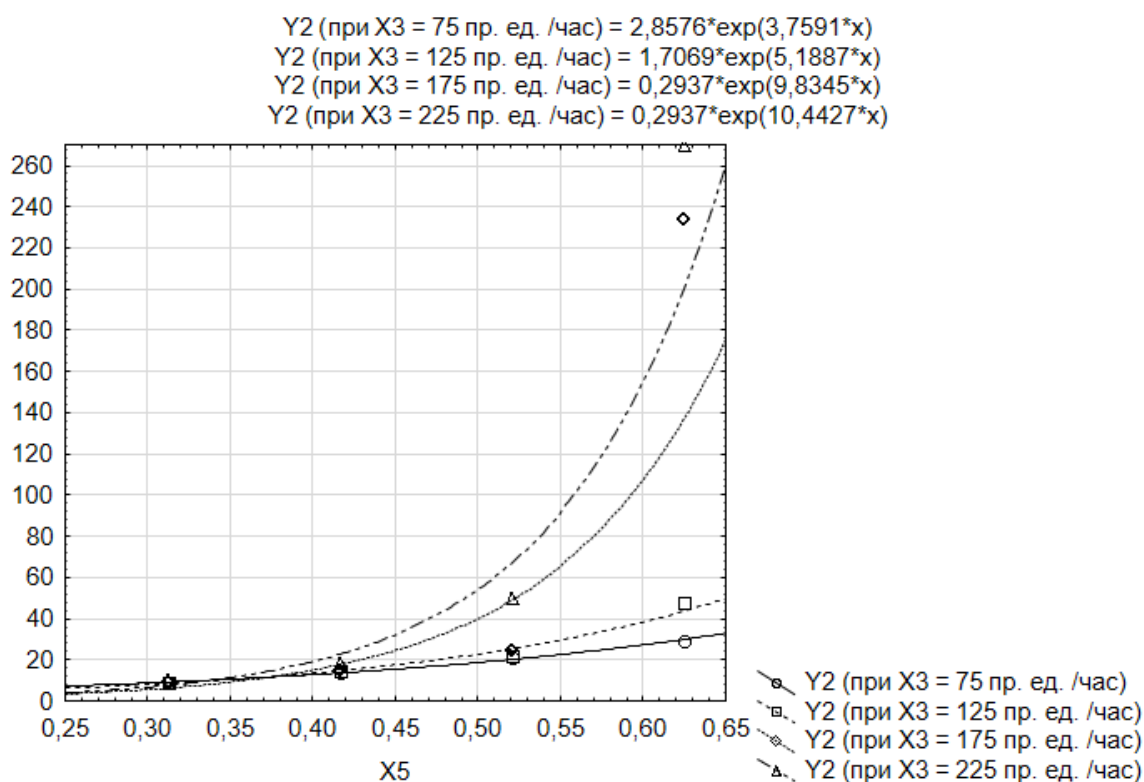


Рисунок В.24 – Влияние эффективной длительности цикла регулирования по основному направлению (X_5) и интенсивности дорожного движения по кольцу, приходящейся на одну полосу, (X_3) на транспортную задержку по второстепенному направлению (Y_2) при диаметре островка 70 м (X_4) интенсивности дорожного движения 300 пр. ед./ час по второстепенному направлению, приходящейся на одну полосу (X_6)

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор ФГБОУ ВО

ВолгГТУ, д.т.н., профессор

Кузьмин С. В.

« 09 » 2021 г.



АКТ

**о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы
Сильченкова Дмитрия Дмитриевича
«Технология организации дорожного движения на кольцевом
пересечении со светофорным регулированием и прорезанным
центральной островком» в учебный процесс**

Мы, нижеподписавшиеся, декан Факультета автомобильного транспорта к.т.н., доцент Ширяев С. А., и. о. заведующего кафедрой «Автомобильный транспорт» к.т.н. Санжапов Р. Р., к.т.н., доцент Ганзин С. В. составили настоящий акт о том, что научные результаты диссертационной работы Сильченкова Д. Д. «Технология организации дорожного движения на кольцевом пересечении со светофорным регулированием и прорезанным центральной островком», а именно:

- модель дорожного движения Центрального района г. Волгограда;
- методика обоснования параметров кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральной островком;

внедрены в учебный процесс кафедры «автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО ВолгГТУ в виде методического обеспечения дисциплин: «Моделирование дорожного движения» при подготовке студентов направления 23.03.01 – Технология транспортных процессов, профиль «Организация и безопасность движения» и «Автоматизированные системы управления дорожным движением» при подготовке студентов направления 23.04.01 – Технология транспортных процессов, профиль «Организация и безопасность движения».

Декан ФАТ, к.т.н., доцент

И. о. заведующего кафедрой АТ, к.т.н.

К.т.н., доцент

С. А. Ширяев

Р. Р. Санжапов

С. В. Ганзин



ООО «Иноватор - строитель»

Адрес: 400005, г. Волгоград, ул. им. Наумова, 9, офис 214
тел: 8(8442) 50 00 57; e-mail: innovator@list.ru; <http://инноватор-строитель.рф>
ИНН 3446023096, КПП 344401001, ОГРН 1073460003550
р/сч. 40702810519000000543 в МОСКОВСКИЙ ФИЛИАЛ "БАНК СГБ",
г. МОСКВА, к/сч. 30101810245250000094, БИК 044525094

Акт внедрения

результатов диссертационной работы Сильченкова Д. Д.
по теме «Технология организации дорожного движения на кольцевом пересечении со светофорным
регулированием и прорезанным центральным»,
представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук.

ООО «Иноватор – строитель» является одной из ведущей проектной и экспертной организацией в области организации, безопасности и моделирования дорожного движения, автотехнической, транспортно-трассологической экспертизы в г. Волгограде.

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационного исследования Сильченкова Д. Д. применяются в ООО «Иноватор – строитель» г. Волгоград при разработке проектов организации дорожного движения в рамках Федерального закона № 443-ФЗ от 29.12.2017 «Об организации дорожного движения в Российской Федерации».

Разработанная в диссертационном исследовании методика используется при выборе параметров кольцевых пересечений. Применение адаптированной методики расчета светофорного цикла позволяет уменьшить транспортные задержки на проектируемом кольцевом пересечении со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком.

Предложенная в диссертационном исследовании методика и рекомендации доказали свою практическую эффективность в решении задач повышения безопасности дорожного движения и снижения транспортных задержек и могут быть использованы в практике разработке проектов организации дорожного движения, моделировании дорожного движения, в том числе при разработке КСОДД.

С уважением,

Директор ООО «Иноватор-строитель»

к.т.н, доцент



Р. А. Жирков