

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный  
университет» (СПбГАСУ)

На правах рукописи

**Плотников Анатолий Михайлович**

**МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ  
НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ  
УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ  
МЕГАПОЛИСОВ**

Специальность 05.22.10 – эксплуатация автомобильного транспорта

**Диссертация**  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
д. т. н., профессор,  
**Кравченко Павел Александрович**

Санкт-Петербург – 2016

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ МЕГАПОЛИСОВ .....	22
1.1 Анализ состояния методического обеспечения проблемы безопасности дорожного движения (БДД) в системах автоматического управления (САУ) движением на регулируемых пересечениях (РП).....	22
1.2 Элементы системного совершенствования методического обеспечения проблемы БДД в системах автоматического управления ее уровнем .....	27
1.3 Разработка комбинированного метода управления движением в САУ на РП с использованием функциональных блок-схем подсистем контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспортных средств.....	35
1.4 Эффективность действующих алгоритмов управления светофорными циклами в САУ на регулируемых пересечениях .....	46
1.5 Эффективность потенциала совершенствования алгоритмов управления безопасностью дорожного движения в САУ на РП .....	61
Выводы по главе 1.....	68
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК МНОГОФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНО-ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ .....	70
2.1 Обоснование множества факторов, влияющих на транспортную эффективность движения транспортно-пешеходных потоков на РП, и методики ее оценки (без учета фактора безопасности движения (БД) на РП).....	70

2.2	Разработка механизма формирования конфликтной загрузки на РП и методики оценки уровня обеспечиваемой безопасности движения для различных схем организации движения (СОД), как основного фактора БДД .....	88
2.3.	Разработка эффективных методов диагностической и уточненной оценок безопасности движения транспортно-пешеходных потоков (ТПП) на РП .....	108
2.4.	Разработка методики оценки уровня требований к безопасности движения и пропускной способности для исследования эффективности управления в различных РП .....	111
	Выводы по главе 2.....	150
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ ОБОСНОВАНИЯ УРОВНЕЙ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ РП .....		152
3.1	Методика формирования требований к безопасности движения на РП и массив исходных данных для их обоснования .....	152
3.2	Методы обоснования уровня требований к безопасности движения (УТБД) на регулируемых пересечениях в САУ БДД.....	155
3.3	Классификационные исследования СОД с конфликтной загрузкой (КЗ) для решения частных задач по методам управления и уровням требований к обеспечению безопасности движения на РП .....	157
3.4	Разработка классификации моделей СОД с КЗ на различных РП по методам управления и уровням требований к безопасности движения .....	169
	Выводы к разделу 3.....	174
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ НА РП ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И УРОВНЯМ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ .....		176

4.1	Разработка комбинированного метода управления движением в различных вариантах разъезда транспортных потоков на РП с "просачиванием" и без "просачивания" на основе метода пофазного управления.....	176
4.2	Методика оценки транспортной эффективности комбинированного метода управления ТПП на РП с оценкой безопасности движения при "просачивании" транспортных потоков (ТП).....	183
4.3	Разработка методики расчета алгоритмов светофорной сигнализации в комбинированном методе на основе метода пофазного управления на РП с "просачиванием" ТП.....	188
4.4	Разработка методики расчета алгоритмов светофорной сигнализации в комбинированном методе на основе пофазного управления на РП без "просачивания" ТП.....	195
4.5	Разработка методики оценки эффективности СОД с КЗ и алгоритмов светофорной сигнализации для метода комбинированного управления движением на РП и основе метода движения по отдельным направлениям с "просачиванием" ТП.....	201
4.6	Разработка методики оценки эффективности СОД с КЗ и алгоритмов светофорной сигнализации для метода комбинированного управления движением на РП на основе метода движения по отдельным направлениям без "просачивания" ТП.....	210
	Выводы к разделу 4.....	215
<b>ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТПП НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ МЕГАПОЛИСОВ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИХ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НА ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ.....</b>		
5.1	Разработка технологии моделирования СОД с КЗ на тренажерном комплексе с помощью универсальных программ.....	216

5.2 Разработка методики экспериментальной оценки эффективности СОД с КЗ регулируемых пересечений на тренажерном комплексе .....	235
Выводы по главе 5.....	241
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	242
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	245
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	270
П.1 Методика оценки уровня требований к безопасности движения (УТБД) и пропускной способности (ПС) однополосных Х- образных РП по СОД с КЗ при различных методах пофазных разъездов ТПП .....	271
П.2 Методика оценки УТБД и ПС двухполосных Х-образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП.....	289
П.3 Методика оценки УТБД и ПС двухполосно-однополосных Х- образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП.....	332
П.4 Методика оценки УТБД и ПС двухполосных и трехполосных Т- образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП.....	361
П.5 Методика оценки УТБД и ПС трехполосных Х-образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП.....	406
П.6 Методика диагностической оценки УТБД неуправляемых светофорами Х- и Т-образных разнополосных пересечений по СОД с КЗ .....	456
П.7 Акты о реализации научных результатов .....	470

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Сегодня развитие технического обеспечения жизнедеятельности человека растет быстрее, чем окружающая его инфраструктура, а причинные опасности дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на улично-дорожных сетях (УДС) мегаполисов Российской Федерации (РФ) растут быстрее, чем способность им противостоять.

По статистической отчетности на УДС Российской Федерации в 2010 – 2015 годах в дорожно-транспортных происшествиях погибло соответственно – 26 567, 27 953, 27 991, 27 025, 26 963 и 23 000 чел. (на УДС мегаполиса Санкт-Петербурга – 397, 471, 445, 443, 412 и 354 чел.). В 2014 и 2015 годах на УДС мегаполиса Москвы погибли соответственно 888 и 673 Россиян. Потери людей в мегаполисах, городах и населенных пунктах составляют до 75 % от общего числа ДТП в РФ, из которых на регулируемые пересечения (РП) УДС приходится до 50 %. Поэтому в расчетном 2012 году на РП России погибло около 10 497 чел. (на РП мегаполиса Санкт-Петербург приходится около 22 % [1], что составляет – 98 чел.).

Целью утвержденной [188] Федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 годах» является сокращение к 2020 году смертности от ДТП на 8 тыс. человек (28,82%) по сравнению с 2012 годом, что составит не более 19,9 тысяч человек. Поэтому снижение числа ДТП с летальным исходом в местах концентрации ДТП, к которым, безусловно, относятся РП, является важной государственной проблемой.

Российское общество не удовлетворяет сегодняшний уровень эффективности государственной системы по обеспечению безопасности дорожного движения на улично-дорожных сетях, далее безопасности движения (БД). Оно все более настойчиво требует от государства незамедлительно освоить успешный зарубежный опыт решения проблемы обеспечения БД, непреодолимой все еще для нашей страны. В частности, речь может идти о весьма привлекательном опыте скандинавских стран.

Существенное снижение показателей смертности и травматизма в ДТП различных стран началось с внедрением в идеологию проектирования дорожной инфраструктуры ответственности ее разработчиков за качество проектов и их реализацию шведской концепции "нулевой смертности" (стратегии "нулевой цели" – Vision Zero) [6,12,14,16,133,153,164,176]. Ее сегодня перенимают многие страны мира. Она естественно полностью не исключает ДТП по причине всегда имеющих место человеческих ошибок. Поэтому в мировой практике наилучшей стратегией в проблеме минимизации тяжелых ДТП признаются меры, исключаящие, либо максимально снижающие влияние на их число "человеческого фактора".

Результаты внедрения шведской концепции "нулевой смертности" на дорогах в странах Европы феноменальны. Так, ее использование за последние 10 лет позволило в ряде этих стран дать рекордные снижения числа ДТП со смертельным исходом. Например, потери от ДТП в 2013 году снижены на порядок относительно прошлых лет: – в Финляндии до 254 чел., в Германии – до 3,0 тыс. чел., а в Швеции – до 0,5 тыс. чел. [6,12,14,16,133,176,164].

В Швеции социальный риск погибнуть от ДТП на дорогах составляет – 3 чел., в Великобритании – 3,7 чел., в Норвегии и Швейцарии – 4,3 чел., в Германии и Дании – 4,7 чел., в Финляндии – 5,1 чел., в Японии – 5,2 чел., в Испании – 5,4 чел., в Франции – 6,4 чел., в Канаде – 6,8 чел., в Италии – 7,2 чел., в США – 11,4 чел., в Украине – 13,5 чел., в Белоруссии – 14,4 чел., в Польше – 15 чел., в России – 18,6 чел., в Китае – 20,5 чел., в Венесуэле – 37,2 чел., в Таиланде – 38,1 чел., в Доминиканской Республике – 41,7 чел. на 100 тыс. населения. Поэтому шведская концепция признана на уровне правительств в большинстве Европейских стран. В России же она до сих пор не нашла применения. При этом не прижилась аналогичная норма ст.2 действующего Федерального закона "О безопасности дорожного движения" №196 от 1995г. [189] с нормой деятельности, направленной на предупреждение причин возникновения дорожно-транспортных происшествий, снижения тяжести их последствий,

По имеющейся статистике БДД на РП не обеспечивается, так как не хватает технических знаний и технологий, которые создает наука. Поскольку Федеральный Закон 1995 г. "О БДД" №196 говорит о предупреждении причин ДТП на УДС, то это требует разработки научных знаний о причинах 22 % -й аварийности на РП как факторов, влияющих на смертельные исходы в ДТП и вышедших за допустимые границы. К таким факторам относят многообразие: видов геометрии РП (Х-, Т-образные и др., с мало-, или многорядным (по полосам) движением); схем организации движения (СОД) транспортно-пешеходными потоками (ТПП), колебаний интенсивности движения ТПП; методов и алгоритмов светофорного управления пропускной способностью (ПС); технических средств организации БДД и т.д. Из всего перечисленного множества факторов практика показывает, что наибольшее влияние на обеспечиваемую безопасность движения (БД) в системах автоматического управления (САУ) движением, использующихся массово на РП в России, оказывают геометрия и виды РП с их СОД. Последние зависят от параметров дорожного движения, интенсивности, плотности, структуры ТПП, психологии водителей, пешеходов и т. п.

Чтобы предупредить причины ДТП со смертельным исходом на РП, связанные с перечисленными факторами, необходимо обоснование модели объекта исследования, т. е. классифицирования всего известного их многообразия – сжатие всей информации до объекта исследования СОД с используемыми в мировой практике методами светофорного управления.

Интеграция в СОД всех упомянутых параметров способна формировать вектор предупреждения негативных влияний от факторного множества причин на БД в САУ на РП [132,112,192,164,1,9,10,17,71]. Доминирующим негативным фактором ДТП в СОД на РП являются конфликты между ТПП, которые в литературе называют "конфликтными точками" (КТ). Практика использует следующие основные виды возникающих КТ между ТПП на РП: пересечение, слияние, отклонение и удары сзади, но без научного обоснования (моделирование, проектирование, прогнозирование, контроль и др.). Поэтому сегодня в практике не используется имеющийся информационный потенциал о видах, ко-

личестве и степени опасности КТ в СОД на РП. Научные знания об этом скрытом потенциале в КТ СОД позволяют рассматривать его в качестве ресурса повышения БД. При этом возможно создать механизмы наблюдения за ним (контроль и аудит), прогнозирования состояния с формированием базы данных, знаний и механизмов использования их в задачах предупреждения, прогнозирования, обеспечения требуемого уровня БД при организации управления БД в САУ на РП.

Практика показывает, что применяемые в России СОД на РП для оснащения САУ из 80-х годов XIX века с одноуровневым временным (светофорным) разделением ТПП часто создают опасные для жизни и здоровья граждан ситуации из-за наличия при разъездах на РП множества различных видов КТ, в том числе разъездах с "просачиванием", разрешенных Правилами ДД РФ. Прием удаления КТ на РП в передовых странах известен – он реализует "эстакадно-строительные" методы разделения ТПП в разных уровнях движения – для России перспективные, но очень затратные.

Решение задач обеспеченных новыми знаниями способными гарантировать качественную деятельность по организации БД на РП, вплоть до "нулевой смертности" дают возможность разработать на их основе совокупность частных методик, работающих на общую цель. А именно: – создание специализированной адресной "методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов", что и определяет практическую значимость решения проблемы, ее **актуальность** и научную новизну.

**Степень научной разработанности проблемы.** При исследовании различных аспектов в решении проблемы создания методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов проведен анализ ряда фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных работ. Большой научный и методологический интерес представляют труды по исследованиям транспортной эффективности с методами оценки максимальной пропускной способности на регулируемых пе-

ресечениях (перекрестках) без оценки безопасности движения в предположении соблюдения участниками движения правил дорожного движения. Таким исследованиям посвящены учебные материалы, монографии и статьи В.Ф. Бабкова, Г.И. Клинковштейна, М.Б. Афанасьева, В.И. Коноплянко, Ю.Д. Шелкова, Ю.А. Кременца, М.П. Печерского, В.В. Сильянова, В.Т. Капитанова, М.Г. Симуль, П.А. Кравченко, Е.М. Олещенко, В.В. Зырянова, С.В. Жанказиева, В.М. Курганова, А.Ю. Михайлова, Ю.А. А.П. Буслаева, Рябоконь, Д.С. Самойлова, Ю.А. Ставничего, В.А. Юдина, Л.В. Булавиной, М.С. Фишельсона, В.Г. Живоглядова, М.Р.Якимова, Ф. Вебстера, Т.М. Мэтсона, П. В Ханта, Л. Форда, Д. Фалкерсона, Ф. Буша, Д. Дрю [2-8, 15, 18-70, 72-88, 90-112, 114-120, 127-132, 139, 141, 166-169, 175, 179-183, 185-187, 190, 191, 193, 194, 197-198, 201 - 211] и многих др., где отмечается особая специфика не только инженерной, но и научной деятельности в области безопасности дорожного движения.

Установлены обобщенные исследования в отечественных отраслевых дорожных методических документах ОДМ 218.2.020–2012, ОДМ 218.6.003–2011, ОДМ 218.6.010–2013 [121, 123, 124], а также в зарубежных: американском руководстве HCM 2000 и немецком руководстве HBS 2001 и директивах RiLSA 2010, где дан анализ пропускной способности и уровня обслуживания пересечений автодорог со светофорным регулированием без оценки цифровых уровней безопасности движения.

Исследований транспортной эффективности методов управления светофорами на РП по опасности пересечений в зависимости от видов и численности конфликтных точек в литературных источниках незначительно. К таким исследованиям, использующим методы оценки уровней сложности регулируемых пересечений и оценки цифровых уровней безопасности движения на РП по опасности конфликтных точек в конфликтной загрузке посвящены работы Г. И. Клинковштейна, М. Б. Афанасьева, В. И. Коноплянко, Е. М. Лобанова, Ю.Д. Шелкова и др. На основе исследований Е. М. Лобанова разработан нормативный документ ВСН 25-86 (Приложение 2. оценка безопасности движения на пересечениях в одном уровне), который неоднократно переиздавался, но не из-

менился и действует сегодня в виде ОДМ 218.4.005–2010 [122, 170] (Раздел 6. Оценка безопасности движения на отдельных участках дорог). При этом метод Е. М. Лобанова для расчетов *степени опасности пересечения* через оценку *показателя безопасности движения* ( $K_a$ ) устарел. Метод зависит от количества происшествий на 10 млн автомобилей, прошедших через пересечение по статистике восьмидесятых годов прошлого века с интенсивность движения в СССР, поэтому он морально устарел. В методе Ю. Д. Шелкова (1995 г.) были сформированы теоретическая идея и задача математической зависимости для определения показателя конфликтной загрузки, т.е. оценки существующего состояния организации дорожного движения (ОДД) и прогнозирования ее после внедрения мероприятий по совершенствованию ОДД на магистралях улично-дорожной сети.

Однако, несмотря на значительный вклад ученых и практиков в решение проблемы, многие исследования, например, Ю.Д. Шелкова носят фрагментарный и дискуссионный характер, не обеспечивая целостного представления даже в пределах суммирования для слагаемых суммарной конфликтной загрузки (см. формулу  $R_{Шел}$  (2.32) [132], где не определены пределы изменений для ее переменных). Сегодня эти методы оценки состояния БД на РП УДС в РФ не применяются в транспортной инженерии, поэтому и не паспортизируются в паспортах технической документации на регулируемые перекрестки, оснащенные светофорами.

Зарубежные исследования оценок БД в СОД на РП с временным светофорным разделением движения ТПП в одном уровне не обнаружены.

С учетом ранее выполненных исследований отечественных и зарубежных ученых, а также на основе опыта и анализа статистических данных по ДТП в Санкт-Петербурге за период 2007 – 2013 гг. разработанная методология обладает существенной новизной, например, впервые дает инструмент решения:

– концептуального вопроса (понятийный уровень решения проблемы) классификационного анализа постановки и решения задач по традиционным

методам пофазного управления движением (далее **I**), управления движением по отдельным направлениям (далее **II**) и по комбинированному управлению движением (далее **III**);

– задач расчета обеспечения БД в САУ на РП методами диагностической и уточненной оценок БД в моделях схем организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ), использующих функциональные возможности блок-схем подсистем контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспортных средств (ТС) . При этом СОД с КЗ визуализируют конфликтную загрузку через конфликтные точки в ТПП.

В обобщенном виде блок-схемы ПКО формализованы и имеют привязку к географическим сторонам света в СОД с КЗ на РП: север - вход Б, юг - вход А, восток - вход В, запад - вход Г. Нумерация полос движения ТПП также имеет детерминированную формализованную привязку к буквенным обозначениям входов перекрестка: для пешеходных потоков 9а÷9г, – левых поворотов 10а÷10г, – движения прямо 11а÷11г, – правых поворотов 12а÷12г, – левых разворотов 10а'÷10г', – отклонений в транспортных потоках движения, например, в левых поворотах 10а"÷10г". Компьютерная графика формализованных моделей СОД с КЗ упрощает процесс их исследований в разнообразных конфликтных ситуациях на РП, работающих в САУ. В работе сформирован полный факторный массив (библиотеки) вариантов комбинаторных ситуаций на РП с наличием разных конфликтных точек (пересечений, слияний, отклонений) в традиционных **I**-м и **II**-м, а также в комбинированном **III**-м методах управления движением ТПП. Множество факторов удалось сжать и преобразовать в классификационный массив моделей СОД с КЗ для Х и Т-образных РП по методам управления (**I**, **II**, **III**) и уровням требований к безопасности движения. Классификация является основой для необходимых и достаточных научных исследований в разработке функциональных зависимостей (номограмм) оценок обеспечиваемой безопасности движения и циклов светофорного управления для ТПП от числа КТ в широком диапазоне факторных условий на РП.

**Цель исследования.** Разработка методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов, способной предупредить ДТП использованием методов снижения обоснованного числа конфликтных точек, и, как следствие, потенциала опасности перекрестков в пределе до нуля.

**Задачи исследования:**

– проанализировать методическое обеспечение задач оценки уровня безопасности движения на Х- и Т-образных РП улично-дорожных сетей мегаполисов и определить потенциал его совершенствования;

– разработать комбинированный метод управления движением на Х- и Т-образных РП улично-дорожных сетей мегаполисов, повышающий уровни БД в схемах организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) и приемы его реализации на практике, на базе действующих методов;

– разработать методы диагностической и уточненной оценки безопасности движения транспортно-пешеходных потоков в СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП;

– выполнить классификационные исследования СОД с КЗ для основных видов геометрии Х- и Т-образных РП по методам управления и уровню требований к обеспечению безопасности движения;

– разработать методику оценки уровней обеспечиваемой БД и пропускной способности для исследования и оценки эффективности разнополосных Х- и Т-образных РП по различным СОД с КЗ и видам маневрирования транспортных средств;

– разработать функциональные зависимости (номограммы) оценок БД и длительности циклов светофорного управления от числа конфликтных ситуаций в СОД с КЗ при различных методах управления для классов РП:

- однополосных Х-образных;
- двухполосных Х-образных;
- двухполосно-однополосных Х-образных;
- двух- и трехполосных Т-образных;

- трехполосных Х-образных и разнополосных Х- и Т-образных;
- разработать методику оценки уровней обеспечиваемой безопасности движения на разнополосных Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях (НП) по их различным СОД с КЗ и функциональную зависимость для диагностических оценок уровней обеспечиваемой БД на НП от числа конфликтных точек в СОД с КЗ;
- разработать методику имитационного моделирования задач оценки пропускной способности и безопасности движения различных СОД с КЗ для РП и полунатурный тренажерный комплекс регулируемого пересечения для моделирования.

Решение перечисленных задач в совокупности обеспечивает разработанную методологию.

**Объект исследования** – Х- и Т-образные одноуровневые регулируемые пересечения улично-дорожных сетей мегаполисов и других крупных городов РФ, оснащенные системами автоматического управления движением (САУ).

**Предмет исследования:**

- процессы управления целенаправленным изменением видов и числа конфликтных точек в схемах организации движения (СОД) с конфликтной загрузкой (КЗ) на УДС регулируемых пересечений при переменных интенсивностях движения транспортно-пешеходных потоков в факторном пространстве ограничений на топологию, численность полос движения, виды используемых дорожных знаков, разметки и пр.

**Методологическая основа:**

- комплекс теоретических и экспериментальных методов анализа свойств и потенциальных возможностей совершенствования сложных САУ на Х- и Т-образных регулируемых пересечениях в их СОД с КЗ по критерию БД (т. е. до "нулевой смертности") при допустимом уровне пропускной способности;
- системный анализ, теория вероятности, случайные процессы и математическая статистика, комбинаторная математика, теория алгоритмов, физическое

и натурное моделирование.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности 05.22.10 – "Эксплуатация автомобильного транспорта", п.7. "Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы".

**Научная новизна исследования** заключается в достижении следующих конкретных результатов:

1. Разработан новый комбинированный метод управления движением на Х- и Т-образных РП улично-дорожных сетей мегаполисов, повышающий уровни БД в схемах организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) и приемы его реализации на практике, на базе действующих методов, отличающийся тем, что разрабатываются СОД с КЗ на РП чувствительные к видам и численности конфликтных точек, а также к изменяющейся интенсивности движения транспортных потоков в этих КТ.

2. Разработаны новые методы диагностической и уточненной оценок безопасности движения транспортно-пешеходных потоков в СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП отличающиеся тем, что диагностический метод, используя информацию визуализации видов и численности конфликтных точек в СОД с КЗ, способен к применению в инвентаризации СОД с КЗ по оценкам уровней требований к безопасности движения (УТБД) на любых пересечениях, а уточненной -, использующий дополнительную информацию интенсивности движения ТПП в конфликтных точках. Последний необходим для паспортизации УТБД.

3. Впервые создана классификация СОД с КЗ для основных видов геометрии Х- и Т-образных РП по методам управления и уровню требований к обеспечению безопасности движения, обобщающая известные и инновационные методы управления светофорной сигнализацией с оценкой БД по нормативам значений границ действующих интервалов.

4. Разработана методика оценки уровней обеспечиваемой БД и пропускной способности для исследования и оценки эффективности разнополосных Х- и Т-

образных РП по различным СОД с КЗ и видам маневрирования транспортных средств, отличающаяся способностью определить (обосновать) функциональные зависимости (номограммы) оценок УТБД и длительности циклов светофорной сигнализации от числа и видов конфликтных ситуаций на РП.

5. Определены (впервые) функциональные зависимости (номограммы) оценок БД и длительности циклов светофорного управления от числа конфликтных ситуаций в СОД с КЗ при различных методах управления для классов РП: - однополосных Х-образных, - двухполосных Х-образных, - двухполосно-однополосных Х-образных, - двух- и трехполосных Т-образных, - трехполосных Х-образных и - разнополосных Х- и Т-образных, отличающиеся возможностью проведения сравнительного анализа эффективности известных и новых оценок УТБД в каждом классе устанавливаемого диапазона условий и данными статистики по ДТП.

6 Разработана методика оценки уровней обеспечиваемой безопасности движения на разнополосных Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях (НП) по их различным СОД с КЗ и функциональная зависимость для диагностических оценок уровней обеспечиваемой БД на НП от числа конфликтных точек в СОД с КЗ, отличающаяся тем, что используя диагностическую оценку УТБД можно инвентаризировать СОД с КЗ на любых Х- и Т-образных НП или на РП в нестандартных режимах отключения электропитания светофоров и желтого мигания "ЖМ", а также строить функциональные зависимости УТБД от числа конфликтных ситуаций на любых Х- и Т-образных НП в пределах возможного диапазона различных условий.

7. Разработаны методика имитационного моделирования задач оценки пропускной способности и безопасности движения различных СОД с КЗ для РП и полунатурный тренажерный комплекс регулируемого пересечения для моделирования, отличающиеся тем, что они обеспечивают сравнение оценок по пропускной способности для известных и комбинированных методов управления движением на РП.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов. В методологии доказана необходимость и возможность применения новых разработанных методов диагностической и уточненной оценок уровней требований к безопасности движения для Х- и Т-образных регулируемых пересечений, основанных на классификационных исследованиях традиционных и новых комбинированных методах управления движением по формализованным и визуализированным моделям СОД с КЗ на указанных РП. Предложенный теоретический аппарат полной группы постановки и решения задач разработки альтернативных по безопасности СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП методами комбинаторной математики в ситуациях разрешенных ПДД РФ движений ТПП имеет высокую значимость в научном обосновании необходимости совершенствования нормативной базы безопасности дорожного движения.

**Практическая значимость** диссертационного исследования определяется созданием эффективного методологического аппарата обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов. В нем разработанные теоретические и методические положения доведены до стадии, позволяющей их использование для:

- инвентаризации (оценки) безопасности движения (БД) на РП УДС мегаполисов и городских поселений с паспортизацией существующего обеспечения оценок БД на РП, а также диагностического выявления "генераторов" ДТП из числа работающих РП, по действующим нормативам БД;

- решения конкурсных процедур альтернативного проектирования и модернизации РП с допустимым уровнем БД через их действующие сегодня модели схем организации движения (СОД) с конфликтной загрузкой (КЗ) при использовании задач постановки и решения по вариантам разработанной полной группы классификационных моделей СОД с КЗ по методам управления и уровням требований к безопасности движения;

– внедрения инновационных процедур с методами комбинированного управления [15, 16] уровнями требований к безопасности движения (УТБД) в модели СОД с КЗ самых массовых РП с Х- и Т-образными видами пересечений улиц мегаполисов, использующих традиционные методы пофазного управления (I) и управления по отдельным направлениям (II) светофорной сигнализацией в системах автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД);

– расчета длительности циклов светофорной сигнализации и его элементов на РП по их графикам светофорной сигнализации при комбинированном управлении графоаналитическим способом;

**Методология и методы исследования.** Диссертационное исследование основано на применении общенаучных методов исследования: статистических, теории вероятностей, теории информации, комбинаторной математики, формализации, классификационных исследований, анализа на уровне отдельных конструктивных элементов (СОД с КЗ на РП, используемых в САУ), составления статистических и аналитических таблиц, компьютерной графики визуализации СОД с КЗ, ситуативного подхода, структурно-функционального анализа, полунатурного моделирования на тренажере регулируемого пересечения.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Новый комбинированный метод управления движением на Х- и Т-образных РП улично-дорожных сетей мегаполисов, повышающий уровни БД в схемах организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) и приемы его реализации на практике, на базе действующих методов.

2. Новые методы диагностической и уточненной оценок безопасности движения транспортно-пешеходных потоков в СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП.

3. Классификационные исследования СОД с КЗ для основных видов геометрии Х- и Т-образных РП по методам управления и уровню требований к обеспечению безопасности движения.

4. Методика оценки уровней обеспечиваемой БД и пропускной способности для исследования и оценки эффективности разнополосных Х- и Т-образных РП по различным СОД с КЗ и видам маневрирования транспортных средств.

5. Функциональные зависимости (номограммы) оценок БД и длительности циклов светофорного управления от числа конфликтных ситуаций в СОД с КЗ при различных методах управления для классов РП:

- однополосных Х-образных;
- двухполосных Х-образных;
- двухполосно-однополосных Х-образных;
- двух- и трехполосных Т-образных,
- трехполосных Х-образных и разнополосных Х- и Т-образных.

6. Методика оценки уровней обеспечиваемой безопасности движения на разнополосных Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях (НП) по их различным СОД с КЗ и функциональная зависимость для диагностических оценок уровней обеспечиваемой БД на НП от числа конфликтных точек в СОД с КЗ.

7. Методика имитационного моделирования задач оценки пропускной способности и безопасности движения различных СОД с КЗ для РП и полунатурный тренажерный комплекс регулируемого пересечения для моделирования.

**Информационно-эмпирической базой исследования** явились: результаты научных исследований ведущих отечественных, зарубежных институтов и ученых; нормативные зарубежные руководства; отечественные методические материалы и рекомендации; статистические и отчетные данные Федеральной службы государственной статистики РФ, материалы федеральных целевых программ "Повышения безопасности дорожного движения", статистика ДТП Управления ГИБДД ГУ МВД России по Санкт-Петербургу и Ленинградской области на РП Санкт-Петербурга за период с 2007 – 2012 годы, материалы монографических исследований, международных и отраслевых научно-практических конференций, информационные данные глобальной сети Интернет, сведения опубликованные в периодической печати, результаты имитаци-

онного моделирования процессов движения транспортно-пешеходных потоков на регулируемых пересечениях.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.22.10 – "Эксплуатация автомобильного транспорта ", п.7. "Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; поведение дорожно-транспортной экспертизы".

**Степень достоверности и апробация результатов** диссертационного исследования отражены в актах внедрения от государственных и коммерческих организаций на имя ученого совета по теме диссертационной работы, где даны перспективы распространения апробированного опыта Санкт-Петербурга на регулируемые пересечения УДС РФ.

Теоретические и практические результаты диссертационной работы использованы в научно-исследовательских работах "Анализ эффективности действующих схем организации движения на одноуровневых регулируемых перекрестках, оценке уровня безопасности дорожного движения на каждом из них и формирование предложений по его повышению для нужд Санкт-Петербурга" (Госконтракт КРТИ №НИР-29 от 10.09.2014 г.) и "Методология обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети мегаполисов в Российской Федерации" (договор с ОАО "НИИАТ" №18 от 20.06.2016 г. в рамках Госконтракта №14/5/1/01 от 30.07.2014 г.)

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и были одобрены на следующих национальных и международных конференциях. Международной научно-практической конференции, «Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса России» (24-27.09.1997 г./СПбГАСУ); целевой конференции «Технологии и эффективность систем управления обеспечением безопасности дорожного движения» (19-21.06.2008 г./СПбГАСУ); 8-й межд. научно-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (18-19.09.2008 г./СПбГАСУ); целевой конф. «Системы организации и управления

безопасностью движения (22-24.09. 2008 г./СПбГАСУ); специализированной целевой конф. Федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах» (7-9.09.2009 г./СПбГАСУ); 9-ой международной конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (23-24.09.2010 г./СПбГАСУ); втором Международном форуме «Транспортная инфраструктура России – инновационный путь развития». Транспорт Российской Федерации (02.11.2011 г./Москва гостиница «Риц Карлстон»); 10-й межд. научно-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: Ресурс и возможности» (20-22.09.2012 г./СПбГАСУ); международном симпозиуме «Как обеспечить устойчивое функционирование транспортных систем» (05.03. 2013 г./ Москва ОАО «НИИАТ»); международной конференции оборудования и технологий безопасности дорожного движения и дорожной инфраструктуры «Безопасные дороги/SafetyRoads» (17.04.2013 г./Москва, Гостиный Двор); 7-ой Российско-Германской конференции по безопасности дорожного движения (6-8 06.2014 г./СПбГАСУ); 11-й межд. научно-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: Ресурс и возможности» (18-20.09.2014 г./СПбГАСУ), 12-й межд. научно-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах" (28-30.09.2016 г./ СПбГАСУ) и др.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 36 работ, в том числе одна монографии, два учебных пособия, а в рецензируемых научных изданиях, размещенных на официальном сайте ВАК и приравненные к ним: – 9 статей, 3 патента на изобретения и 3 патента на полезные модели.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов к разделам, заключения, списка литературы и приложения из шести разделов. Она изложена на 269 страницах машинописного текста с приложением на 206 страницах, содержит 213 рисунков, 364 таблицы и 51 формулу, библиографический список включает 211 наименований.

# **ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ МЕГАПОЛИСОВ**

## **1.1 Анализ состояния методического обеспечения проблемы безопасности дорожного движения (БДД) в системах автоматического управления (САУ) движением на регулируемых пересечениях (РП)**

Анализ существующих методов обеспечения безопасности дорожного движения (т.е. БД) на регулируемых пересечениях в одном уровне с численной оценкой БД дал неутешительные результаты. С прошлого столетия этому направлению не уделялось должного внимания ни за рубежом, ни в России со стороны научного сообщества и практиков дорожной инженерии.

Обзор и изучение работ в отечественных источниках [2-5, 7-10, 12, 17-112, 114-117, 119-132, 139-141, 167-169, 172, 174-187, 190, 192-194, 196,197, 199, 205, 209] и зарубежных [1, 6, 14-16, 118, 133, 166, 171, 191, 198, 202, 203, 206, 208, 210] ученых посвященных исследованиям транспортной эффективности управления светофорами на РП без оценки БД и с оценкой БД дал неутешительные результаты в части комплексных подходов к решениям проблем в обеспечении безопасности движения на РП улично-дорожных сетей (УДС) мегаполисов.

Обнаружены лишь исследования транспортной эффективности с методами оценки максимальной пропускной способности без цифровой оценки безопасности движения в предположении соблюдения участниками движения Правил дорожного движения РФ на регулируемых пересечениях (перекрестках) в одном уровне. Таким исследованиям посвящены работы Ю. А. Кременца, М. П. Печерского, М. Б. Афанасьева, В. В. Сильянова, А. Ю. Михайлова, Д. С. Самойлова, В. А. Юдина, Л. В. Булавиной, М. С. Фишельсона, Ф. Вебстера, Т. М. Мэтсона, У. С. Смита, Ф. В Харта, Л. Форда, Д. Фалкерсона, Д. Дрю [87, 179, 110, 175, 7, 190, 210, 118, 191, 15]и многих др. Установлены обобщенные ис-

следования ученых и практиков в отечественных отраслевых дорожных методических документах ОДМ 218.6.003–2011, ОДМ 218.2.020–2012 [123, 121], а также в зарубежных: американском руководстве HCM 2000 [203] и немецких руководстве HBS 2001 и директивах RiLSA 2010, где дан анализ пропускной способности и уровня обслуживания пересечений автодорог со светофорным регулированием без оценки безопасности движения.

Исследований транспортной эффективности методов управления светофорами на РП по опасности пересечений в зависимости от видов и численности конфликтных точек в литературных источниках незначительно. К таким исследованиям, использующим методы оценки безопасности движения на РП по опасности конфликтных точек и конфликтной загрузки посвящены работы Г. И. Клинковштейна, М. Б. Афанасьева, В. И. Коноплянко, М. Б. Лобанова, Ю.Д. Шелкова [72, 74, 112, 132] и др. На основе исследований М. Б. Лобанова разработан нормативный документ ВСН 25-86 (Приложение 2. оценка безопасности движения на пересечениях в одном уровне), который неоднократно переиздавался, но не изменился по существу и действует сегодня в виде документа ОДМ 218.4.005–2010 [170] (Раздел 6. Оценка безопасности движения на отдельных участках дорог в 6.1. Пересечения автомобильных дорог в одном уровне).

В методическом пособии Организация дорожного движения в городах под редакцией канд. тех. наук Ю. Д. Шелкова (1995 г.) [132] были сформированы лишь теоретическая идея метода и задача математической зависимости с некорректной записью для математического определения показателя конфликтной загрузки, т.е. оценки существующего состояния организации дорожного движения (ОДД) и прогнозирования ее после внедрения мероприятий по совершенствованию ОДД на магистралях улично-дорожной сети, которая до настоящего времени не получила должного развития и экспериментальной проверки на практике в РФ. Идея метода Ю. Д. Шелкова в приложении к оценке конфликтной загрузки (т.е. оценки БД) для пересечений (регулируемых и нерегулируемых светофорами – РП и НП) в одном уровне заслуживает внимания своей простотой и ясностью постановки задачи. Поэтому она принята в на-

стоящих диссертационных исследованиях в качестве базовой и альтернативной для синтеза на ее основе новых авторских оценок диагностического и уточненного расчета цифровых оценок безопасности движения транспортно-пешеходных потоков (ТПП) на пересечениях в одном уровне УДС мегаполисов.

Известно [8], что за последний двадцатипятилетний период во всех странах, а в России особенно, резко произошел скачок в автомобилизации. Рост автомобилизации в РФ и его скачки проявляются сегодня в колебаниях интенсивности движения ТПП и особенно заметно в транспортных потоках (ТП) на РП и НП в широких пределах. А именно: – от 50 авт./ч до 1800 авт./ч в ТП с прямым движением и до 600 авт./ч в полосе(ах) с лево- и правоповоротными движениями. Такое положение для колебаний интенсивности движения в условиях улично-дорожных сетей городов и мегаполисов с исторически сложившейся застройкой привело к наглядной демонстрации причин застоя в технологиях совершенствования схем организации движения на Х- и Т-образных РП, являющихся одним из самых аварийных элементов УДС [16, 132, 112, 87, 175, 190, 139].

Сегодня стохастические колебания интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков на регулируемых пересечениях обнажили также и их особую опасность от неконтролируемых корреляционных изменений конфликтной загрузки (КЗ) в схемах организации движения (СОД) относительно действующих порогов [132, 112, 87, 154, 157, 164] в схемах конфликтов на РП. Превышение КЗ, например, в регламенте [132, 87] допустимости уровней интенсивности движения транспортных средств (ТС) для направлений с лево- и правоповоротным движением до 120 авт./ч и пешеходов до 900 чел./ч. ведет к увеличению числа ДТП с летальными исходами и тяжелыми увечьями на РП. При этом более 30 лет на РП в РФ используются традиционные методы в основном с двухфазным управлением и реже с управлением по отдельным направлениям, где число фаз более двух. Такой застой с методами управления в СОД с КЗ вносит свой вклад в кризис с безопасностью дорожного движения на РП в УДС мегаполисов РФ.

Перспективным направлением повышения БДД до требуемого уровня на РП в сегодняшних ситуациях стохастичности колебаний интенсивности движения ТПП является поиск и разработка инновационных методов управления в моделях СОД с КЗ, которые чувствительны к колебаниям интенсивности ТПП у границ их пороговой допустимости на разрешение проезда. При этом принятие решений на разрешение движения в схемах организации движения (СОД) с разнообразными по полосности движения Х- и Т-образных РП при возникающих конфликтах (конфликтных точках) в потоках "транспорт-транспорт" и "транспорт- пешеход" должны принимать системы автоматического управления (САУ) движением, которыми повсеместно оснащены РП на УДС в РФ. Формально считается (т. е. подразумевается), что все такие САУ движением на РП, циклически управляемые светофорной сигнализацией обеспечивают требуемую безопасность движения по действующему нормативу [170, 122], если водители транспортных средств (ТС) и пешеходы выполняют ПДД РФ [165].

Анализ существующей статистики аварийности на регулируемых пересечениях (перекрестках) УДС мегаполиса Санкт-Петербурга с их техническим состоянием в части методов управления светофорной сигнализацией, а также многолетний опыт работы в сфере организации дорожного движения в РФ и, в частности, в фирме "Siemens" позволяют автору диссертационного исследования [164] сделать вывод: – реальное управление безопасностью дорожного движения (БДД) в действующих функциональных моделях САУ вместо "подразумеваемого" можно организовать после оснащения их инновационными функциональными элементами подсистем контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта, т.е. перевести их в разряд САУ БДД. После такой модернизации, действующие САУ светофорной сигнализацией правомерно называть и исследовать их как системы автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД) на любом автономно действующем регулируемом пересечении улично-дорожной сети мегаполиса и поселения РФ.

При этом возникает проблема разработки методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях мегаполисов, оснащенных

САУ БДД с реальным контролем БД в моделях СОД с КЗ на Х - и Т - образных РП. Причем в зависимости от изменяющихся на РП интенсивностей ТПП в САУ БДД должны поддерживаться заданные уровни ДБ и целесообразная пропускная способность на РП. Для разрешения такой проблемы должны использоваться разные инновационные алгоритмы управления БД, подкрепленные методами инфраструктурного, технологического или программного обеспечения.

Разработка методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях мегаполисов с количественной оценкой уровня требований к безопасности движения (УТБД) на Х- и Т-образных РП по их моделям СОД с КЗ в современных условиях автомобилизации ставит для решения следующие научно-исследовательские задачи:

1. Разработка блок-схем функциональных элементов подсистем контроля (измерения) и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта для регулируемых пересечений с методами и алгоритмами обеспечения безопасности движения чувствительных к виду и числу конфликтных точек.

2. Разработка методов диагностической и уточненной оценки эффективности управления уровнями обеспечиваемой безопасности движения на РП.

3. Разработка методики проектирования моделей схем организации движения на Х- и Т-образных РП и классификации их по уровням конфликтной загрузки, реализуемым методам управления, нормативным уровням требований к безопасности движения и видам маневрирования транспортных средств.

4. Разработка методики оценки безопасности движения (БД) и пропускной способности разнополосных Х - и Т-образных РП по их моделям схем организации движения с конфликтной загрузкой при разных методах пофазных разъездов транспортных и пешеходных потоков.

5. Разработка методики оценки безопасности движения на разнополосных Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях (НП) по моделям схем их организации движения с конфликтной загрузкой.

6. Разработка методик оценки транспортной эффективности по безопасности движения и пропускной способности схем организации движения РП на

полунатурном тренажере РП и в полевых условиях функционирования 77 РП Санкт-Петербурга.

7. Разработка модели системного объединения совокупности частных методик "рождающей" методологию и доказывающей ее востребованность.

## **1.2 Элементы системного совершенствования методического обеспечения проблемы БДД в системах автоматического управления ее уровнем**

Процесс управления дорожным движением на регулируемых пересечениях (РП) представляет собой развернутое во времени целенаправленное воздействие на транспортные и пешеходные потоки. Он обеспечивает соответствие параметров их движения и уровня безопасности движения с требованиями действующей нормы ст.2 Федерального закона "О безопасности дорожного движения" № 196 – ФЗ 1995 г. [189] и правил дорожного движения РФ (ПДД РФ) [165].

Цель управления (регулирования) дорожным движением состоит в том, что, разрешая водителям и пешеходам выполнять те или иные действия (маневры), определенные ПДД РФ, принуждать их к соблюдению требуемых правил очередности проезда, а также скорости и безопасности движения.

Комплекс технических средств и совокупности людей, участвующих в процессах управления движением на РП, функционально сопрягаются в систему автоматического управления (САУ) транспортными и пешеходными потоками (ТП и ПП) способную обеспечить достижение общей цели. Поэтому в общем виде функциональная блок-схема САУ БДД (системы автоматического управления безопасностью дорожного движения) транспортных и пешеходных потоков для самых массовых одноуровневых РП с Х - и Т-образными видами пересечений дорог (улиц), представлена на рисунке 1.1. Она способна реализовать различные методы и режимы управления, как традиционные [132, 87, 88] с пофазным управлением и управлением по отдельным направлениям, так и инновационным [84, 85, 136] (комбинированным) управлением в схемах организации движения (СОД) на РП. Комбинированное управление способно к са-

моорганизации и адаптации структурных СОД на РП в зависимости от интенсивности движения транспортно-пешеходных потоков (ТПП).

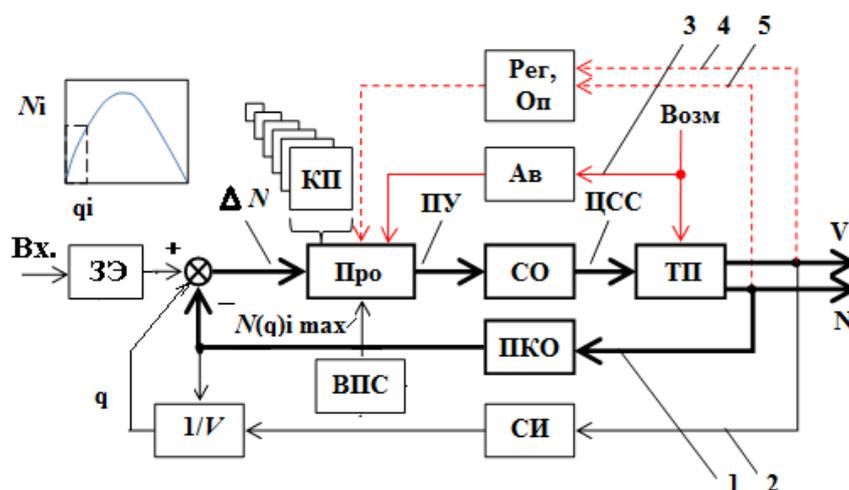


Рисунок 1.1 – Функциональная блок-схема САУ БДД транспортных и пешеходных потоков на РП: 3Э – задающий элемент исходных данных и программ КП; ВПС – вычислитель максимальной пропускной способности  $N(q)_{\max}$  в зависимости от плотности ( $q$ ) транспортного потока (ТП) на подходе к РП; Программатор (Про), определяющий программу управления светофорным объектом (СО); ПКО – подсистема контроля и оценки интенсивности движения транспорта; СИ – система измерения скорости ( $V$ ) ТП; Ав – блок ввода в программатор аварийной информации о возмущающих воздействиях (Возм) на ТП; КП – комплекс жестких программ управления СО по времени суток, дням недели, месяцам и т.п.; ПУ – конкретная программа управления СО; ЦСС – цикл светофорной сигнализации ( $T_{\text{ц}}$ );  $\Delta N$  – текущий резерв пропускной способности ( $z$ );  $1/V$  – блок вычисления текущей плотности ТП ( $q_i = N/V$ ); Рег – оператор-регулирующий (ручной резерв управления), Оп – оператор-сотрудник ДПС ГИБДД

Функциональная блок-схема САУ БДД наделена возможностями осуществлять на регулируемом пересечении (перекрестке) следующие алгоритмы:

- автоматический, непрерывный с жёстким слежением (детекторами транспорта) контроль за текущим значением интенсивности движения  $N_i$  по каналу обратной связи 1. Контроль ведет подсистема контроля и оценки интен-

сивности движения транспорта (блок ПКО) в целях соответствующей коррекции в программаторе (Про) программ управления светофорным объектом (СО), т.е. РП. По обратной связи канала 2 предусмотрен контроль скорости ( $V$ ) движения в транспортном потоке (блок ТП). Блок СИ обеспечивает определение текущего значения максимально возможной пропускной способности ( $z$ ) в зависимости от плотности ( $q$ ) ТП. Блок вычислитель максимальной пропускной способности (ВПС) служит для ввода граничных значений пропускной способности с максимально допустимыми интенсивностями движения  $N(q)_{\max}$  для ТП. Задающий элемент на входе (ЗЭ) необходим для ввода исходных данных и программирования вариантов программ календарной автоматики (блок КП);

- автоматический или автоматизированный выбор программ светофорной сигнализации (блок КП) через программатор (блок Про) с требуемыми методами адаптивного (по интенсивности ТП) или детерминированного (с календарной автоматикой) управления. При работе по календарной автоматике каналы с блоками ПРО и СИ используется в качестве информационных;

- автоматизированный аварийный (Ав) или инвариантный по возмущению режим управления – канал 3, делающий систему не чувствительной к возмущениям (Возм);

- ручной режим управления оператором (Рег, Оп) с органолептическим (не приборным) измерением интенсивности и скорости движения ТП и "ручным" же ситуативным выбором программы управления светофорным объектом – каналы 4, 5. Традиционно на РП улично-дорожных сетей РФ функционирование САУ БДД осуществляется детерминировано с циклическим управлением светофорной сигнализацией на РП и рассчитанной длительностью цикла регулирования на пиковые интенсивности движения ТПП. При этом предполагается, что уровень нормативной безопасности движения на регулируемых пересечениях (перекрестках) обеспечивается, если соблюдаются ПДД РФ.

В зависимости от степени централизации управления движением на улично-дорожных сетях (УДС) в мегаполисах различают два вида управления РП:

*локальное и системное.* При *локальном* управлении «хозяином» положения при переключении сигналов светофоров (или управляемых знаков) является дорожный контроллер (ДК), установленный на регулируемом перекрестке, при *системном* – ДК играет роль ретранслятора команд из управляемого пункта (УП) через каналы связи.

При временном обрыве каналов связи ДК может управлять РП *локально*. Оборудование, размещенное вне УП, называется периферийным (это светофоры, контроллеры, детекторы транспорта). Оборудование, размещенное на УП, включает средства вычислительной техники, диспетчерского управления, устройства телемеханики, связи и т. д.

По выполняемым функциям различают *локальные дорожные контроллеры* и *системные дорожные контроллеры*. Первые не имеют связи с УП, работают локально, вторые связаны с УП и способны реализовать как локальное, так и системное управление регулируемыми пересечениями в одном уровне, пешеходными переходами, управляемыми знаками и т. д.

При локальном ручном управлении сотрудник ДПС (дорожно-патрульной службы) для отслеживания движения транспортных и пешеходных потоков на регулируемом пересечении пользуется выносным пультом управления (ВПУ). При ручном системном управлении оператор находится в УП (управляющем диспетчерском пункте) и для управления пересечениями пользуется средствами телефонной связи, или отображения информации об РП (через дисплеи ЭВМ, мнемосхемы, светящиеся карты районов и улиц или через теленаблюдение).

Локальное управление применяется на отдельных регулируемых пересечениях. Смена светофорных сигналов на них осуществляется по индивидуальной программе независимо от условий движения на соседних РП, а прибытие транспорта к ним носит случайный (стохастический) характер (аналогично, например, подходу людей к станциям метро).

Программно-организованная смена светофорной сигнализации на группе РП с целью уменьшения времени движения транспортных средств (ТС) в пределах улицы или заданного района УДС, называется координированным сис-

темным управлением (например – управление по принципу "зеленой волны" – ЗВ).

Применительно к дорожному движению системы автоматизированного или автоматического управления им, как отмечалось выше, работают по определенным алгоритмам (программам ЭВМ), которые обеспечивают переработку информации о параметрах движения для определения временных режимов управления светофорами, воздействующими на транспортный поток. Технически алгоритм переключения светофоров ведется ДК по командам с УП системно или локально по набору собственных программ.

В сегодняшней России ДК, установленные на любом РП без дополнительного оснащения подсистемами контроля и оценки интенсивности движения транспорта (ПКО) с детекторами транспорта. Они кроме выполняемых ими автономных функций эквивалентных САУ, еще предположительно, как бы обременены и функциями обеспечения БД. Поэтому такое условное обеспечение БД на пересечениях улично-дорожной сети в местах, где встречаются взаимно конфликтующие транспортные и пешеходные потоки, является одной из важных проблем составляющих, например, в мегаполисе Санкт-Петербург ежегодно число ДТП на РП около 22 % от общего числа ДТП в городе (см. табл. 2.7).

Конфликтные ситуации возникают в связи с естественным желанием участников ТПП пересечь перекресток наиболее быстрым, хотя и не всегда безопасным способом. Простейшим решением упомянутой проблемы, возникающим спонтанно, является так называемое *саморегулирование* движения (без светофорного управления), при котором водители и пешеходы сознательно уступают друг другу право безопасного проезда и перехода перекрестка. Однако, проявление такой вежливости требует временных затрат и приводит к задержкам и заторам на пересечениях, а ее отсутствие – нередко сопровождается дорожно-транспортными происшествиями. До настоящего времени в РФ к наиболее дешевым и быстрым решениям у проектантов светофорных объектов (т. е. РП), обеспечивающим целесообразную пропускную способность, но без контроля (с оценочным расчетом) БД на РП, относятся традиционно известные ме-

тоды управления РП. Они разделяют конфликтующие ТПП во времени [87] при пофазном методе управления движением или при управлении движением по отдельным направлениям (рациональному, но редко применяемому) на РП. Для пофазного метода управления движением на РП известен методический материал расчета длительности цикла ( $T_{\text{ц}}$ ) светофорной сигнализации, который используется для расчета пропускной способности (ПС) на РП [132, 87, 7, 121,88, 70, 203, 210]. Для управления движением по отдельным направлениям на РП, методический материал расчета  $T_{\text{ц}}$  отсутствует, поэтому в диссертации разработан и впервые опубликован [164, 157] графоаналитический метод определения основных элементов цикла светофорной сигнализации  $T_{\text{ц}}$  (см. подразделы 4.8 и 4.10) на основе известных методик расчетов для пофазного управления движением.

Для реального управления уровнем БД и поддержания его заданного уровня в моделях САУ БДД автором разработаны методы оценочных расчетов конфликтной загрузки для РП через число конфликтных точек в их схемах организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ). При этом контроль и поддержание заданного уровня БД осуществляется, как без использования данных интенсивности движения ТПП – для диагностической оценки БД ( $R_{\text{пл.макс}}$ ), так и с учетом интенсивности движения ТПП – для расчета уточненной оценки БД ( $R_{\text{пл}}$ ), что целесообразно для паспортизации РП по параметрам безопасности движения. Методы универсальны в применении, как для СОД с КЗ на РП при традиционных методах управления светофорной сигнализацией, так и для инновационного комбинированного метода управления, созданного на базе традиционных методов управления.

Сложившаяся ситуация многолетней стабильности высоких показателей аварийности на РП в мегаполисе Санкт-Петербург и в РФ позволяет предположить, что цель управления дорожным движением на РП для разных слоев населения неизменна и такова:

- 1) для специалиста по организации движения – максимальное использование пропускной способности РП;
- 2) для сотрудников УГИБДД, главной целевой задачей управления на РП является минимизация числа ДТП;
- 3) для непосредственных участников движения на РП, в первую очередь важно время проезда и их безопасность движения.

Поэтому для выбора "Представительного" показателя следует иметь ввиду, что критерий эффективности, качественно выражающий уровень обслуживания, должен обладать следующими свойствами: – быть однозначным, оцениваемым в реальных условиях дорожного движения на РП и иметь стоимостное выражение.

На основании изложенного рекомендованы [164, 157] для правоприменительной практики критерии оценок безопасности движения в разрабатываемых на альтернативной основе моделей СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП вариативные градации диапазонов уровней БД в пределах действующих нормативно-правовых численных оценок [170, 122, 112]:

- 1) повышенный уровень требований к БД (ПУТБД) для СОД с КЗ с оценкой его диапазона численных значений 0–3 ед.;
- 2) промежуточный уровень требований к БД (ПрУТБД) с оценкой его диапазона численных значений  $> 3 \leq 8$  ед.;
- 3) допустимый уровень требований к БД (ДУТБД) с оценкой его диапазона численных значений  $> 8 \leq 12$  ед.
- 4) недопустимый уровень требований к БД (НУТБД) с оценкой его диапазона численных значений  $> 12$  ед.

Оценки рекомендованы вместо действующего сегодня показателя  $K_a$  [170, 122, 112, 111], характеризующего степень обеспечения безопасности движения на пересечении с четырьмя соответствующими нижеприведенными уровнями (диапазонами) опасности пересечения, которые не получили практического применения в Санкт-Петербурге и в РФ:

- 1) неопасное  $< 3$  ед.;
- 2) малоопасное 3,1–8,0 ед.;
- 3) опасное 8,1–12 ед.;
- 4) очень опасное  $> 12$  ед. Для него есть рекомендации. Чем меньше  $K_a$ ,

тем удачнее схема пересечения. На вновь проектируемых дорогах показатель безопасности на пересечениях в одном уровне не должен превышать 8, в противном случае должны быть разработаны более безопасные схемы пересечения.

Первоначальные решения классификационных задач (см. Приложения П.1–П.5) при разных методах управления безопасностью движения по параметру  $K_a$ , с методикой [170] (заимствованной у профессора Е. М. Лобанова [112]) дали для моделей СОД с КЗ на Х- и Т-образных двухполосных РП численные значения в диапазоне от менее 1 ед. до менее 4,5 ед. Такие численные показатели следует отнести к искажающим истинное состояние дел с оценкой безопасности движения на РП в городах и населенных пунктах РФ.

Неадекватное отражение действительности с оценкой БД на РП через показатель  $K_a$  в сегодняшних условиях резкой автомобилизации РФ стало толчком к проведению сравнительного анализа ее с другим методом оценки уровней БД на РП. Например, с методом оценки суммарной конфликтной загрузки, который отражает БД в моделях СОД с КЗ ( $R_{Шел}$ ) на РП и рекомендован (НИЦ ГАИ МВД России), [17]. Он, для тех же исходных параметров геометрии РП и интенсивностей ТПП дал значения конфликтных загрузок  $R_{Шел}$  – диаметрально противоположные высокие численные значения. То есть – уровни конфликтной загрузки  $R_{Шел}$  на РП при тех же исходных параметрах и интенсивности ТПП лежат в пределах от 11,5 до 21 ед. Это для реальных длительностей циклов регулирования светофорной сигнализации от 40 до 110 с, также не отражает реальной картины с БД (см. приложение 2 рисунок П.2.31).

При этом сравнительный анализ оценки БД на РП, проведенный методами различных научных школ МАДИ и НИЦ ГАИ МВД России позволил сделать и положительный вывод, а именно: метод оценки БД через уровни конфликтной

загрузки  $R_{\text{Шел}}$  на РП через их модели СОД с КЗ более понятен и прост для практического применения. Поэтому он принят в диссертационных исследованиях в качестве базового в разработке авторских методов оценки уровней безопасности движения в моделях СОД с КЗ по их конфликтной загрузке  $R_{\text{Гл}}$ ,  $R_{\text{Глmax}}$ , с аналогичной размерностью  $R_{\text{Шел}}$  и  $K_a$ .

### **1.3 Разработка комбинированного метода управления движением в САУ на РП с использованием функциональных блок-схем подсистем контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспортных средств**

Для таких САУ движением ТПП на РП известны методы расчета [132, 112] уровней безопасности движения, основанные на определении и подсчете конфликтных точек при разъездах ТПП в пофазных СОД с КЗ по их видам и численности в маневрах: п – "пересечений", с – "слияний" и о – "отклонений". При этом определяются и используются данные интенсивностей движения транспортных средств (ТС) и пешеходов ( $N_{ij}$ ) по всем направлениям в фазах движения на РП, образующих САУ движением ТПП. Специалисты проектных организаций при проектировании РП, образующих САУ движением ТПП на них игнорируют действующие рекомендации [170, 122, 132, 112] по расчетам оценок безопасности движения (БД) через конфликтную загрузку ( $R_{\text{Шел}}$ ) и показатель опасности пересечений ( $K_a$ ). Поэтому, вместо аналитически рассчитанных уровней оценок БД в САУ движением ТПП на РП повсеместно предполагается, что обеспечение безопасности движения выполняется в условиях соблюдения Правил дорожного движения РФ на перекрестках. При этом главным критерием эффективности таких САУ движением ТПП, подлежащим расчету и контролю является только пропускная способность.

Типовой план Х-образного многополосного РП с техническими средствами организации движения (ТСОД), образующими САУ движения ТПП и гистограмма интенсивностей ТП на РП с пронумерованными направлениями движения транспортно-пешеходных потоков приведены на рисунках 1.2 и 1.3.

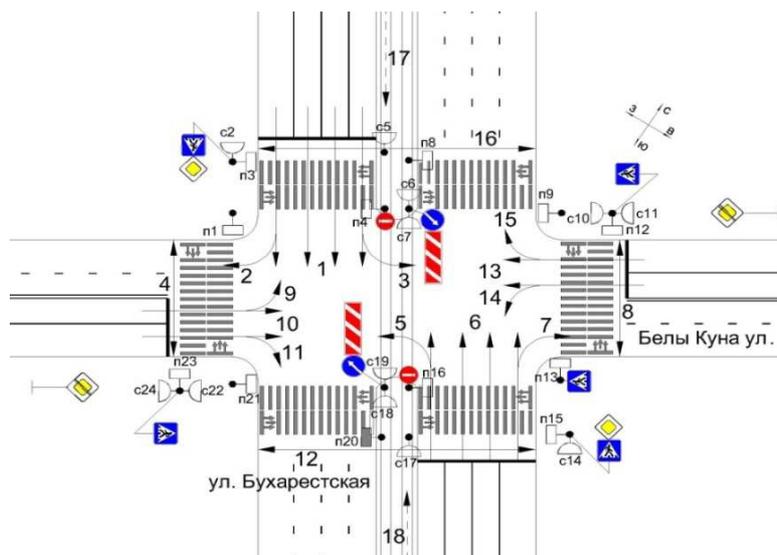


Рисунок 1.2 – План Х-образного многополосного РП с размещением ТСОД, образующими САУ движения ТПП:  $c2 \div c24$  и  $p1 \div p23$  – транспортные и пешеходные светофоры типа Т.1 и П.1 по ГОСТ Р 52282–2004; 4, 8, 12, 16 и 1 – 3, 5 – 7, 9 – 11, 13 – 15 – направления движения ПП и ТП с трамвайным движением – 17, 18; дорожные знаки и дорожная разметка – по ГОСТ Р 52290–2004 и ГОСТ Р 51256–99

Традиционно пропускная способность определяет транспортный потенциал САУ движением ТПП на РП через длительность цикла светофорного регулирования в пределах его допустимости (25 – 120 с) и терпеливых ожиданий водителей ( $\leq 120$  с) и пешеходов ( $\leq 40$  с). Транспортный потенциал представляет собой максимально возможную интенсивность движения при обеспечении допустимой безопасности дорожного движения на пересечениях с пассивно формируемым (действующим), либо целенаправленно повышаемым уровнем безопасности движения, как для транспортных (ТП), так и для пешеходных потоков (ПП).

При расчете длительности светофорного цикла регулирования ( $T_{\text{ц}}$ ) необходимо определять значения насыщения ТП, их качественный состав с пешеходными потоками, а, при необходимости и скорости движения транспортных потоков (ТП) и их задержки. В зарубежной практике определение пропускной способности РП несколько отличается от приведенного выше и определяется

как максимально устойчивая интенсивность движения, при которой транспортный или пешеходный поток пересекает определенное сечение дороги при конкретном режиме регулирования, геометрических особенностях пересечения и других специфических условиях движения [108].

Наличие трех или более выделенных полос движения для ТП на одной из пересекающихся улиц (дорог) пересечения и возможное использование на ней светофоров типа Т.1 или Т.1.пл с правыми и левыми дополнительными секциями по ГОСТ Р 52282–2004 [11], а по другой пересекающей улице наличие не менее двух полос движения ТП и светофоров принято далее относить к многополосным РП.

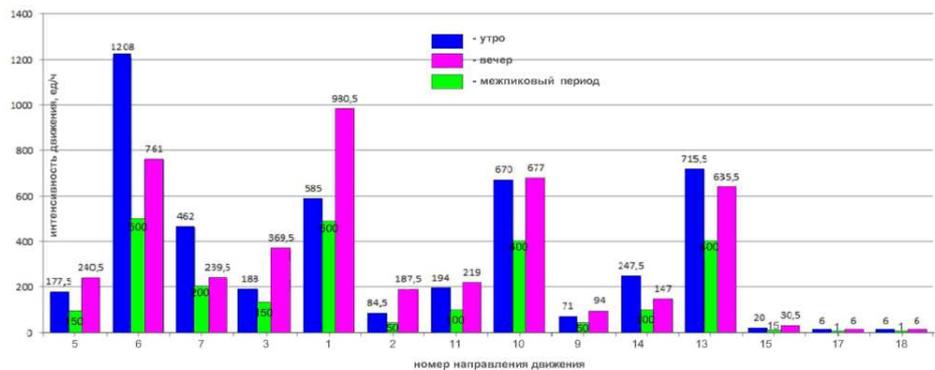


Рисунок 1.3 – Гистограмма интенсивностей ТП на регулируемом пересечении

Для оценки условий видимости на планах регулируемых пересечений размещают расположенные и тяготеющие к ним строения, зеленые насаждения и другие объекты, создающие помехи (торговые павильоны, остановки, и пр.).

Для оценки пропускной способности через длительность цикла ( $T_{\text{ц}}$ ) светофорной сигнализации и уровня БД, в случае его расчета через конфликтную загрузку ( $R_{\text{Шел}}$ ) или показатель опасности пересечений ( $K_a$ ) на регулируемых пересечениях всегда требуются обследования дорожно-транспортных условий.

Обследования используют визуальную оценку (использование имеющихся проектных материалов) условий видимости планировочных особенностей в парах "транспорт–транспорт" и "транспорт–пешеход" и разработку пофазных схем организации движения с их конфликтной загрузкой (СОД с КЗ).

Вид обобщенного многополосного плана Х-образного РП с планировочными особенностями и ТСОД, образующими САУ движения ТПП представлен на рисунке 1.4.

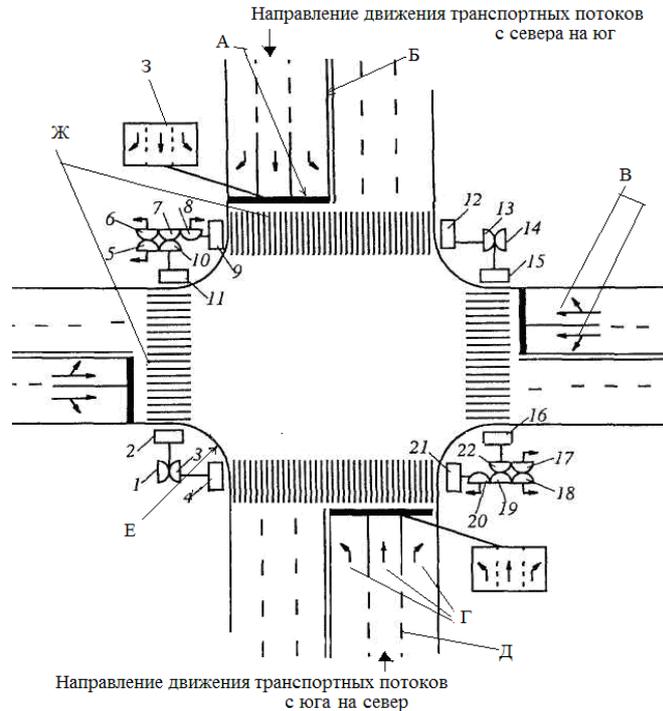


Рисунок 1.4 – Обобщенный план многополосного Х-образного РП с планировочными особенностями и ТСОД, образующими САУ движения ТПП: 1–22 – номера и условные обозначения транспортных и пешеходных светофоров ГОСТ Р 52282–2004 и ГОСТ Р 52289–2004; А, Б, В, Г, Д, Ж – виды дорожной разметки ГОСТ Р 51256–99; 3 – виды дорожных знаков ГОСТ Р 52290–2004; Е – закругления дороги с заданным радиусом

В задачах проектирования или модернизации регулируемых пересечений образующих САУ движения ТПП на них необходима оценка их планировочных особенностей. Для этого требуется исходная информация: – ширина проезжей части, число и ширина полос в каждом направлении движения, ширина разделительных полос и островков безопасности для пешеходов, ширина тротуаров и радиусов их закруглений, продольные уклоны проезжих частей на подходах к пересечению. На плане регулируемого пересечения отображаются необходимые технические средства организации и управления дорожным движением

(дорожные знаки, дорожная разметка, ограждения, светофоры с присваиваемой нумерацией для основных и дополнительных секций, при необходимости дорожные контроллеры, выносные пульта управления, детекторы транспорта и т. д.).

Вариант разработки плана X-образного многополосного РП для тренажерного комплекса, с размещенными на нем транспортными светофорами с дополнительными секциями, и, принятая для него картограмма пиковой интенсивности движения транспортно-пешеходных потоков (ТПП) представлены на рисунках 1.5 и 1.6.

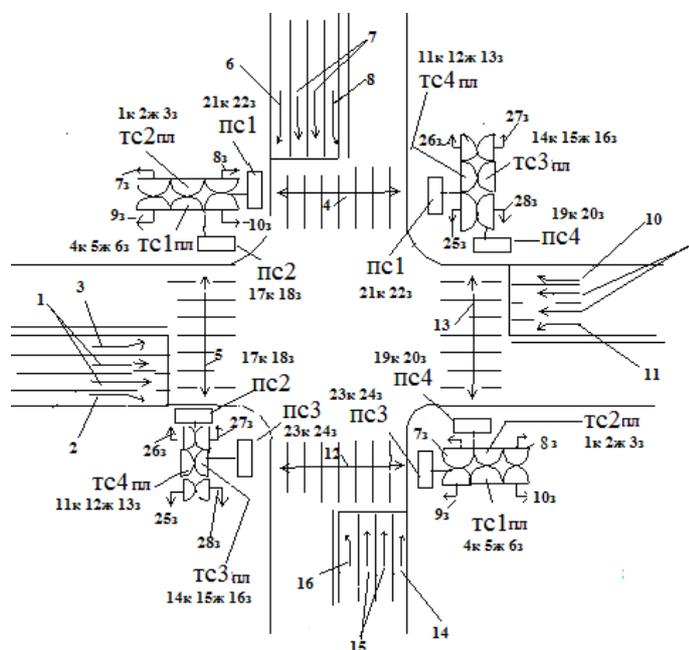


Рисунок 1.5 – План X-образного многополосного РП тренажерного комплекса с размещением на нем транспортных светофоров с дополнительными секциями, где секции (головки) транспортных светофоров (тс1÷тс4), основные и дублирующие, соответствуют ГОСТ Р 52289–2004 и пронумерованы в соответствии (4к, 5ж, 6з, 9з, 10з÷ 11к 12ж, 13з, 26з, 25з) с приведенными обозначениями на рис.1.2.3. Например, для тс1: 4к – четвертая красная головка; 5ж – пятая желтая; – 6з – шестая зеленая; 9з – дополнительная левого поворота головка № 9 зеленая; 10з – дополнительная правого поворота головка № 10 зеленая и т. д. Головки пешеходных светофоров (пс1÷пс4) пронумерованы аналогично, но только без секций желтого цвета. Номерам головок в дальнейшем (при по-

строении диаграмм светофорной сигнализации) будут присвоены соответствующие цвету каналы, например: 4к, 5ж, 6з будут соответствовать К4, К5, К6 (см. рис. 4.6, 4.13 и т. д.), т. е. каналы (силовых ключей дорожного контроллера) красного, желтого и зеленого цветов

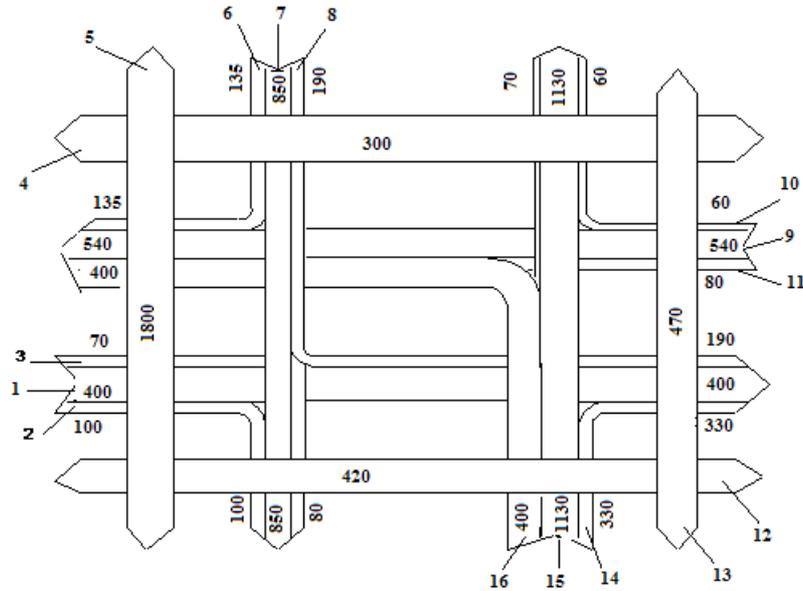


Рисунок 1.6 – Картограмма интенсивности ТПП

Дорожные контроллеры (ДК) и их связи со светофорами на всех планах рис. 1.2, 1.4 и 1.5 не отображены, чтобы не загромождать рисунки. При этом ДК образуют с ТСОД на указанных планах РП системы автоматического управления (САУ) движением транспортно-пешеходных потоков с квазиобеспечением допустимого уровня безопасности движения и заданной пропускной способности, при условии соблюдения ПДД РФ водителями и пешеходами.

Разработанные формализованные варианты блок-схем функциональных элементов подсистем контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта в модели САУ БДД на разнополосных Х- и Т-образных РП представлены на рисунках 1.7–1.11.

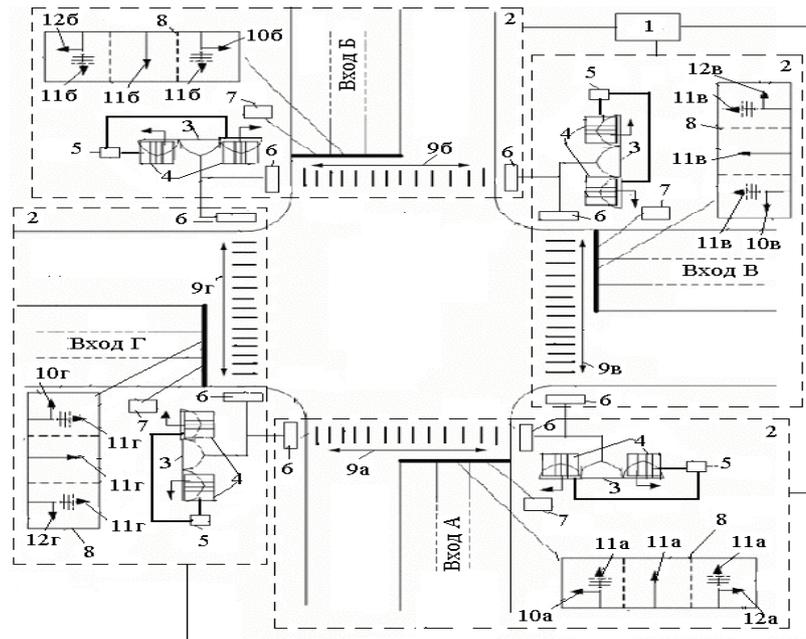


Рисунок 1.7 – Функциональная блок-схема ПКО интенсивности движения транспортных средств в модели САУ БДД для многополосного Х-образного РП в САУ БДД, где 1 – дорожный контроллер ДК; 2 – устройства управления движением УУД; 3 – транспортные светофоры типа Т.1; 4 – правая и левая дополнительные секции транспортного светофора Т.1.пл; 5 – узел привода шторок ПШ; 6 – пешеходные светофоры П.1 – по ГОСТ Р 52282–2004; 7 – детекторы транспорта ДТ; 8 – блоки особых предписаний направлений движения транспорта, с возможностью изменения информационного предписания УДЗ из диапазона своего типа 5.15.2 – по ГОСТ Р 52289–2004; 9 – 12 – направления движения транспортно-пешеходных потоков (с буквенными индексами соответствующих входов перекрестка)

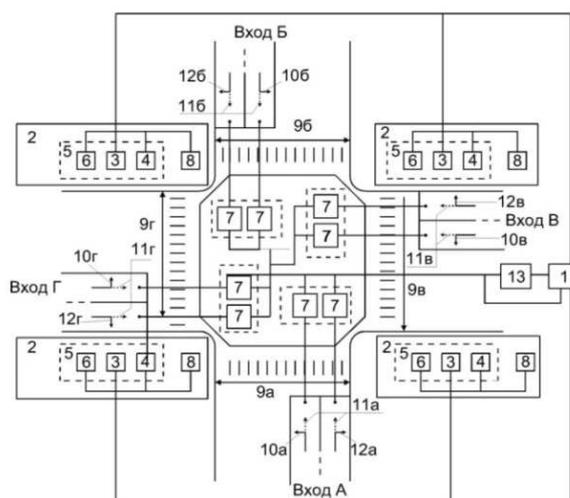


Рисунок 1.8 – Функциональная блок-схема ПКО интенсивности движения транспортных средств (ТС) в САУ БДД для малополосного X-образного РП

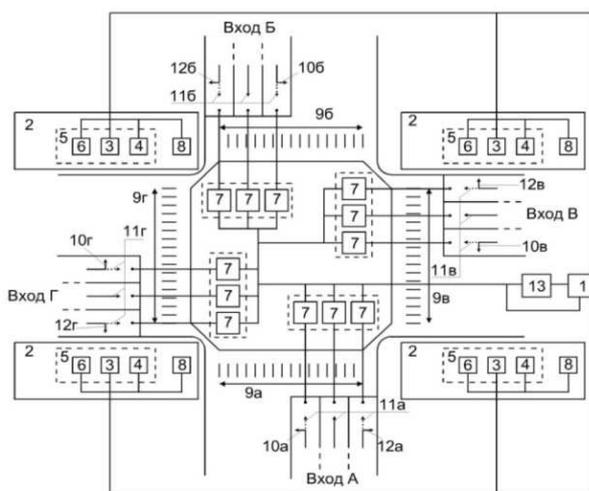


Рисунок 1.9 – Функциональная блок-схема ПКО интенсивности движения ТС в САУ БДД для многополосного X-образного РП: 1 – дорожный контроллер ДК; 2 – устройства управления движением УУД; 3 – транспортные светофоры типа Т.1; 4 – правая и левая дополнительные секции (с узлами привода шторок) у транспортного светофора Т.1.пл по ГОСТ Р 52289–2004; 5 – набор сигнальных средств; 6 – пешеходные светофоры П.1 – по ГОСТ Р 52289–2004; 7 – детекторы транспорта ДТ; 8 – блоки особых предписаний направлений движения транспорта, с возможностью изменения информационного предписания УДЗ из диапазона своего типа 5.15.2 – по ГОСТ Р 52282–2004; 9 – 12 – направления движения транспортно-пешеходных потоков (с буквенными индексами соответствующих входов перекрестка), 13 – блок неуравновешенности (БН)

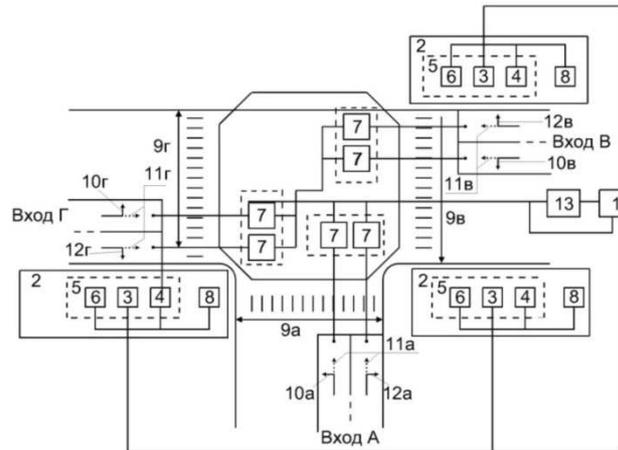


Рисунок 1.10 – Функциональная блок-схема ПКО интенсивности движения ТС в САУ БДД для малополосного Т-образного РП

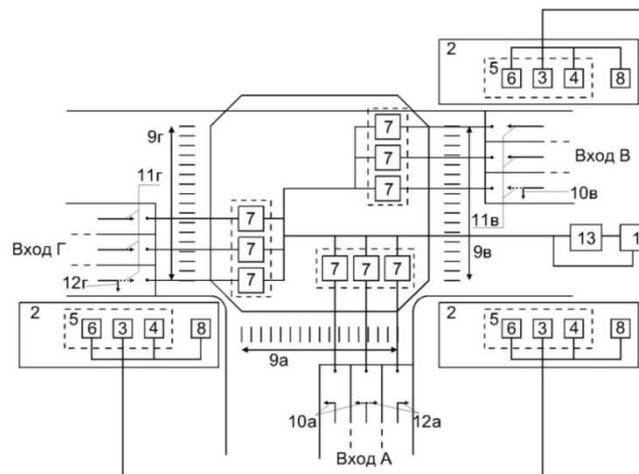


Рисунок 1.11 – Функциональная блок-схема ПКО интенсивности движения ТС в САУ БДД для многополосного Т-образного РП

Обобщенная блок-схема функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в модели САУ БДД на РП и принятые для исследований пиковые интенсивности транспортно-пешеходных потоков (ТПП) движения представлены на рисунках 1.12 и 1.13.

В целях обобщения визуализации, перечисленные выше рисунки, формализованы в привязке к частям света обозначений входов пересечений (перекрестков) и нумерацией прилегающих к ним ТПП. Принцип формализации таков: Вход А – юг, Вход Б – север, Вход В – восток, Вход Г – запад. При этом типовая нумерация полос движения ТПП детерминирована с соответствующей

формализованной привязкой к буквенным обозначениям входов перекрестка: для пешеходных потоков 9а – 9г, – левых поворотов 10а – 10г, – движения прямо 11а – 11г, – правых поворотов 12а – 12г, – левых разворотов 10а' – 10г', – отклонений в транспортных потоках, например, в левых поворотах 10а" – 10г" и т. д. Такая формализация обобщений визуализации моделей СОД с КЗ на РП используется в диссертационной работе подраздела 2.6 и приложений П.1 – П.6.

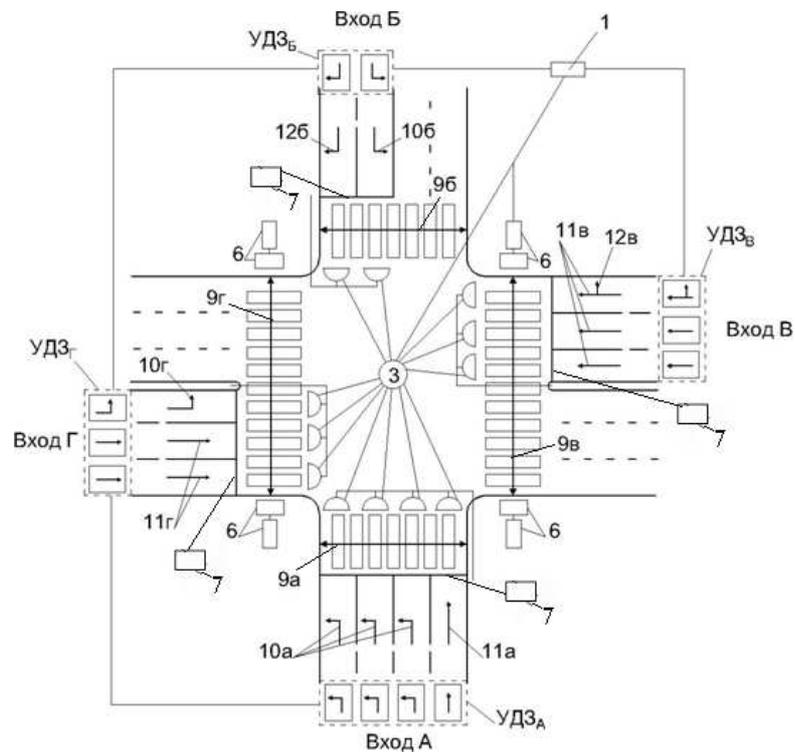


Рисунок 1.12 – Обобщенная функциональная блок-схема ПКО интенсивности движения транспорта в САУ БДД на РП, где практически реализуется любая из блок-схем рисунков 1.7 – 1.11 на стандартных светофорах типа Т.1, подвешенных на консолях над каждой полосой движения транспорта в разнополосных Х- и Т-образных РП, 1 – дорожный контроллер ДК, управляющий транспортными светофорами 3 по соответствующим 10 – 12 – направлениям движения транспорта на входах А, Б, В, Г, а также пешеходными светофорами 6 – типа П.1 по соответствующим пешеходным переходам 9а – 9г и управляемыми дорожными знаками УДЗа – УДЗг – особых предписаний направлений движений транспортных средств, подвешенных над каждой полосой движения вне зоны пере-

крестка с возможностью изменения информационного предписания в диапазоне своего типа – по ГОСТ Р 52282–2004, 7 – детекторы транспорта ДТ, информационно связанные с ДК (связи не показаны)

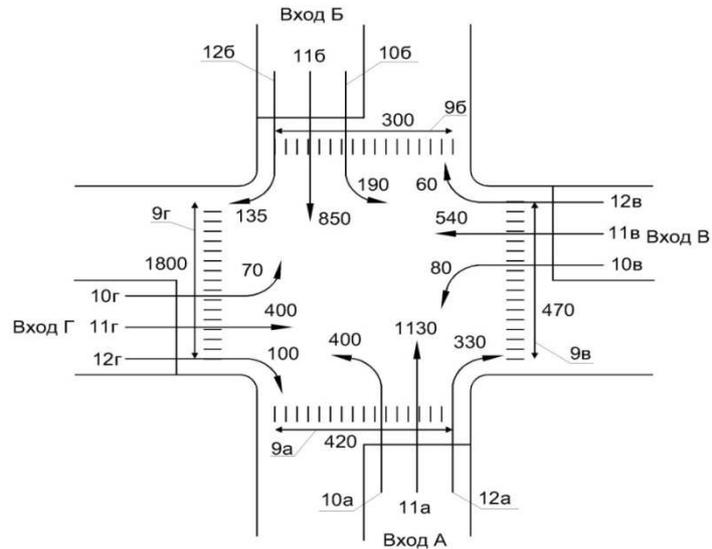


Рисунок 1.13 – Универсальная формализованная модель пиковых интенсивностей  
ТПП, в ед./ч

Блок-схема рисунка 1.7 запатентована полезной моделью и изобретением [136, 134]. Она способна решать задачи принятия решений с поддержанием (т.е. обеспечением) заданных уровней требований к безопасности движения (УТБД) методами самоорганизации и адаптации структурных СОД с КЗ. На ее основе синтезированы соответствующие по полосности движения блок-схемы функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в модели САУ БДД для Х- и Т-образных РП с рисунками 1.8 – 1.11, которые способны расширять и дополнять возможности блок-схемы рисунка 1.7 методами управления УТДБ с прерыванием малоинтенсивных встречных прямых ТП. Они также запатентованы полезной моделью – «Система управления транспортными и пешеходными потоками через перекресток» [137] и изобретением «Способ регулирования движения транспортных потоков на перекрестке» [135]. Такие системы в течение определенного отрезка времени (пропорционально длительности неуравновешенности встречных ТП) обеспечивает бесконфликтные ле-

вые повороты для транспортных средств из продолжающего движение встречного ТП при транспортных светофорах типа Т.1 без дополнительных секций.

На рисунке 1.13 представлена универсальная формализованная модель пиковых интенсивностей ТПП. В дальнейшем она используется в качестве исходной базы при расчетах оценок уровней безопасности движения (БД) в моделях СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП по исследуемым методам управления в зависимости от их конфигурации (полосности), числа и вида конфликтных точек (т. е. конфликтной загрузки).

Основываясь на преемственности к изложенным выше инновациям разработана обобщенная блок-схема функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в модели САУ БДД для практической реализации любой из блок-схем рисунков 1.7 – 1.11 с использованием типовых транспортных светофоров типа Т.1, подвешенных на консолях над каждой полосой движения транспорта в разнополосных Х- и Т-образных РП по рисунку 1.12 [138].

Транспортные светофоры 3 указывают светящимися стрелками в зеленых секциях необходимое направления движения для транспортных потоков. Причем на каждой консоли кроме основных светофоров 3 подвешиваются и светофоры – дублиеры для резервирования основных светофоров по направлениям движения транспортных средств по полосам с соответствующей нумерацией, например, аналогично, как на рисунке 1.5. Число подвешенных светофоров Т.1 совпадает с числом полос движения транспортных потоков на входах перекрестка.

#### **1.4 Эффективность действующих алгоритмов управления светофорными циклами в САУ на регулируемых пересечениях**

Многократные и поочередно повторяющиеся движения транспортных и пешеходных потоков обеспечиваются цикличностью управления светофорной сигнализацией на Х и Т-образных регулируемых пересечениях (РП). Для количественной и качественной характеристики работы РП, являющихся автономными объектами систем автоматического управления безопасностью дорожно-

го движения (САУ БДД) используют понятия такта, фазы и цикла регулирования  $T_{ц}$  [132, 87, 123, 157].

*Тактом регулирования* называют временной интервал или период действия многократно повторяющейся комбинации светофорных сигналов. Различают основные и промежуточные такты. В период времени действия основного такта разрешается (а в конфликтующем направлении запрещено) движение определенной группы транспортных и пешеходных потоков. Во время промежуточного такта выезд на перекресток запрещен, за исключением транспортных потоков (ТП), водители которых не смогли своевременно остановиться у "стоп-линии" регулируемого пересечения (т.е. перекрестка). В этот период времени осуществляется подготовка перекрестка к передаче прав – на движение следующей группе потоков или освобождение перекрестка от ТП и пешеходов, которые имели такое право на движение во время предыдущего основного такта. Целью применения промежуточного такта является обеспечение безопасности движения в переходной период, когда движение предыдущей группы потоков уже запрещено, а последующая группа разрешение на движение через пересечение еще не получила.

*Фазой* регулирования называется совокупность основного и следующего за ним промежуточного такта. Минимальное число фаз равно двум, иначе отсутствуют конфликтующие потоки, и необходимость в применении светофоров отпадает. Обычно число фаз регулирования соответствует числу наиболее загруженных конфликтных направлений движения на пересечении.

*Циклом* регулирования на РП называется периодически повторяющаяся совокупность фаз, представленная структурой светофорного цикла (рисунок 1.14).

*Режимом* светофорного регулирования (временным алгоритмом работы светофорной сигнализации) называют длительность цикла, а также число, порядок чередования и длительность тактов и фаз, составляющих цикл.

*Промежуточный такт* (переходной интервал) обозначается желтым сигналом в направлении, где ранее во время основного (зеленого) такта осуществлялось движение. В конфликтующем направлении в этот момент действует (горит) запрещающий (красный) такт, а после красного (точнее в конце красного) включается вспомогательный такт – красный с желтым одновременно.

В аналитическом виде режим светофорного регулирования можно представить в виде выражения:

$$T_{\text{ц}} = t_{o1} + t_{п1} + t_{o2} + t_{п2} + \dots + t_{on} + t_n, \quad (1.1)$$

где  $T_{\text{ц}}$  – длительность цикла регулирования, с;  $t_{o1}, \dots, t_{on}$  – длительности основного такта, с;  $t_{п1}, \dots, t_{пn}$  – длительности промежуточного такта, с;  $n$  – число фаз.

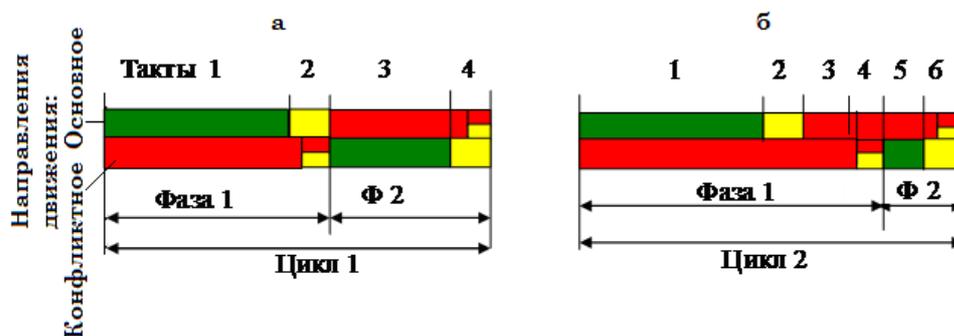


Рисунок 1.14 – Структура светофорного цикла: *а* – с одним промежуточным тактом в каждой фазе; *б* – с тремя промежуточными тактами в первой фазе; 1 – 4 и 1 – 6 число тактов в циклах

Обычно с помощью светофорной сигнализации право на движение предоставляется группам транспортных и пешеходных потоков поочередно. В каждой группе потоков с учетом формы и размеров пересечения, а также интенсивности движения в различных направлениях, объединяют транспортные и пешеходные потоки (ТПП), при одновременном движении которых не превышаются допустимые уровни требований к безопасности движения (УТБД) в моделях схем организации движения (СОД) с конфликтной загрузкой (КЗ) на РП. При этом сигналы светофорной сигнализации в моделях СОД с КЗ на РП для поочередно обслуживаемых групп потоков включают согласованно (по рисунку 1.14, *а*) или со сдвигом во времени (по рисунку 1.14, *б*).

Сдвиг сигналов (рисунок 1.14, б) применяют вместо удлинения времени горения желтых сигналов при пересечении широких улиц. Длительность интервала горения желтого сигнала не применяется менее (3 с), так как это необходимо для безопасного выезда транспортных средств с зоны пересечения, которые попали туда в момент выключения зеленого сигнала после пересечения ими "стоп-линии". Однако, он не применяется более 3 с – в целях предотвращения попыток опасного проезда пересечения на желтый сигнал светофора. В случаях же, когда пересечение имеет широкую проезжую часть, а транспортные средства имеют низкую скорость движения, то после основного такта и желтого сигнала (основного направления) включают один и более промежуточных тактов с красным сигналом (т. е. кругом красный). А именно: после (3 с) горения желтого сигнала включается один и более промежуточных тактов с красным сигналом. В этот период для конфликтного направления движения продолжает гореть красный сигнал, который перед включением зеленого сигнала (за 2 с) преобразуется в красный сигнал одновременно с желтым – в промежуточном такте. Таким образом, на пересечении в течение определенного времени может по всем направлениям действовать кругом красный сигнал (рисунок 1.14, б, такт 3), что способствует повышению безопасности движения. Таким приемом устраняются так называемые дальние конфликтные точки (ДКТ) в траекториях, въезжающих на пересечение, и, освобождающих пересечение транспортных средств.

С внедрением в 2013 году отраслевого дорожного методического документа ОДМ 218.6.003-211 [123] "Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах" основные характеристики светофорного цикла на РП, изложенные выше не изменились.

#### *Потерянное время и поток насыщения на РП*

Для понимания физических процессов, происходящих в циклах светофорного управления на Х - и Т-образных регулируемых пересечениях (РП) необходимо ознакомиться с основными понятиями и техническими характеристиками

используемыми специалистами в разработке или модернизации светофорного управления в моделях схем организации движения (СОД) с конфликтной загрузкой (КЗ).

При работе светофорного управления на РП в период основного такта ( $t_0$ ) горит зеленый сигнал и транспортные потоки (ТП) движутся в разрешенном направлении [87, 157]. В период промежуточного такта ( $t_{\text{п}}$ ) интенсивность движения в сечении стоп – линии постепенно падает до нуля. Вместе с тем в начале разрешающего сигнала ТП начинают движение с некоторой задержкой, которая связана с реакцией водителей на разрешающий сигнал и с разгоном ТП. При этом интенсивность движения ( $N_{ij}$ ) в сечении стоп – линии постепенно нарастает и достигает через некоторое время приблизительно постоянного значения ( $M_{Hij}$ ), равного пропускной способности в  $i$ -й фазе для  $j$ -го направления, т. е. насыщения.

Задержка в движении в начале основного такта  $t_0$  называется стартовой задержкой ( $t_{\text{ст}}$ ). Это потерянное время в фазе, так как практически движение в этот период отсутствует. К потерянному времени следует отнести и промежуточный такт ( $t_{\text{п}}$ ) за вычетом времени "прорыва" ( $t_{\text{п}}$ ) на желтый сигнал тех ТП, которые не смогли своевременно остановиться у "стоп-линии".

Следовательно, движение ТП начинается позже момента включения разрешающего сигнала и заканчивается позже момента его окончания. Время в течение которого фактически осуществляется движение, называется эффективной длительностью фазы ( $t_{\text{эф}}$ ) в  $i$ -й фазе для  $j$ -го направления. В процессе разъезда очереди бесконечной длины в течение фазы регулирования (насыщенная фаза) среднее число транспортных средств (ТС), покинувших перекресток в течение ( $t_{\text{эф}}$ ), равно их числу, покинувшему перекресток за время фазы [87, 157].

График, представленного рисунка 1.15 поток насыщения и эффективная длительность фазы, демонстрирует изменение интенсивности движения в сечении "стоп-линии" в данном направлении, имеет форму прямоугольника с высо-

той  $M_{Hij}$  и основанием  $t_{эф}$ . Потерянное время в фазе определится выражением

$$t_{пт} = t_{ст} + t_{п} - t_{р}.$$

Показатель  $M_{Hij}$  характеризует максимальную интенсивность разъезда очереди при полностью насыщенной фазе и получил название потока насыщения. Полностью насыщенные фазы наблюдаются при высокой интенсивности движения, как правило, в часы пик. При включении зеленого сигнала очередь ТП вначале разъезжается, а затем ТС движутся свободно. Поэтому поток насыщения определяется как интенсивность разъезда ТП, ранее остановленных запрещающим сигналом светофора.

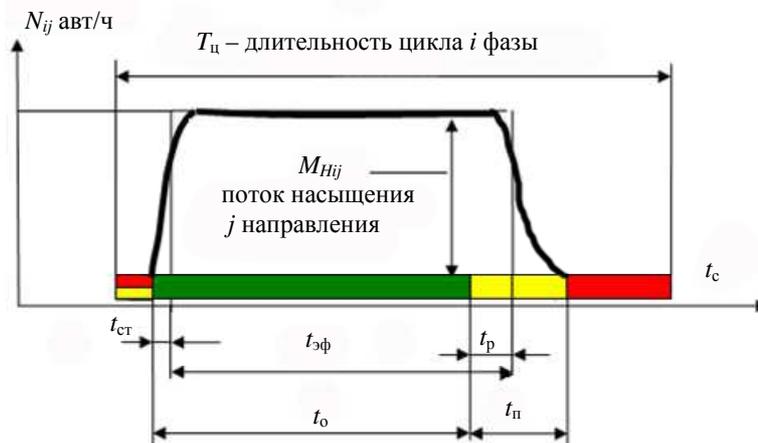


Рисунок 1.15 – Поток насыщения и эффективная длительность фазы

Потерянное время в цикле регулирования складывается из потерь времени в каждой фазе (с номером  $i$ ):

$$T_{пт} = \sum_{i=1}^n t_{пти} = \sum_{i=1}^n (t_{сти} + t_{пи} - t_{пи}). \quad (1.2)$$

Экспериментальные исследования показывают, что  $t_{пи}$  (время прорыва) в среднем больше  $t_{сти}$  на 1 с, т. е. эффективная длительность фазы несколько больше длительности разрешающего сигнала. Однако, для практических расчетов принимают  $t_{сти} \approx t_{пи}$  и таким образом  $T_{пт} \approx \sum_{i=1}^n t_{пи}$ .

В соответствии с вышеизложенным, потерянное время в цикле приближенно принимается равным сумме промежуточных тактов  $t_{\text{пi}}$  (переходных интервалов), входящих в состав цикла.

### *Интенсивности движения транспортных средств на РП*

К основным исходным параметрам, задаваемым при проектировании схем организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) на регулируемых пересечениях (РП), относится интенсивность движения транспортных и пешеходных потоков (ТП и ПП). Интенсивность движения ТП разделяется на две составляющие [132, 87, 108, 157].

– Интенсивность прибытия ТП на подходе к стоп – линии всего направления (или полосы). Под интенсивностью прибытия следует понимать эквивалентную часовую интенсивность ( $N_{ij}$  – в  $i$  фазе по  $j$  направлению движения) движения транспортных средств (ТС). Ее рассчитывают как отношение количества ТС, к интервалу времени, в течение которого данное количество ТС проезжает какое-либо конкретное сечение улицы или дороги, например, стоп – линию. Обычно, для определения эквивалентной часовой интенсивности в конкретной фазе и по конкретной полосе движения рассматривается интервал менее одного часа. При этом интенсивность прибытия ТС к регулируемому пересечению выражается в приведенных единицах в час (т. е. эквивалентным количеством легковых автомобилей в час).

– Интенсивность убытия (разъезда) очереди ТП после включения разрешающего (зеленого) сигнала в конкретной фазе цикла регулирования. Интенсивность убытия ТС напрямую связана с величиной потока насыщения ( $M_{nij}$ ).

Интенсивность движения транспортных потоков  $N_{ij}$  [132, 87, 108, 157] изменяется в течение месяцев года, дней недели, часов суток, а также в течение часа. Все временные изменения интенсивности учитываются при расчете основных параметров светофорных циклов регулирования. Для того чтобы в пиковые часы регулируемые пересечения работали с заданным уровнем требова-

ний к безопасности движения (УТБД) и без заторов, на подходах к ним требуется проводить объективные обследования интенсивности потоков движения ТС и пешеходов в нижеследующих вариантах:

- интенсивность движения потоков ТС и пешеходов в час – при максимальной загрузке перекрестка движением ТС;
- интенсивность движения потоков ТС и пешеходов в час – при максимальной загрузке перекрестка движением пешеходов;
- при неравномерной интенсивности движения ТС в течение суток и по дням недели буднего и выходного дней.

Порядок полевых обследований интенсивности транспортных потоков таков: – в течение 16 ч (с 6.00 до 22.00) обычного рабочего дня ежечасно выполняют 10-минутные подсчеты интенсивности движения ТС и пешеходов на всех подходах к перекрестку. При этом их проводят в течение часа во всех пиковых режимах работы светофорных объектов для буднего и выходного дней (пятницы и субботы или понедельника и воскресенья). Форма «Ведомости обследований интенсивности движения транспортно-пешеходных потоков (ТПП) применительно к формализованным блок-схемам функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в блок-схемы САУ БДД для разнополосных Х - и Т-образных РП рисунков 1.7 – 1.12 приведена в виде таблицы 1.1.

Величина коэффициентов приведения (ПЕ) к легковому автомобилю на регулируемых пересечениях по каждому № направления движения на входах РП (А – Г) определяется из соотношения временных интервалов между моментами проезда "стоп-линии" переднего бампера автомобилей. Такие коэффициенты приведения к легковому автомобилю являются ниже значений, указанных в действующем нормативном документе СНиП 2.05.02–85, полученных на основе величины динамического габарита автомобилей при движении на перегонах. Одновременно с подсчетом интенсивности движения ТС регистрируют их типы: легковые и грузовые, автобусы и маршрутные ТС, троллейбусы, трамваи, мотоциклы и мопеды.

Таблица 1.1 – Ведомость обследования интенсивности движения ТПП

Место обследования \_\_\_\_\_ . Время \_\_\_\_\_ .

Будний/выходной день

№ \_\_\_\_\_

Вход РП	№направле- ния	Легковой а/м	Грузовой а/м, т				Автопоезд	Автобус	Микроав- тобус	Трамвай	Пешеходы ФЕ≡ ПЕ	Итого	
			до 2	2–6	6–8	>8						ФЕ	ПЕ
А	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
	10									–			
	10'									–			
	11									–			
	12									–			
Б	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
	10									–			
	10'									–			
	11									–			
	12									–			
В	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
	10									–			
	10'									–			
	11									–			
	12									–			
Г	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
	10									–			
	10'									–			
	11									–			
	12									–			

В таблице 1.1 с каждым соответствующим входом РП А – Г детерминированно связан № направления движения: – 9 пешеходный поток, – 10 левоповоротный поток, – 10' разворот, – 11 прямой поток, – 12 правоповоротный поток и т.д. ФЕ и ПЕ физические и приведенные единицы ТПП. Грузовые автомобили грузоподъемностью: до 2 т. – "Газель" и их аналоги; 2 – 6 т – ГАЗ "Валдай" и аналоги, IVECO Daily и аналоги.

Для одноуровневых регулируемых пересечений в соответствии с таблицей 1.2 рекомендуется использовать коэффициенты приведения физических единиц

(ФЕ) различных транспортных средств и трамваев ( $k_{тс.пр}$  и  $k_{тр.пр}$ ) к легковому автомобилю в приведенных единицах (ПЕ) в таблице 1.1.

Таблица 1.2 – Рекомендуемые коэффициенты приведения

№ п/п		Примеры ТС и марок трамваев	Коэффициент привед. $k_{тс.пр}$ и $k_{тр.пр}$
1	Легковой автомобиль		1,0
2	Мотоцикл		0,5
3	Грузовые автомобили:		$k_{тс.пр}$
4	до 2 т	«Газель» и ей подобные	1,5
5	2 – 6	ГАЗ «Валдай», IVECO Daily 70C15, 70C15D; ГАЗ 3309 и т. п.	2
6	6 – 8	МАЗ-53366, КамАЗ (бортовой) и т. п.	2,5
7	> 8	МАЗ-53366, КамАЗ (бортовой, тентованный, сцепка) и т. п.	До 14 т – 3 Свыше 14 т – 3,5
8	Автопоезда		12 т – 3,5; 20 т – 4; 30 т – 54 Свыше 30 т – 6
9	Автобусы		1,4 – 1,8; сочл. – 2,4
10	Микроавтобус		1,1
11	Трамвай		$k_{тр.пр}$
	$l_{тр1} = 15$ м, Масса = 19,5 – 19,9 т, Наполн. – 02 – 155 чел. $l_{тр1сц}$ )	ЛМ-2008, ЛМ-68М, ЛМ-99К	Одиночный – 2,1 Со сцепкой – 4,2
	$l_{тр2} = 22,5$ м, Масса = 28 – 29,5 т, Наполн. – 186 – 25 чел. $l_{тр2сц}$ )	ЛВС-2005, ЛВС-86	Одиночный - 3,1 Со сцепкой – 6,2

При этом коэффициент приведения пешеходных потоков и рельсовых транспортных средств (трамваев) разных марок одиночных и со сцепкой (двойных) в таблице 1.1 необходимо определять следующим образом [132]:

- абсолютные значения интенсивности (ФЕ) пешеходного движения (в обоих направлениях) по пешеходным переходам уменьшаются в 4 раза;

• абсолютные значения интенсивности трамвайного движения пересчитываются к приведенным условным транспортным единицам по формуле:

$$N_{\text{тр.п}} = N_{\text{тр}} l_{\text{тр}} v_a / 3, 6 l_a v_{\text{тр}} = N_{\text{тр}} k_{\text{тр.п}}, \quad (1.3)$$

где  $N_{\text{тр}}$  – интенсивность (ФЕ) трамвайного движения, поездов/ч;  $l_{\text{тр}}$  и  $l_a$  – длина соответственно трамвайного поезда и условного автомобиля ( $\approx 5$  м), м;  $v_a$  и  $v_{\text{тр}}$  – скорость движения через перекресток соответственно автомобилей (50 км/ч) и трамваев (20 км/ч), км/ч;  $k_{\text{тр.п}}$  – рекомендуемые коэффициенты приведения различных модификаций трамваев 1 и 2 даны в таблице 1.2 в том числе и для 70С15, 70С15D; Газ 3309, 6 – 8 – МАЗ-53366, КамАЗ (бортовой); > 8 – МАЗ-53366, КамАЗ (бортовой, тентованный, сцепка).

Расчетные значения их коэффициентов для разных скоростей  $v_a$  рассчитаны по формуле (1.4) и сведены в таблице 1.3 для одиночного –  $k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}1})$  или  $k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}2})$  и со сцепкой –  $k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}1\text{сц}})$  или  $k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}2\text{сц}})$ .

$$k_{\text{тр.п}} = l_{\text{тр}} v_a / 3, 6 l_a v_{\text{тр}}, \quad (1.4)$$

Таблица 1.3 – Расчетные коэффициенты для разных скоростей  $v_a$

$v_a$	$k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}1})$	$k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}2})$	$k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}1\text{сц}})$	$k_{\text{тр.п}}(l_{\text{тр}2\text{сц}})$
20	0,83	1,25	1,67	2,50
25	1,04	1,56	2,08	3,13
30	1,25	1,88	2,50	3,75
35	1,46	2,19	2,92	4,38
40	1,67	2,50	3,33	5,00
45	1,88	2,81	3,75	5,63
50	2,08	3,13	4,17	6,25
55	2,29	3,44	4,58	6,88
60	2,50	3,75	5,00	7,50

По данным обследований (таблица 1.1 для ПЕ) строят распределения интенсивности по часам суток аналогичные рисункам 1.3 или 1.13. Из последних устанавливают часы пик для транспортного и пешеходного движения и межпиковый час с минимальной загрузкой. По распределению интенсивности движения ТС определяют минимально необходимое число программ календарной ав-

томатики регулирования для функциональной модели САУ БДД транспортных и пешеходных потоков на РП, переключающих программы в дорожном контроллере 1 в блок-схемах рисунков 1.7 – 1.12. Поэтому в часы существенного изменения интенсивности ТПП и необходимо выполнять их часовое обследование, так как они определяют режимы календарной автоматики. В эти же часы, но в субботу и в воскресенье выполняют аналогичные обследования 15-минутной длительности.

Подобные кратковременные обследования рекомендуется проводить в различные сезоны года. Они потребуются для корректировки программ календарной автоматики в контроллере для адаптивного регулирования светофорной сигнализацией в моделях САУ БДД с целью поддержания заданного уровня требований к дорожной безопасности (УТБД). Применение же блок-схем функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в моделях САУ БДД с детекторами транспорта ДТ и других необходимых технических средств (рисунки 1.7 – 1.12) решит задачи адаптивного обеспечения необходимого УТБД вместо пакета программ календарной автоматики.

#### *Потоки насыщения на РП*

Поток насыщения  $m_{nij}$  [132, 87] определяют для каждого направления ( $j$ ) движения транспортных средств (ТС) в конкретной фазе ( $i$ ) регулирования натурными наблюдениями в периоды, когда на подходе к регулируемому пересечению (РП) формируются достаточно большие очереди ТС. Методика определения потока насыщения такова:

- одновременно с включением зеленого сигнала светофора или подачей разрешающего движения жеста регулировщика включают секундомер и регистрируют по видам ТС, которые пересекают стоп – линию и движутся по одной из полос рассматриваемого направления;

- выключают секундомер в момент пересечения стоп – линии передними колесами последнего автомобиля из очереди ТС, стоявших на этой полосе в ожидании разрешающего сигнала;

– записывают показания секундомера и подсчитывают число ТС в приведенных транспортных единицах с учетом последнего ТС, достигшего стоп – линии;

– повторяют замеры в течение 10 – 15 светофорных циклов (при достаточно длинной очереди на полосе, состоящей из 15 – 20 автомобилей и более, можно ограничиться 3 – 5 замерами);

– определяют поток насыщения для данной полосы движения по формуле:

$$M_{Hij} = \frac{3600}{n} \left( \frac{m_1}{t_1} + \frac{m_2}{t_2} + \dots + \frac{m_n}{t_n} \right), \quad (1.5)$$

где  $M_{Hij}$  – поток насыщения для данной полосы движения в фазе  $i$  и направлении  $j$ , ед./ч;  $n$  – число замеров;  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – число приведенных транспортных единиц, прошедших через стоп – линию в течение одного замера;  $t_1, t_2, \dots, t_n$  – показание секундомера, с;

– повторяют вышеперечисленные операции для каждой из оставшихся полос рассматриваемого направления  $j$  в данной фазе  $i$  и суммируют полученные результаты

$$M_{Hij}^o = \sum_1^k M_{Hij}, \quad (1.6)$$

где  $M_{Hij}^o$  – общий поток насыщения для рассматриваемого направления с числом  $k$  – полос обслуживающих рассматриваемое направление.

Для ориентировочных расчетов поток насыщения можно приближенно определить по эмпирическим формулам.

Для случая движения в прямом направлении

$$M_{Hij\text{прямо}} = 525 B_{\text{п.ч}}, \quad (1.7)$$

где  $M_{Hij\text{прямо}}$  – поток насыщения, ед./ч;  $B_{\text{п.ч}}$  – ширина проезжей части на подходе в рассматриваемом направлении  $j$  и данной фазе  $i$  регулирования, м.

Формула (1.7) применима при  $B_{\text{п.ч}}$  от 5,4 м до 18 м. Если ширина проезжей части меньше 5,4 м, то для расчета можно использовать данные таблицы 1.4.

Если перед регулируемым пересечением (перекрестком) полосы обозначены дорожной разметкой, поток насыщения определяют в соответствии с приведенными данными отдельно для каждой полосы движения.

В зависимости от продольного уклона дороги на подходе к перекрестку изменяется расчетное значение потока насыщения. Каждый процент уклона на подъеме снижает (на спуске – увеличивает) поток насыщения  $M_{Hij}$  на 3 %. При этом расчетным уклоном считают средний уклон дороги на участке от стоп – линии до точки, расположенной от нее на расстоянии 60 м на подходе к перекрестку.

При движении ТС прямо и налево (направо) по одним и тем же полосам движения и, если интенсивность лево – и правоповоротного потоков составляет более 10 % общей интенсивности движения в рассматриваемом направлении данной фазы, то поток  $M_{Hij\text{прямо}}$ , полученный по формуле (1.7) или из приведенных в таблице 1.4 данных, корректируют по формуле (1.8).

Таблица 1.4 – Зависимость потока насыщения от ширины проезжей части

$M_{Hij\text{прямо}}$ , ед./ч	1850	1875	1920	1950	1970	2075	2475	2700
$B_{п.ч}$ , м	3,0	3,3	3,5	3,6	3,75	4,2	4,8	5,1

$$M_{Hij} = M_{Hij\text{прямо}} \frac{100}{a + 1,75b + 1,25c}, \quad (1.8)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – интенсивность движения транспортных средств соответственно прямо, налево и направо в процентах от общей интенсивности в рассматриваемом направлении данной фазы регулирования.

Необходимость коррекции связана с уменьшением потока насыщения, так как автомобили, поворачивающие налево (значительно) и направо (незначительно) из общей полосы движения, задерживают основной поток прямого направления. Для право - и левоповоротных транспортных потоков, движущихся по специально выделенным полосам, поток насыщения определяется в зависимости от радиуса поворота  $R$ .

$$M_{Hij\text{пов}} = \frac{1800}{1+1,525/R}, \quad (1.9)$$

$$M_{Hij\text{пов}} = \frac{3000}{1+1,525/R}, \quad (1.10)$$

По формуле (1.9) определяют поток насыщения для одностороннего поворотного движения, а по формуле (1.10) для двухстороннего поворотного движения.

Радиус поворота определяют по плану пересечения вычерченного в масштабе. При двухстороннем поворотном движении в формулу (1.10) подставляют среднее значение радиуса. Остальные факторы, влияющие на поток насыщения, учитывают с помощью поправочных коэффициентов условий движения таблицы 1.5.

Таблица 1.5 – Условия движения на РП

Условия движения	Описание условий	Поправочный коэффициент
Хорошие	Отсутствует влияние пешеходов и стоящих автомобилей, хороший обзор, достаточная ширина проезжей части на выходе РП, освещение перекрестка в пределах норм.	1,2
Средние	Наличие характеристик из групп «хорошие» и «плохие» условия.	1,0
Плохие	Низкая средняя скорость движения ТС. Неудовлетворительные ровность и сцепные качества покрытия. Имеется влияние стоящих автомобилей, пешеходов, левоповоротного движения методом "просачивания". Плохой обзор РП, слабая освещенность проезжей части. В зоне РП много пунктов притяжения пешеходов.	0,85

Коэффициенты в таблице 1.5 отражают условия движения на регулируемом пересечении (РП), которые можно подразделить на три группы: хорошие, средние и плохие. Отнесение условий на данном направлении движения через РП к одной из групп влечет за собой изменение потока насыщения  $M_{Hij}$ . Его значение, определенное по формулам (1.7 – 1.10) или по данным таблицы 1.4, должно быть умножено на соответствующий поправочный коэффициент из таблицы 1.5.

## 1.5 Эффективность потенциала совершенствования алгоритмов управления безопасностью дорожного движения в САУ на РП

Стратегические цели по снижению аварийности на дорогах РФ намечены в Федеральной целевой программе (ФЦП) [188]. Это продемонстрировано на рисунке 1.16 состоянии с ДТП за 1985 – 2015 годы и план их снижения.

Статистическая отчетность по погибшим в дорожно-транспортных происшествиях на улично-дорожной сети (УДС) Российской Федерации в 2010–2015 годах соответственно такова: – 26 567, 27 953, 27 991, 27 025, 26 963 и 23 000 чел. (на УДС мегаполиса Санкт-Петербурга по годам: – 397, 471, 445, 444, 412 и 354 чел.). Для сравнительного анализа на рисунках 1.17 и 1.18 представлены статистические зависимости погибших в ДТП на УДС в двух городах - мульти-миллионерах и в восьми мегаполисах РФ из существующих пятнадцати. Они демонстрирует стабильность ДТП с летальным исходом за шесть лет.

**Цель и задачи ФЦП "Повышение безопасности дорожного движения" в 2013-2020 г.г. - сокращение смертности от ДТП к 2020 г. на 8 тыс. чел. (28,82%) по сравнению с 2012 годом**

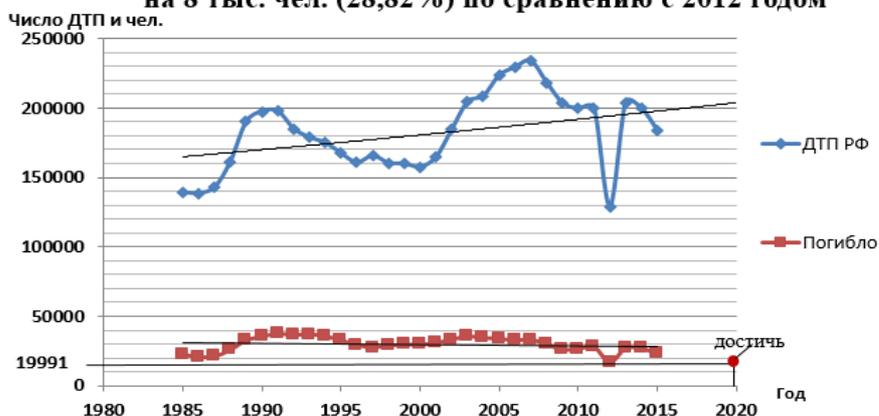


Рисунок 1.16 – Состояние с ДТП за 1985 - 2015 годы и план их снижения

В городах РФ проживает около 3/4 части всего населения страны, поэтому и число ДТП в них составляет до 75 % от общей статистической аварийности в стране [1, 18, 47].

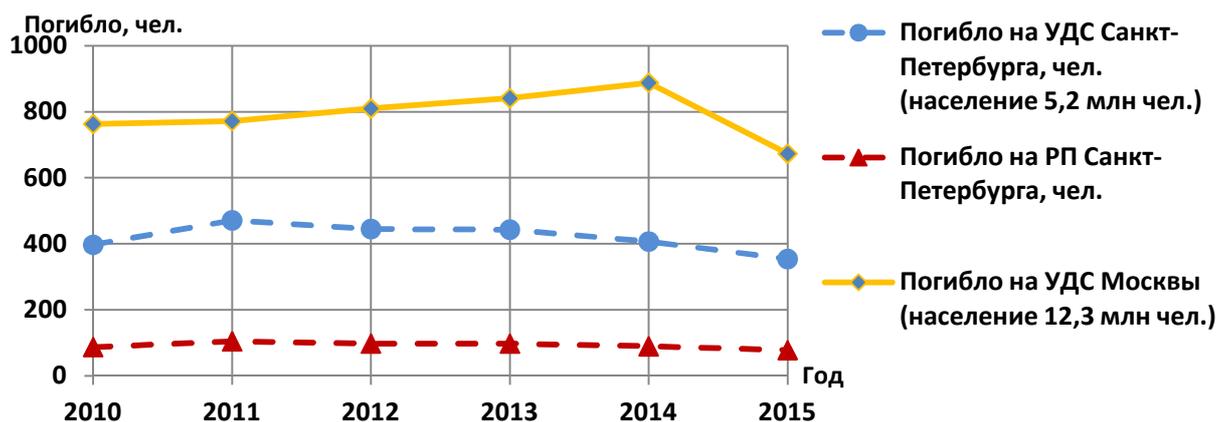


Рисунок 1.17 – Статистика погибших в ДТП на УДС Москвы и Санкт-Петербурга

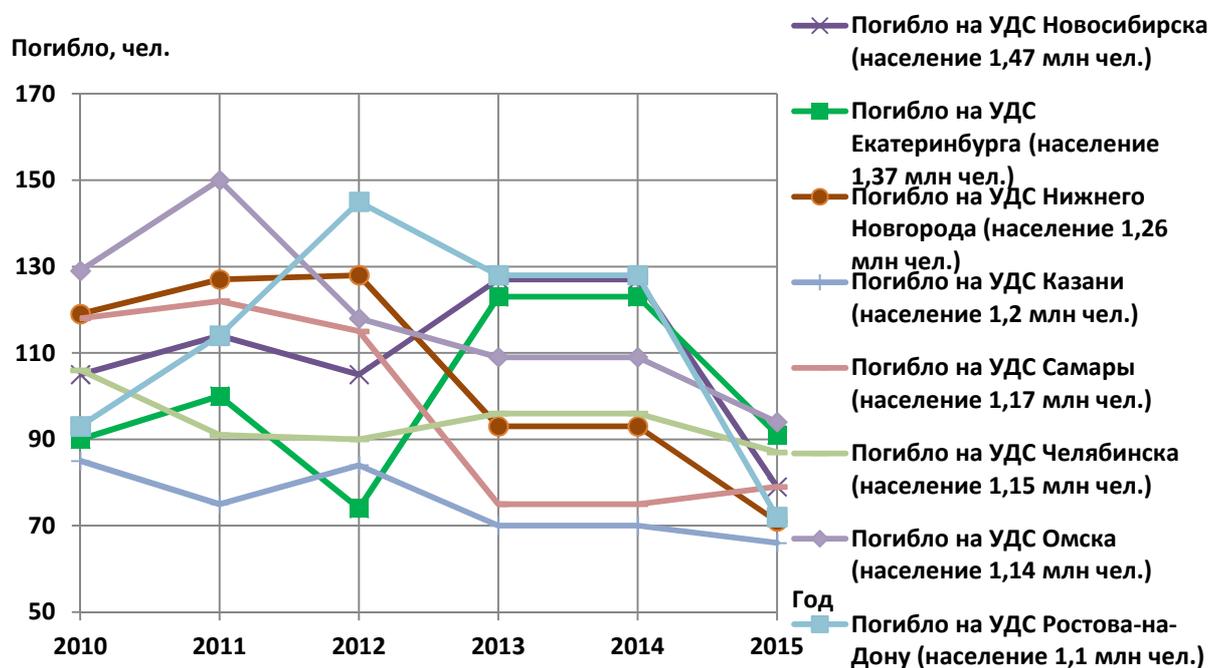


Рисунок 1.18 – Статистика погибших в ДТП на УДС мегаполисов РФ

При этом на регулируемые пересечения (РП) улично-дорожных сетей РФ приходится до 50 % ДТП. Отсюда в расчетном 2012 году на них в РФ погибло около 10 497 чел. В мегаполисе Санкт-Петербург на РП приходится около 22 % ДТП [164], что составляет – 98 чел. В качестве доказательства, приведенной величины ДТП (22 % см. таблицу 2.7) с летальным исходом на РП в Санкт-Петербурге, служит использование теоретических и практических результатов исследований с участием диссертанта в Государственном контракте №НИР-29 от 10.09.2014 г. В контракте проведены исследовательские работы "Анализ эф-

фективности действующих схем организации движения на одноуровневых регулируемых перекрестках, оценке уровня безопасности дорожного движения на каждом из них и формирование предложений по его повышению для нужд Санкт-Петербурга". Исследования по теме проведены по Техническому заданию на выборке 77 светофорных объектов (см. таблицу 2.8) с целью выявления преимуществ в эффективности использования одной из трех эквивалентных методик: – оценки безопасности движения (БД)  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  (доц. Плотников А. М./СПбГАСУ), – оценки опасности  $K_a$  (проф. Лобанов Е. М./МАДИ) и оценки конфликтной загрузки  $R_{Шел}$  (канд. тех. наук Шелков Ю. Д./НИЦ ГАИ МВД России), в сравнении их результатов уровней БД на сходимость, как между собой, так и на отражение практической статистики по ДТП на УДС мегаполиса Санкт-Петербург за пятилетний период со смертельными исходами и тяжелыми увечьями.

Исследования, проведенные по Госконтракту на примере действующих 77 регулируемых светофорами пересечениях (перекрестках) УДС мегаполиса Санкт-Петербурга совпадают и подтверждают тенденцию демонстрации на рисунке 1.16, сложившегося многолетнего кризиса с ДТП в России.

Снижение числа ДТП только в одном звене автодорожного комплекса водитель – автомобиль – дорожная среда (ВАДС) на регулируемых пересечениях на 28,82 % относительно потерь 2012 года – сохранит ежегодно жизнь в РФ – 3 025 чел. (в Санкт-Петербурге – 28 чел.). Социально-экономический эффект от такого снижения ДТП со смертельным исходом только от аварийности на одноуровневых регулируемых пересечениях (перекрестках) огромен. Он может составить для Санкт-Петербурга примерно 260,4 млн руб., а для РФ – около 28.1 млрд руб.

Такой ожидаемый социально-экономический эффект от реализации снижения числа погибших граждан за год – только на ОРП в Санкт-Петербурге (28 чел.) и в Российской Федерации (3 025 чел.) можно получить с использованием

принятой в России нормативной величины социально-экономического ущерба в 9,3 млн руб. от гибели в ДТП одного человека на 2010 год [173].

В статье «Яма безопасности» [200] приведена статистика смертности за 2013 – 27 025 человек (от ГИБДД России), что на 3,5 % меньше относительно 2012 г. Там сказано, что "смертность в ДТП – стабильно высокая, четверть аварий в России – из-за плохих дорог". В другой статье [81] "Кризис безопасности" даны цифры с летальным исходом от ненадежного состояния транспортных средств, составляющие до 7 %. Они ярко обсуждаются в прессе. Однако, с прошлого столетия [132, 87], нет фундаментальных научно-исследовательских работ в Российской Федерации и "жарких" дискуссий в прессе по такому аварийному сегменту УДС, как регулируемые пересечения (РП). В публикациях и докладах [13, 84, 136, 142-146, 148, 149, 152, 153, 155-157, 159-161, 163, 164] все последние 10 лет обращается внимание на то, что на РП генерируются до 50 % ДТП с летальным исходом от общего числа смертности на дорогах городов и населенных пунктов России. Стабильность такой аварийности на РП продолжается и сегодня из-за имеющихся и действующих на них нерешенных нижеследующих основных проблем:

- разрешение, имеющее место в ПДД РФ, сначала левоповоротным транспортным потокам (ТП) "просачиваться" через встречные ТП, а потом через ПП (правым ТП через ПП тоже);

- применение устаревших схем организации движения (СОД) с высокой конфликтной загрузкой (КЗ) и малоизменяющейся инфраструктуры 1980 годов – при резком ежегодном росте численности транспорта в РФ.

Сегмент РП на УДС настолько аварийно опасный, что в странах Европы, Америки, Индокитая и других усиленно строят многоуровневые развязки на пересечениях дорог, что обеспечивает уход от одноуровневых пересечений в транспортных и пешеходных потоках. В России работы такого направления находятся только в зачаточном состоянии. Одной из основных причин сегодняшнего кризиса с безопасностью движения (БД) в мегаполисах и населенных

пунктах РФ – это игнорирование рекомендательно действующего в России нормативно-правового документа [170] в части Приложения 2 – Оценка безопасности движения на пересечениях в одном уровне. Многолетнее игнорирование его требований при проектировании и модернизации светофорных объектов для РП и привело к сегодняшнему кризису с БД.

Такой вывод вытекает из анализа источников [7, 70, 72, 74, 87, 108, 112, 132, 154, 190, 203] по проектированию и модернизации организация дорожного движения (ОДД) на любом РП, которые направлены на расчет и максимизацию **пропускной способности движения транспортных средств (ТС)**. Причем такой подход имеет место, как для РП, так и для систем АСУ ДД (автоматизированных систем управления дорожным движением) улично-дорожных сетей. При этом расчеты оценки уровня БД на РП проектировщиками транспортной инженерии игнорируются, а с молчаливого согласия контролирующих органов **предполагается, что условия обеспечения «необходимой» БД участников движения на РП выполняются.**

Поскольку Российские проектировщики РП не оценивают и не паспортизируют их уровень БД в количественно-нормативных значениях (ед.), как этого рекомендуют действующие методические документы [170, 122] в части опасности пересечений или конфликтной загрузки ( $R_{\text{Шел}}$ ) [132] на регулируемых пересечениях, то этот процесс необходимо кардинально изменить. На первое место в проектных разработках РП рекомендуется поставить оценку БД, а на второе – пропускную способность, зависящую от цикла светофорной сигнализации.

В диссертационной работе проведен анализ и исследование обоих известных методов [132, 87] оценки БД, которые строятся на выявлении конфликтных точек в моделях схем организации движения (СОД) с конфликтной загрузкой (КЗ) на РП и минимизации их как по видам, так и по количеству. Поскольку наиболее простым оказался известный метод оценки БД на РП [132]  $R_{\text{Шел}}$ , то он был принят за основу при разработке авторских [164, 160, 143132, 87, 108, 157] оценок БД для  $R_{\text{Гл}}$  и  $R_{\text{Глmax}}$  (см. раздел 2.3). Эти оценки, использованы в

Госконтракте (№НИР-29) и в диссертационной работе. Они более адекватно определяют конфликтные загрузки (КЗ) пересечений (перекрестков), характеризующие уровень БД на них.

При этом конфликтные точки между транспортно-пешеходными потоками (ТПП) на РП разделены на:

- опасные "пересечения" ("просачивания") между потоками «транспорт-пешеход» и «транспорт-транспорт»;
- менее опасные – на "слияние" разных попутных транспортных потоков (ТП) между собой и на "отклонение" (разделение) ТП на несколько ТП с разными направлениями движения. Также учитываются и конфликтные точки в виде "наезд сзади".

Технология разработки моделей схем организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) заключается в том, что на традиционные пофазные схемы управления ТПП наносятся все имеющиеся в каждой фазе конфликтные точки (КТ). При этом, используя соответствующую формализацию обозначений направлений движений ТПП из блок-схем функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в моделях САУ БДД для мало- и многополосных Х- и Т-образных РП (см. рисунки 1.7 – 1.12), можно получить и соответствующие для них формализованные модели СОД с КЗ.

Полученные по такой технологии модели СОД с КЗ позволяют решать классификационные задачи минимизации в них числа КТ методами управления безопасностью движения (т. е. изменениями конфликтной загрузки). Одновременно накладываются ограничения на параметры РП – через полосность, интенсивность ТПП, пропускную способность  $z$  ( $< 0,9$ ) длительность  $T_{\text{ц}}$  (от 25 до 120 с) цикла светофорного регулирования, временные интервалы "терпеливого ожидания" для водителей ( $\leq 120$ с) и пешеходов ( $\leq 40$ с).

Из литературных источников [72, 74, 87, 112, 132, 190] известно, что основная доля ДТП (до 50 %) на одноуровневых регулируемых пересечениях происходят в так называемых конфликтных точках (КТ). Такими КТ являются

места пересечений в одном уровне траекторий транспортных средств или транспортных средств (ТС) и пешеходов, а также (в меньшей степени) и места отклонений и слияний ТС. Число КТ, являясь маркерами конфликтной загрузки, определяет соответствующую вероятность возникновения ДТП и уровень опасности дорожного движения на РП. Фактор влияния КТ на безопасность дорожного движения был обстоятельно исследован проф. Е. М. Лобановым [112], но при низкой интенсивности движения транспорта восьмидесятых годов прошлого столетия и не касался системной оценки и минимизации уровней оценки опасности регулируемых пересечений. Сегодня, когда резко возросла интенсивность движения транспорта и пешеходов, а инфраструктура на РП мало изменилась, проблема исследования фактора влияния конфликтной загрузки от вариаций численности КТ в моделях СОД с КЗ чрезвычайно востребована практикой обеспечения БД на пересечениях.

Исследования при таком подходе позволят существенно уменьшить число ДТП на РП, т. к. на этапе проектирования его моделей СОД с КЗ в них можно полностью устранить конфликтные точки или существенно снизить их число, что обеспечит требуемый уровень БД по нормативам [122, 170]. Методы и методики, решающие такую задачу разработаны и освещены автором [13, 143, 145, 157, 163, 164]. Они предусматривают обязательную реализацию типового альтернативного (не менее двух вариантов) проектирования СОД с КЗ при количественной оценке БД каждого из вариантов с последующей оптимизацией, по необходимости и расчета для них пропускной способности РП.

Один из двух, разработанных методов (см. подраздел 2.4) позволяет решать задачи оценки БД в альтернативных моделях СОД с КЗ и проводить технической аудит на любых видах РП. Это дает возможность по предварительной (диагностической) оценке БД планировать текущие и перспективные мероприятия по быстрореализуемой и малозатратной модернизации РП с заданной транспортной эффективностью по требуемой БД при целесообразной пропускной способности.

В связи с изложенным, предлагается действующие САУ движением на РП преобразовать в САУ БДД с возможностями методологического решения следующих исследовательских задач:

1. Разработка блок-схем функциональных элементов подсистем контроля (измерения) и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта для регулируемых пересечений с методами и алгоритмами обеспечения безопасности движения чувствительных к виду и числу конфликтных точек.

2. Разработка методов диагностической и уточненной оценки эффективности управления уровнями обеспечиваемой безопасности движения на РП.

3. Разработка методики проектирования моделей схем организации движения на Х- и Т-образных РП и классификации их по уровням конфликтной загрузки, реализуемым методам управления, нормативным уровням требований к безопасности движения и видам маневрирования транспортных средств.

4. Разработка методики оценки безопасности движения (БД) и пропускной способности разнополосных Х - и Т-образных РП по их моделям схем организации движения с конфликтной загрузкой при разных методах пофазных разъездов транспортных и пешеходных потоков.

5. Разработка методики оценки безопасности движения на разнополосных Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях (НП) по моделям схем их организации движения с конфликтной загрузкой.

6. Разработка методик оценки транспортной эффективности по безопасности движения и пропускной способности схем организации движения РП на полунатурном тренажере РП и в полевых условиях функционирования 77 РП Санкт-Петербурга.

### **Выводы по главе 1**

До настоящего времени управление движением на РП улично-дорожных сетей (УДС) в мегаполисах РФ предпочтительно и повсеместно осуществляется системами автоматического управления (САУ) движением по простейшим схемам организации движения с двухфазным методом управления (разъездом)

транспортно-пешеходных потоков (ТПП). Предполагается, что разъезд ТПП идет с обеспечением безопасности дорожного движения (БДД, т.е. БД) при условиях выполнения ПДД РФ водителями и пешеходами. Такие САУ оказались живучи и более трех десятилетий в угоду высокой пропускной способности на перекрестках (пересечениях в одном уровне) применяются на практике в ущерб обеспечению "требуемого уровня" БД по действующим нормативам.

Это привело Россию к проблемам высокой ежегодной статистической смертности по ДТП на УДС, в том числе и в ее узлах – регулируемых светофорами пересечениях. Сложился определенный "консерватизм" и крен к повсеместному использованию схем организации движения (СОД) с устаревшими методами пофазного управления движением по пиковым режимам интенсивности ТПП. Проектирование СОД осуществляется в РФ без маркерной иллюстрации конфликтной загрузки (КЗ) на пересечениях, как регулируемых, так и нерегулируемых светофорами, причем на безальтернативной основе, а значит без расчетов цифровых оценок уровней БД и их паспортизации БД. При этом оценочные расчеты БД в РФ не ведутся ни по действующему методу оценки *степени опасности пересечения*, которым оценивают *показатель безопасности движения* (Е. М. Лобанова/МАДИ [112]) на регулируемых и нерегулируемых пересечениях (РП) и (НП) ни по известному методу (Ю. Д. Шелкова/НИЦ ГАИ МВД России [87]).

Для повышения эффективности действующих алгоритмов управления безопасностью дорожного движения на регулируемых пересечениях в заключении раздела 1.5 сформулированы новый методологический подход и технология решения проблемных задач для обеспечения безопасности движения в САУ движением на РП улично-дорожных сетей мегаполисов в современных условиях высоких колебаний интенсивности движения ТПП и устаревшей инфраструктуры.

## **ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК МНОГОФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНО-ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ**

### **2.1 Обоснование множества факторов, влияющих на транспортную эффективность движения транспортно-пешеходных потоков на РП, и методики ее оценки (без учета фактора безопасности движения (БД) на РП)**

Считается [7, 13, 72, 74, 84, 87, 108, 112, 132, 142, 143, 154, 155, 157, 160, 164, 165, 172, 190, 203], что при традиционно-используемом в России двухфазном методе (I) управления на одноуровневых регулируемых пересечениях (РП), работающих в системе автоматического управления (САУ) обеспечиваются: – максимальная пропускная способность и допустимая безопасность движения (БД) – при соблюдении требований Правил дорожного движения РФ [85]. Однако, правомерно такое утверждение только для низких интенсивностей движения транспортных потоков (до 50 авт. на 1000 жителей) на РП, т. е. для автомобилизации периода 1980-х годов Советского союза. Сегодня интенсивность ТП в мегаполисах России возросла до 350 авт., а инфраструктура на РП с двухфазным методом управления, в основном, как была, так и остались без изменений. К чему это привело с уровнем БД и числом ДТП с летальным исходом изложено неоднократно [188, 200].

В связи с этим в диссертационной работе рекомендовано поставить на первое место расчет оценки уровня БД с целью его адаптивного отслеживания в САУ БДД (см. рисунок 1.1) и поддержания на заданном уровне – при разработке различных методов I, II и III (см. таблицу 3.3) управления на РП. При этом расчету целесообразной пропускной способности, напрямую зависящей от длительности цикла светофорного регулирования ( $T_{\text{ц}}$ ) и других его элементов отводится второе место по значимости при проектировании светофорных объектов на РП после обеспечения расчетной оценки уровня заданной дорожной безопасности.

Известная [87, 88, 132] последовательность классического расчета параметров светофорной сигнализации в схемах организации движения (СОД) на РП для пофазного I метода управления разъездом транспортных средств (ТС) изложена ниже. Ее изложение проведено с учетом ограничений на разрешение "просачиваний" ТС между собой и с пешеходами. Поэтому расчет  $T_{\text{ц}}$  на РП в настоящей работе производится (см. разделы 2.3, 4.3 и приложения П.1 - П.5) всегда после расчета оценки уровня безопасности движения БД, как второй по значимости критерий эффективности управления на регулируемом пересечении.

Последовательность расчета ключевого параметра  $T_{\text{ц}}$  цикла светофорной сигнализации, который влияет на пропускную способность РП, а также на задержки ТС и резерв пропускной способности идет по источникам [87, 88, 132].

Минимальная длительность цикла регулирования светофорной сигнализации для РП с пофазным (I) методом управлением для СОД в условиях случайного прибытия транспортных средств рассчитывается по общепринятой формуле Ф. Вебстера [87, 210]. Она получена им на основе минимизации транспортной задержки [88] и имеет вид:

$$T_{\text{ц}} = (1,5T_{\text{п}} + 5) / (1 - Y), \quad (2.1)$$

где  $T_{\text{п}}$  – суммарное время длительности промежуточных тактов (переходных интервалов), с;  $Y$  – расчетная сумма фазовых коэффициентов (т. е. сумма максимальных фазовых коэффициентов).

Исходя из требований обеспечения безопасности дорожного движения, длительность цикла не рекомендуется допускать меньше 25 с и больше 120 с. Если по расчету  $T_{\text{ц}} < 25$  с, то необходимо увеличить длительность цикла до 25 с. Если по расчету  $T_{\text{ц}} > 120$  с, то необходимо добиться снижения длительности цикла.

В качестве рекомендательных мероприятий могут быть следующие:

- увеличить число полос на подходе к регулируемому пересечению;

- запретить отдельные маневры (организовать отнесенный левый поворот);
- уменьшить число фаз регулирования;
- организовать пропуск интенсивных транспортных потоков в течение двух и более фаз регулирования;
- установить дорожные знаки или сделать разметку с запрещением или предписанием выполнения определенных маневров;
- ввести прерывания (т. е. отсечки с введением квазифаз) движений для неуравновешенных прямых встречных транспортных потоков;
- организовать отдельную пешеходную фазу запрещающую «просачивания» в конфликтных точках пересечений «транспорт-пешеход» или подземный, надземный пешеходный переход (ПП);
- внедрить инновационную автоматическую самоорганизацию и адаптацию структурных СОД с трансформацией их транспортных светофоров [133, 134], например, из типа Т.1 в тип Т.1пл и наоборот по ГОСТ Р 52282-2004 с соответствующей синхронной специализацией движений в крайних полосах через дорожные знаки движения по полосе 5.15.2.

Рассчитать по формуле длительность основных тактов в  $i$  фазе, с:

$$t_{oi} = \frac{(T_{\text{ц}} - T_{\text{п}})y_i}{Y}, \quad (2.2)$$

где  $i$  – номер фазы регулирования;  $y_i$  – расчетный фазовый коэффициент фазы  $i$ .

Для определения в каждой фазе расчетного фазового коэффициента необходимо найти значения отношений интенсивности движения к потоку насыщения для всех подходов к перекрестку (т. е. для каждой полосы), по которым происходит движение во время этой фазы, и выбрать наибольшее из этих значений:

$$y_i = \max(N_{ij} / M_{Hij}), \quad (2.3)$$

где  $N_{ij}$  – интенсивность  $j$ -го транспортного потока (ТП), пропускаемого через перекресток в фазе  $i$ , ед./ч;  $M_{Hij}$  – поток насыщения  $j$ -го ТП, пропускаемого через перекресток в фазе  $i$ , ед./ч.

Если движение какого-либо ТП идет в течение двух и более фаз регулирования, то для него отдельно рассчитывают фазовый коэффициент  $y_i$ , который не участвует в расчете цикла регулирования  $T_{ц}$ , однако он должен быть не более суммы расчетных коэффициентов тех фаз, в течение которых пропускается этот ТП.

Ф. Вебстер, разрабатывая математическую модель движения ТС через пересечение (перекресток), принял допущение о регулярном (не случайном) прибытии ТС к перекрестку и получил простейшее математическое соотношение:

$$N_{ij}T_{ц} \approx M_{Hij}t_{oi} . \quad (2.4)$$

Из этого математического соотношения (модели) движения следует, что ТС, которые прибывают к перекрестку с реальной интенсивностью  $N_{ij}$  в  $j$ -м направлении в течение времени, равном циклу регулирования ( $T_{ц}$ ), покидают перекресток в течение основного такта ( $t_{oi}$ ) в  $i$ -й фазе с интенсивностью потока насыщения ( $M_{Hij}$ ).

При этом длительность промежуточного такта («переходного интервала» –  $t_{iv}$ ) в  $i$ -й фазе должна быть такой, чтобы ТС в момент выключения разрешающего сигнала, которое находясь на некотором расстоянии от «стоп линии» равном или меньшем его остановочного пути, имело возможность (двигаясь безостановочно со средней скоростью ТП) миновать все конфликтные точки на перекрестке до того как их достигнет другое ТС, начинающие движение в следующей фазе.

Формула расчета длительности промежуточного такта (промтакта), с:

$$t_{pi} = v_a / (7,2a_{т}) + [3,6(l_i + l_a)] / v_a , \quad (2.5)$$

где  $v_a$  – средняя скорость ТС при движении на подходе к перекрестку и в зоне перекрестка без торможения (с ходу для прямого движения – 50 км/ч, а для по-

воротного – 25 км/ч), км/ч;  $a_T$  – среднее замедление ТС при включении запрещающего сигнала (для практических расчетов может быть равным 3–4 м/с<sup>2</sup>);  $l_i$  – расстояние от «стоп – линии» до самой дальней конфликтной точки пересечения с ТС, начинающим движение в следующей фазе, м;  $l_a$  – длина ТС, наиболее часто встречающегося в потоке (для легкового автомобиля – 5 м), м.

В период промежуточного такта заканчивают движение и пешеходы, ранее переходившие улицу на разрешающий сигнал светофора. За время  $t_{pi}$  пешеход должен или вернуться на тротуар, откуда он начал движение, или дойти до середины проезжей части (островка безопасности, центральной разделительной полосы, линии, разделяющей потоки встречных направлений).

Максимальное время, требуемое для этого пешеходу в  $i$ -й фазе:

$$t_{pi(\text{max})} = B_{\text{пш}} / 4v_{\text{пш}}, \quad (2.6)$$

где  $B_{\text{пш}}$  – ширина проезжей части, пересекаемый пешеходами в  $i$ -й фазе регулирования, м;  $v_{\text{пш}}$  – расчетная скорость движения пешеходов: принимают 1,3 м/с.

В качестве промтакта выбирают наибольшее значение из  $t_{pi}$  и  $t_{pi(\text{max})}$ .

Независимо от результатов расчета длительность минимального переходного интервала должна быть не менее 3 с. Если промтакт более 4 – 8 с, то он состоит из двух и более промежуточных тактов (рисунок 1.14, б). То есть первый промтакт это желтый сигнал, длительность которого во всех случаях составляет 3 с, затем следует второй и третий промтакты, длительность последнего определяется как 2 с – красного с желтым сигналом и оставшаяся часть промтакта 1 с – красный сигнал. В такте 3 (рисунок 1.14, б) горит красный сигнал – "кругом красный".

Непосредственно перед зеленым сигналом в фазе 2 (рисунок 1.14, а и б) включаются одновременно желтый и красный сигналы (как вспомогательный сигнал, т. е., "второй промтакт"). Длительность их действия не должна превышать 2 с. Длительность завершающего промтакта определяется оставшейся ча-

стью переходного интервала и обозначается красным сигналом (риснок 1.14, б). Таким образом, в течение переходного интервала для повышения безопасности движения должен быть реализован в конфликтующих направлениях такт "кругом красный".

В целях снижения транспортной задержки длительность промтактов не назначают более 8 с, а при необходимости рассматривают варианты устройства промежуточных "стоп-линий".

Исходя из безопасности движения длительность основного такта ( $t_{oi}$ ) должна быть не менее 7 с. Если же длительность  $t_{oi}$  меньше 7 с, то ее необходимо увеличить до 7 с. Длительность основных тактов необходимо проверить на обеспечение пропуска в соответствующих направлениях пешеходов и трамвая.

Длительность сигнала, разрешающего движение пешеходов, в секундах:

$$t_{\text{пш}} = B_{\text{пш}} / v_{\text{пш}} + 5, \quad (2.7)$$

где  $B_{\text{пш}}$  – ширина проезжей части, пересекаемой пешеходами, м;  $v_{\text{пш}}$  – скорость движения пешеходов (обычно принимается равной 1,3 м/с).

При движении трамвая длительность разрешающего сигнала:

- для пропуска одного поезда за один цикл

$$t_{\text{тр}} = [3, 6(l_i + l_{\text{тр}})] / v_{\text{тр}}; \quad (2.8)$$

- для пропуска двух поездов за один цикл

$$t_{\text{тр}} = [3, 6(l_i + 2l_{\text{тр}} + \Delta l)] / v_{\text{тр}}, \quad (2.9)$$

где  $l_i$  – путь движения трамвая от "стоп-линии" до самой дальней конфликтной точки (ДКТ) с ТС, начинающим движение в следующей фазе, м;  $l_{\text{тр}}$  – длина трамвайного поезда, м;  $\Delta l$  – дистанция между поездами (не менее 60 м при скорости 20 км/ч);  $v_{\text{тр}}$  – скорость движения трамвая в пределах перекрестка, км/ч.

Если какие-либо значения  $t_{\text{пш}}$  и (или)  $t_{\text{тр}}$  – оказались больше рассчитанной ранее длительности соответствующих основных тактов, то окончательно принимают новую, уточненную длительность этих тактов. Она равна наибольшему значению  $t_{\text{пш}}$  или  $t_{\text{тр}}$ . В таком случае не будет оптимального соотношения фаз в цикле регулирования, так как нарушается условие пропорциональности между  $t_{oi}$  и  $y_i$ . Поскольку при большем  $t_{oi}$  в конфликтующем направлении накапливается в ожидании разрешающего сигнала большее число ТС, которые получают право на движение в других фазах, где основные такты могли остаться без изменения.

Такое нарушение пропорциональности не приводит к существенному возрастанию транспортной задержки, если  $t_{oi}$  и  $t_{\text{пш}}$  (или  $t_{\text{тр}}$ ) незначительно отличаются друг от друга (на 4–5 с). В этом случае можно  $t_{oi}$  увеличить до  $t_{\text{пш}}$  (или  $t_{\text{тр}}$ ) и соответственно увеличить длительность цикла  $T_{\text{ц}}$ .

При существенном отличии указанных параметров требуется восстановить оптимальное соотношение длительности фаз в цикле, т. е. скорректировать длительность цикла  $T_{\text{ц}}$ . Уточненная длительность цикла  $T_{\text{ц}}^*$  в секундах имеет вид:

$$T_{\text{ц}}^* = B/2A + \sqrt{B^2/4A^2 - C/A}, \quad (2.10)$$

где  $B = 2,5T_{\text{п}} - T_{\text{п}}y_{\text{н}} + T_{\text{o}}^* + 5$ ;  $A = 1 - y_{\text{н}}$ ;  $C = (T_{\text{п}} + T_{\text{o}}^*)(1,5T_{\text{п}} + 5)$ ;  $T_{\text{п}}$  – суммарная длительность всех переходных интервалов в цикле, с;  $y_{\text{н}}$  – сумма расчетных фазовых коэффициентов, основные такты которых для фаз не уточнялись по условиям пешеходного и трамвайного движения;  $T_{\text{o}}^*$  – суммарная длительность основных тактов, уточненных по пешеходному и трамвайному движению, с.

Новая длительность основных тактов  $t_{oi}^*$  – в секундах, не уточнявшихся по пешеходному и трамвайному движениям, имеет вид:

$$t_{oi}^* = \left[ (T_{\text{ц}}^* - T_{\text{п}}) T_{\text{ц}}^* y_i \right] / (T_{\text{ц}}^* - 1,5T_{\text{п}} - 5). \quad (2.11)$$

Коррекция цикла, обычно, связана с обеспечением безопасных условий движения пешеходов. Она приводит к возрастанию цикла и, следовательно, к росту транспортной задержки. Устройство островков безопасности позволяет организовать поэтапный пропуск пешеходов, что способствует снижению  $t_{\text{пш}}$  и тем самым позволяет избежать коррекции цикла.

Качество различных вариантов моделей схем организации движения (СОД) на перекрестке оценивают средней задержкой транспортных средств [87, 122]. С этим показателем непосредственно связана степень насыщения направления движения  $\chi$ , которая представляет отношение среднего числа прибывающих  $N_{ij}$  в данном направлении  $j$  к перекрестку в течение цикла  $T_{\text{ц}}$  транспортных средств к максимальному числу  $M_{\text{Нij}}$ , покинувших перекресток в том же направлении в течение разрешающего сигнала  $t_{oi}$  в  $i$  фазе:

$$\chi = N_{ij} T_{\text{ц}} / (M_{\text{Нij}} t_{oi}), \quad (2.12)$$

где  $N_{ij}$  и  $M_{\text{Нij}}$  – соответственно реальная интенсивность движения и поток насыщения в данном направлении, ед./ч;  $t_{oi}$  – длительность основного (зеленого сигнала) такта в том же направлении, с;  $i$  и  $j$  – номер фазы и направление в фазе соответственно.

Состояние "затора" в рассматриваемом направлении возникает при  $\chi > 1$ . Для обеспечения резерва пропускной способности надо стремиться к значению  $\chi = 0,85 \div 0,90$  (не более). Немаловажным, с точки зрения максимального использования пропускной способности перекрестка, является отсутствие малонасыщенных направлений и их равномерная загрузка.

*Расчет пропускной способности РП без оценки БДД по Фишельсону-Булавиной*

По Фишельсону [7, 190] пропускная способность магистрали в сечении "стоп-линии" на перекрестке определяется пропускной способностью одной

полосы, количеством полос движения, организацией движения в узле, режимом регулирования.

Пропускной способностью полосы улиц и дорог регулируемого движения на пересечении (перекрестке) называется зависящее от условий и организации движения максимальное количество транспортных средств, проходящих по полосе (через линию – стоп) в течение 1 ч в одном направлении при соблюдении условий безопасности движения.

На любом одноуровневом регулируемом пересечении (РП) происходит расчленение транспортного потока на прямое, правоповоротное и левоповоротное движение транспортных средств (ТС). Особые осложнения вызывает левый поворот потока, который при слитном его осуществлении, включая и прямое движение, перекрывает сразу два взаимно пересекающихся направления, а потому требует особой фазы регулирования. На регулируемых пересечениях всегда были и будут проблемными пересечения с наличием правых и левых поворотов транспорта. Проблемы возникают тогда, когда по действующим ПДД РФ левоповоротным ТС вначале допускается методом "просачивания" сделать поворот в разрыве встречного транспортного потока, а потом, как и правоповоротным ТС, разрешается пересечь методом "просачивания" пешеходные потоки, выжидая "безопасные" разрывы в этих потоках. Условия организации движения выражаются через долю времени от продолжительности цикла, выделяемого для движения транспортных средств в каждом направлении, в котором определяется пропускная способность ( $t_{\downarrow z}/T_{\downarrow ц}$ ).

При определении пропускной способности полосы проезжей части на перекрестке в сечении "стоп-линии" принимают простую модель с двумя допущениями:

- все транспортные средства (ТС) проходящие через рассматриваемый перекресток, задерживаются светофором;
- все автомобили после включения зеленого сигнала проходят перекресток с одинаковой скоростью и с равными интервалами времени.

Первое допущение приемлемо для реальных условий движения большой интенсивности при полном использовании пропускной способности полосы проезжей части.

Второе допущение также приемлемо, так как после накопления автомобилей перед перекрестком начальная фаза движения характеризуется общей для всех ТС скоростью и примерно одинаковым интервалом, независимо от динамических качеств и марок ТС.

Пропускную способность одной полосы проезжей части в сечении стоп – линии регулируемого пересечения определяют следующим образом [190]:

$$N_{\text{п}} = \frac{3600(t_3 - t_a)}{T_{\text{ц}} t_n}, \quad (2.13)$$

где  $t_3$  – продолжительность зеленой фазы для рассматриваемого направления движения ТС, с;  $T_{\text{ц}}$  – продолжительность цикла регулирования, с;  $t_a$  – отрезок времени между включением зеленого сигнала светофора и пересечением "стоп – линии" первым ТС, с;  $t_n$  – средний интервал прохождения автомобилей через "стоп-линию", с.

Величина  $t_a$  зависит от степени внимательности и опыта водителя и практически колеблется в пределах от 1 до 3 с. Для расчетов можно принимать  $t_a = 2$  с.

Интервал движения  $t_n$  составляет для легковых автомобилей 2–3 с, для грузовых автомобилей 3–5 с. В условиях смешанного транспортного потока (ТП) рекомендуется брать  $t_n = 3$  с.

При наличии однополосных улиц на пересечении рекомендуется снижать интервал движения до  $t_n = 1,3$  с.

В формуле (2.13) решающим членом является отношение продолжительности зеленой фазы к длительности цикла регулирования  $\frac{(t_3 - t_a)}{T_{\text{ц}} t_n}$ . Правила дорожного движения РФ разрешают движение через перекресток в прямом направлении с любой полосы проезжей части, если крайние полосы не специали-

зированы (дорожной разметкой и дорожными знаками) только для левых или правых поворотов.

При этом водители, проезжающие перекресток в прямом направлении, избегают занимать крайнюю левую полосу проезжей части, которая предназначена для левых поворотов. Поскольку, транспорт, следующий налево, останавливается в центре перекрестка и, тем самым задерживает идущих за ним в прямом направлении. Что же касается правых поворотов, то они легко сочетаются с прямым движением, если нет пересечения пешеходного потока, а если есть пересечение пешеходного перехода, то проблемы с задержкой так же возникают.

1. Рассмотрим простые пересечения по методу Булавиной [7].

*1-й случай*

В сечении "стоп-линии" перекрестка – две полосы движения. Прямые потоки занимают обе полосы, правые повороты осуществляются с крайней правой полосы, левые – со второй, создавая при этом помехи для следующего за ним прямого потока.

Движение транспорта в данном сечении во всех направлениях осуществляется за одну фазу. Пропускная способность магистрали в сечении "стоп-линии" ( $N_m$ ) определяется по формуле

$$N_m = \eta N_{\Pi}, \quad (2.14)$$

где  $\eta$  – коэффициент, снижающий пропускную способность за счет помех от лево-поворотного движения и зависящий от доли левого поворота  $\eta = f(\alpha)$ , рекомендуется [190] принимать в соответствии с данными таблицы 2.1, где  $\alpha$  доля левоповоротных транспортных средств.

Таблица 2.1– Доля левоповоротных транспортных средств

$\eta$	2,0	1,65	1,60	1,55	1,50
$\alpha, \%$	0	10	20	30	40

Если в сечении только одна полоса движения для всех направлений, то следует принимать  $\eta = f(\alpha)$  по таблице 2.2.

Таблица 2.2

$\eta$	1,0	0,65	0,60	0,55	0,50
$\alpha, \%$	0	10	20	30	40

*2-й случай*

В сечении "стоп-линии" перекрестка – три и более полосы движения, регулирование осуществляется без дополнительных секций, все направления движения разрешены на одну общую зеленую фазу. Указатели распределения направлений по полосам отсутствуют либо предписывают такое распределение.

В этом случае пропускная способность проезжей части определяется по формуле:

$$N_m = \eta_n N_n (n-1), \quad (2.15)$$

где  $n$  – количество полос движения в сечении "стоп-линии";  $\eta_n$  – коэффициент, учитывающий пропускную способность полосы левоповоротного движения:

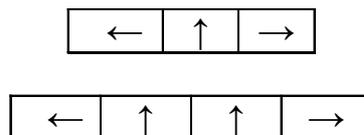
$$\eta_n = \frac{P + P_n}{P}, \quad (2.16)$$

где  $P$  – общее количество транспортных средств в сечении "стоп-линии" в час;  $P_n$  – количество транспортных средств в сечении, совершающих левый поворот в час.

При отсутствии данных наблюдений принимается  $\eta_n = 1,1-1,2$ .

*3-й случай*

В сечении "стоп-линии" – три и более полос движения. Регулирование осуществляется без дополнительных секций, все направления движения разрешены на одну общую фазу. Распределение направлений по полосам предписывается следующее:



Две крайние полосы отводятся для поворотного движения, прямые потоки осуществляются с одной или двух внутренних полос.

Расчет пропускной способности производится по формуле:

$$N_M = \eta_n N_n (n-2), \quad (2.17)$$

где  $\eta_n$  – коэффициент, учитывающий пропускную способность полос поворотного движения:

$$\eta_n = \frac{P + P_{\Pi} + P_{\Delta}}{P}, \quad (2.18)$$

где  $P_{\Pi}$  – количество транспортных средств в сечении "стоп-линии", совершающих правый поворот в час.

При отсутствии данных наблюдений можно принимать  $\eta_n = 1,2-1,4$ .

При определении пропускной способности магистрали в условиях трех- и четырехтактного регулирования с дополнительными секциями для пропуска поворотных потоков необходимо учитывать, что полосы, предназначенные для правых и левых поворотов, не могут быть использованы прямым движением.

Это приводит к снижению пропускной способности транспортного узла. Расчет пропускной способности проезжей части в этом случае следует вести отдельно для полос движения в прямом направлении, правоповоротных и левоповоротных.

#### *4-й случай*

В сечении – три и более полос движения. Регулирование в узлах – 3-х или четырехтактное с дополнительными секциями. Крайняя левая сторона отведена для пропуска левоповоротного движения.

Потоки прямого направления и правоповоротного пропускаются на основную зеленую фазу продолжительностью  $t_3$  с, левоповоротные потоки пропускаются на дополнительную фазу продолжительностью  $t_{3л}$  с.

Пропускная способность проезжей части рассчитывается по формулам:

$$N_M = N_{1,2} + N_3, \quad (2.19)$$

где  $N_{1,2}$  – пропускная способность полос, отведенных для пропуска прямого и правоповоротного направлений;  $N_3$  – то же, для левоповоротного направления

$$N_{1,2} = N_n (n-1), \quad (2.20)$$

$$N_3 = \frac{3600(t_{зп} - t_a)}{T_{ц}t_n}, \quad (2.21)$$

### 5-й случай

В сечении – три и более полос движения. Регулирование в узлах – трех- или четырехтактное с дополнительными секциями. Крайняя правая полоса отведена для пропуска правоповоротного потока, крайняя левая – для левоповоротного. Потоки правоповоротного и левоповоротного направления пропускаются на дополнительную фазу продолжительностью  $t_{здоп}$  с, потоки прямого направления пропускаются на основную зеленую фазу продолжительностью  $t_3$  с. Пропускная способность проезжей части рассчитывается по формулам:

$$N_M = N_1 + N_2 + N_3, \quad (2.22)$$

где  $N_1$  – пропускная способность полос, отведенных для пропуска прямого направления;  $N_2$  – то же, для правоповоротного направления;  $N_3$  – то же, для левоповоротного направления;

$$N_1 = N_{\Pi} (n-2), \quad (2.23)$$

$$N_2 = N_3 = \frac{3600(t_{здоп} - t_a)}{T_{ц}t_n} \quad (2.24)$$

Рассчитанная по одной из формул (2.14, 2.15, 2.17, 2.19) или (2.22) пропускная способность проезжей части приравнивается к интенсивности насыщения и сравнивается с фактической интенсивностью движения  $N_a$  через известный уровень загрузки магистралей и узлов (перекрестков) по формуле:

$$z = \frac{N_a}{N_M} \leq 0,8 - 0,9. \quad (2.25)$$

Уровень загрузки не должен превышать:

- при 2-фазном (2-тактном) регулировании – 0,9;
- при 3-тактном регулировании – 0,85;
- при 4-тактном регулировании – 0,8.

Нарушение этих условий свидетельствует об исчерпании резерва пропускной способности магистрали в сечении "стоп-линии" или в узле в целом.

*Расчет пропускной способности РП без оценки БДД по зарубежным нормативам и отечественным методическим документам*

Американское руководство HCM 2000 [203, 171] содержит методологию для анализа пропускной способности и уровня обслуживания (*LOS*) пересечений автодорог со светофорным регулированием. В нем для пересечений (Х-образных) и примыканий (Т-образных) со светофорным регулированием движения очень подробно освещается проблема обеспечения уровней качества обслуживания с точки зрения пропускной способности узла (от *A* до *F*, где главным критерием является пропускная способность узла) и так называемой допустимой конфликтной интенсивности движения  $q_{Kzul}$ . В нем оценки безопасности движения (БД) не ведутся.

Отечественный отраслевой дорожный методический документ [121], разработанный коллективом: АНО "ИПБД", МАДИ, Иркутским ГТУ, Тихоокеанским ГУ, ФГУП "РОСДОРНИИ", ООО "ИНЭМДорТранс" по заказу Росавтодора в части пересечений автодорог со светофорным регулированием является компиляцией руководства HCM 2000. Для правоприменительной практики Российской Федерации маловероятно, что указанный методический документ найдет применение в среде разработчиков транспортной инженерии, так как в нем также не решаются задачи количественной оценкой ДБ на регулируемых пересечениях (перекрестках). В лучшем случае этот документ из-за своей перегруженности и сложности будет использован для справок.

Анализ разных методологий расчета пропускной способности регулируемых пересечений (перекрестков) указывает, что они напрямую зависят от пропускной способности составляющих ее элементов в инфраструктуре (полосности РП, конфликтности в движении транспорта, технического оснащения и пр.). При этом имеют место расхождения в терминологии понятий для определения пропускной способности и в принимаемых ограничениях.

Например, в руководстве HCM 2000 под пропускной способностью понимается максимально устойчивая интенсивность движения, при которой транспортный или пешеходный поток пересекает определенное сечение дороги при конкретном режиме регулирования, геометрических особенностях пересечения и других специфических условиях движения.

Пропускная способность полосы движения на регулируемом пересечении выражается в легковых автомобилях в час (приведенные ед./ч), и определяется по формуле:

$$c_{ij} = \frac{s_{ij} q_{ij}}{C}, \quad (2.26)$$

где  $c_{ij}$  – пропускная способность полосы  $i$  в течение фазы регулирования  $j$ , приведенные ед./ч;  $s_{ij}$  – поток насыщения полосы  $i$  в течение фазы регулирования  $j$ , приведенные ед./ч;  $q_{ij}$  – эффективная длительность фазы регулирования  $j$ , с;  $C$  – длительность цикла регулирования, с.

Очевидно, что пропускная способность подхода к перекрестку может быть увеличена за счет введения дополнительных выделенных полос движения для левоповоротных и правоповоротных потоков, а также других геометрических характеристик пересечения (радиусов кривых, направляющих островков и т. д.).

Согласно формуле (2.26) помимо геометрических параметров, изменение которых в соответствии с быстро меняющейся транспортной ситуацией невозможно, на пропускную способность регулируемого пересечения влияют потоки насыщения  $s_{ij}$ , эффективная длительность фаз  $q_{ij}$  и длительность цикла регулирования  $C$ .

В случаях, когда величину потока насыщения невозможно измерить на местности, используется величина "идеального потока насыщения" в сочетании с рядом поправочных коэффициентов, изменяющих ее в соответствии с местными характерными условиями. Так, например, в американском «Руководстве по пропускной способности дорог 1985» (1985 Highway Capacity Manual) поток на-

сыщения, равный 1800 приведенных ед./ч, рассматривается как "идеальный уровень насыщения"  $S_0$  и применяется в сочетании с поправочными коэффициентами. Поток насыщения  $S$  в конкретных дорожных условиях определяется по формуле:

$$S = S_0 \cdot N \cdot f_w \cdot f_{LU} \cdot f_G \cdot f_P \cdot f_{BB} \cdot f_A \cdot f_{RT} \cdot f_{LT}, \quad (2.27)$$

где  $S_0$  – идеальный поток насыщения, принятый равным 1800 (приведенных ед./ч);  $N$  – количество полос движения;  $f_w$  – коэффициент, учитывающий ширину полосы движения;  $f_{LU}$  – коэффициент загруженности полосы движения;  $f_G$  – коэффициент, учитывающий продольные уклоны;  $f_P$  – коэффициент, учитывающий паркирование;  $f_{BB}$  – коэффициент, учитывающий помехи, создаваемые автобусами;  $f_A$  – коэффициент, учитывающий тип территории;  $f_{RT}$  – коэффициент, учитывающий правые повороты (т. е. помехи создаваемые пешеходами);  $f_{LT}$  – коэффициент, учитывающий левые повороты.

Рекомендуемые значения коэффициентов, учитывающих влияние элементов улично-дорожной сети необходимо принимать по таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Коэффициенты учёта дорожных условий на УДС

Коэффициент, учитывающий	Формула	Переменные, используемые в расчете
Ширину полос $f_w$	$f_w = 1 + \frac{(b-3,6)}{9}$	$b$ – ширина полосы, м
Продольный уклон $f_G$	$f_G = 1 - \frac{i}{2000}$	$i$ – величина продольного уклона на подходе к перекрестку, %
Паркирование $f_p$	$f_p = \frac{n - 0,1 - \frac{18 n_m}{3600}}{n}$	$n$ – число полос в группе; $n_m$ – число маневров, связанных с паркированием, маневров/ч
Остановки автобусов $f_{BB}$	$f_{BB} = \frac{n - \frac{14,4 n_{ост}}{3600}}{m}$	$n$ – число полос в группе движения; $n_{ост}$ – число случаев остановки автобусов, автоб./ч
Тип территории $f_A$	в центральном районе $f_A = 0,9$ в других районах $f_A = 1,0$	–
Неравномерность загрузки полос $f_{LU}$	$F_{LU} = N_{гр} / (N_{гр \max} n)$	$N_{гр}$ – интенсивность движения в группе полос, прив ед./ч; $N_{гр \max}$ – интенсивность движения на максимально загруженной полосе в группе, приведенных ед/ч; $n$ – число полос в группе
Повороты налево $f_{LT}$	Бесконфликтное движение: выделенная полоса $f_{LT} = 0,95$ полоса с распределением потоков $f_{LT} = \frac{1}{1,0 + 0,05 P_{лп}}$	$P_{лп}$ – доля транспортных средств, поворачивающих налево в группе полос
Повороты направо $f_{RT}$	Выделенная полоса: $F_{RT} = 0,85$ полоса с распределением потоков $f_{RT} = 1,0 - (0,15) P_{пп}$ Однополосный подход: $F_{RT} = 1,0 - (0,135) P_{пп}$	$P_{пп}$ – доля транспортных средств, поворачивающих направо в группе полос

## 2.2 Разработка механизма формирования конфликтной загрузки на РП и методики оценки уровня обеспечиваемой безопасности движения для различных схем организации движения (СОД), как основного фактора БДД

Факторное пространство основных причин высокой аварийности в дорожном движении Российской Федерации, которое обеспечивает ежегодно низкий уровень БД (смертность около 10,5 тыс. чел.) на одноуровневых регулируемых пересечениях (РП) очень обширно. Перечень основных причин, превративших перекрестки в "генераторы" аварий на улично-дорожных сетях [142, 143, 145, 163] еще со времен Советского союза, можно сформулировать следующим образом:

1. Разрешенные (с 1970 годов) Правилами дорожного движения РФ [132, 165] схемы конфликтных маневров в транспортно-пешеходных потоках (ТПП) на одноуровневых регулируемых пересечениях (РП), представленные на рисунке 2.1 для ТПП имеют вид.

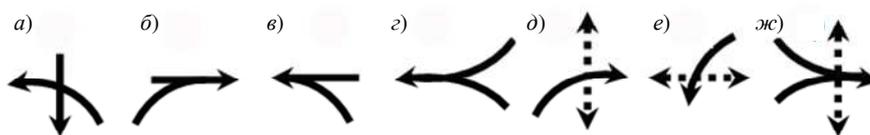


Рисунок 2.1 – Виды конфликтных маневров в ТПП на одноуровневых РП

Конфликтные маневры при зеленом сигнале транспортного светофора Т.1 допускают конфликтные точки пересечения ("просачивания") право- и левоповоротных транспортных потоков (ТП) через – движущиеся по разрешению пешеходные потоки (ПП) и левоповоротных ТП – через – встречные ТП, а также точки слияния транспортных средств (ТС) и ответвления ТС в общих полосах движения.

Регулируемые пересечения улично-дорожных сетей (УДС) мегаполисов в населенных пунктах РФ, повсеместно оборудованные современными системами автоматического управления (САУ) светофорной сигнализацией, до на-

стоящего времени не оцениваются на безопасность движения. При этом не используется скрытый потенциал возможностей оценки безопасности дорожного движения (БДД) далее безопасности движения (БД). Такой потенциал рекомендуется использовать для диагностики БД на РП и для обеспечения ее требуемых уровней безопасности движения на пересечениях по действующим нормативам [170]. В связи с этим необходимо использовать известные, рекомендуемые пороговые ограничения численных значений [87, 108, 121, 132, 157] конфликтующих транспортных и пешеходных потоков по рисунку 2.1 в нижеследующих пределах:

- на максимально допустимую интенсивность левоповоротного потока при конфликте, обеспечивающую допустимый (действующий по сегодняшним нормативам [122, 170]) уровень требований к безопасности движения (ДУТБД), для пересечения с левоповоротным ТП при конфликте, представленном на рисунке 2.1, *a*

$$N_{л} = 120k_i N_{i_{\max}} / N_i, \quad (2.28)$$

где  $k_i$  – коэффициент многополосности, принимается равным 1 для однопольного левоповоротного транспортного потока (ТП), 1,8 – для двухрядного, 2,46 – для трехрядного,  $N_{i_{\max}}$  – интенсивность ТП, взятая за основу расчета длительности фазы светофорного регулирования (как правило, максимальная интенсивность ТП в данной фазе), авт./ч;  $N_i$  – интенсивность ТП, следующего в прямом направлении и конфликтующего с левоповоротным ТП, авт./ч.

Это означает, что для типовых регулируемых пересечений (перекрестков) с однопольными левоповоротными потоками и величинами соотношений  $N_{i_{\max}} / N_i \leq 1$  – формула (2.28) принимает упрощенный вид ограниченного соотношения –  $N_{л} \leq 120$  авт./ч. При таком соотношении в 3-х секундный промежуточный такт горения желтого сигнала светофора на РП в каждом его цикле светофорного регулирования согласно Правил ДД РФ, при длительности цикла 25 – 120 с – практически разрешены поворотные маневры только для 1 – 2-х ТС.

Сегодня же, число желающих "просачиваться" на Российских РП в течение 3-х секундного промежуточного такта "желтого" сигнала светофора – до 6 – 10 ед. ТС. Отсюда и вероятность роста числа ДТП с тяжелыми летальными последствиями на одноуровневых пересечениях (перекрестках). ДТП как вероятностные события, происходят в так называемых конфликтных точках, местах пересечений одноуровневых траекторий движения "транспорт-транспорт" и "транспорт-пешеход". Пороговые значения интенсивности движения ТПП в конфликтных местах (точках) по рисунку 2.1 в диссертационной работе рекомендуется использовать в качестве маркеров. Последние способны распознавать подсистемы контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта с методами и алгоритмами обеспечения безопасности движения, входящие в модели систем автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД) разнополосных Х - и Т-образных регулируемых пересечений. При этом основные маркеры аварийности - конфликтные точки (КТ) – пересечения, слияния, отклонения, предложено изображать на моделях схем организации движения (СОД) с конфликтной загрузкой (КЗ) для каждой фазы и квазифазы светофорного цикла регулирования, а столкновения, от несоблюдения интервала дистанции при движении ТС, также предложено всегда учитывать;

- на максимально допустимое значение интенсивности ( $N_{\text{доп}}$ ) каждого из конфликтующих транспортных потоков (ТП), ед./ч – при условии допустимости конфликтных точек, обеспечивающих допустимый уровень требований к безопасности движения (ДУТБД), представленных на рисунке 2.1,  $b - z$ , следующее:

$$N_{\text{доп}} = (N_{\text{н}} N_{i_{\text{max}}}) / 1500k_i, \quad (2.29)$$

где  $N_{\text{н}}$  – соответствующие нормативные значения интенсивностей конфликтующих ТП, принимаемые по таблице 2.4 [87, 132].

Число полос движения, в этом случае в одном направлении принимается соответствующим рядности конфликтующих ТП, главенство же дороги прини-

мается в соответствии с преимущественным правом движения того или иного конфликтующего ТП;

- на интенсивность пешеходного движения ( $N_{п}$ ) по переходу в одном, более загруженном направлении или интенсивность ТП ( $N_{т}$ ), пересекающего пешеходный переход в обоих направлениях при условии допустимости конфликтных точек на пересечение (т. е. с обеспечением ДУТБД), показанных на рисунке 2.1, *д*, *е* и *ж*, следующее:

$$N_{п} \leq 900 \text{ чел./ч или } N_{т} \leq 350 \text{ авт./ч.} \quad (2.30)$$

2. Существующее несовершенство методологической и нормативно-правовой баз, обеспечивающих и регламентирующих требуемый уровень безопасности движения (БД) для разработки и проектирования РП.

3. Отсутствие в РФ правоприменительной практики с декларированием в паспортах на РП – фактически существующих нормативно допустимых уровней БД на пересечениях, необходимых для контроля и поддержания заявленных уровней БД, в разработанных для них моделях СОД с КЗ.

4. Отсутствие нормативно-правового регламента, ограничивающего психологические границы превышения временных порогов "терпеливых ожиданий" [87, 88] с научно-рекомендуемыми ограничениями по длительности ожидания зеленого сигнала светофора для пешеходов и водителей ТС, например, до 40 и 120 с.

5. Отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению требуемого уровня БД на РП при переводе светофорной сигнализации из режимов программного регулирования в "ночной" режим "желтого мигания". Такой режим (см. приложение П.6), зачастую, создает модели СОД с высокой конфликтной загрузкой (КЗ) на РП с высокой вероятностью ДТП, т.е. их модели СОД с КЗ имеют максимальное число конфликтных точек. Этот режим самоорганизации движения (при ночном мигании светофоров) зависит от "человеческого фактора" ведущего к ночной "вседозволенности" и "лихачеству" водителей ТС.

6. Использование традиционных двухфазных моделей СОД с КЗ стимулирует снижение уровня культуры, и нигилизм к исполнению Правил ДД РФ – вплоть до ее утраты, что неоднократно проявляется у водителей транспортных средств и пешеходов в зонах перекрестков. При двухфазных разъездах на регулируемых пересечениях нет однозначного решения в задачах разделения транспортных потоков между собой и транспортных потоков с пешеходными потоками во времени без "просачивания" в конфликтных пересечениях. Этому негативу способствуют Правила ДД РФ (см. пункт 1), которые допускают пересечение через "просачивание" ТС при правых и левых поворотах через "разрывы" соответствующих пешеходных потоков, движущихся на разрешающий им зеленый сигнал транспортного Т.1 или пешеходного П.1 светофоров по ГОСТ Р 52282–2004 [11]. При этом в указанном ГОСТ внесено изменение п. 7.1.2 (**Не допускается пересечение транспортных и пешеходных потоков в одной фазе светофорного цикла регулирования**), действующее от 28.02.2014г.

7. Разрушена система управления и взаимосвязей между цепочками разработки (проектирования), эксплуатации и надзора в области БД на улично-дорожных сетях, а новая работоспособная система в России еще не создана.

8. Недостаток требуемых задачами знаний в каждом звене: – у проектировщиков транспортной инженерии на РП, у служб эксплуатации технических средств организации движения (ТСОД) на них и у служб ГИБДД.

9. Отсутствие юридически признаваемой ответственности исполнителей за свою работу на многих уровнях.

В моделях СОД с КЗ на РП число конфликтных точек (КТ) рекомендуется [13, 17, 48, 132, 155, 157, 160, 164,] дозировать или исключать с помощью систем автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД) при использовании их на РП, разными методологическими приемами аппаратно-программных решений, например, использованием инноваций из структурных моделей САУ БДД рисунки 1.7 – 1.12. Дозировать число КТ возможно автоматической самоорганизацией и адаптацией структурных моделей

СОД с КЗ адаптивно в зависимости от изменения интенсивностей ТПП [84, 134, 135, 138].

В РФ среди разработчиков транспортной инженерии сложилась ложная и устойчивая традиция. Если "просачивание" на регулируемых светофорами пересечениях (РП) разрешено ПДД РФ, то на таких пересечениях (перекрестках) уровень безопасности движения (БД) автоматически считается "допустимым". При этом до настоящего времени, в традиционно разрабатываемых в РФ двухфазных моделях СОД на РП конфликтные точки не обозначаются. Поэтому уровень БД не оценивается (т.е. не контролируется), не вносится в паспорта на светофорные объекты (т.е. РП) и не отслеживается [161, 164]. Ведется лишь расчет длительности циклов светофорного регулирования с поддержанием их в требуемых пределах (25 – 120 с) и то, зачастую, для одного или нескольких пиковых режимов по интенсивности движения ТПП на РП.

Действующие [132] проверочные расчеты по формулам (2.28) – (2.30) на разрешительную допустимость конфликтных точек на РП, необходимые при разработке их моделей СОД с КЗ в целях правомерного определения состав групп, на которые следует разбивать все пешеходные и транспортные потоки практически не применяются.

Анализ конфликтной загрузки РП на допустимый уровень БД в его моделях СОД необходимо проводить с учетом рядности движения в каждой группе, разрешенных к проведению маневров, вида и числа конфликтных точек, а также интенсивности движения конфликтующих транспортных потоков согласно таблице 2.4 [132]. Конфликтующие потоки, образующие недопустимые конфликтные точки, превышающие допустимые уровни БД, должны быть ликвидированы, запрещением или разнесением в разные фазы цикла управления.

Число образованных групп определяет число светофорных фаз, так как в основном такте каждой фазы (при горении зеленого сигнала) через перекресток пропускают только одну группу. Увеличение числа фаз светофорного управления повышает уровень БД, но одновременно приводит к менее полному использованию пропускной способности перекрестка [87, 132]. Поэтому всегда

нужен целесообразный баланс, компромисс с числом фаз, которое обеспечивало бы оптимальное соотношение показателей БД и пропускной способности в разрабатываемых моделях СОД с КЗ для РП, чтобы не превышать интервалы времени терпеливых ожиданий водителей и пешеходов, но без излишних задержек ТС.

Таблица 2.4 – Нормативы интенсивности конфликтующих ТП

Число полос движения в одном направлении		Интенсивность движения по главной улице в двух направления в ед./ч	Интенсивность движения по второстепенной улице в одном. Наиболее загруженном направлении в ед./ч
главная (более загруженная) улица	второстепенная (менее загруженная) улица		
1	1	750	75
		670	100
		580	125
		500	150
		410	175
		380	190
2 или более	1	900	75
		800	100
		700	125
		600	150
		500	175
		400	200
2 или более	2 или более	900	100
		825	125
		750	150
		675	175
		600	200
		525	225
		480	240

Получить желаемый компромисс возможно разработкой минимум двух моделей СОД с КЗ для РП на альтернативной основе по критериям достижения на них в пределах нормативно-правовой базы (см. таблицу 3.1 Б)) "допустимых" или "промежуточных" и "повышенных" требований к уровням требований к безопасности движения (УТБД) при обеспечении целесообразной пропускной способности пересечения. Альтернативные варианты могут базироваться на решаемых задачах (см. таблицу 3.3) и отличаться друг от друга либо методами управления **I**, **II**, **III** (см. рисунок 3.1), либо числом фаз, либо методами

поэтапного пропуска отдельных пешеходных и транспортных потоков, либо пропускной способностью (длительностями циклов регулирования) и т. д.

В альтернативных разработках моделей СОД с КЗ на Х - и Т -образных РП (см. приложения П.1 – П.5) исследованы разновариантные возможности в том числе:

- ликвидации на РП одного или нескольких левоповоротных ТП, создающих наибольшие сложности в организации дорожного движения. Левоповоротные ТП могут стать неконфликтными на РП, если в разработке организовать «защищенный левый поворот» [203] или ввести дополнительные секции в светофорах Т.1, или повесить над каждой полосой движения транспортные светофоры Т.1 (см. рисунок 1.12) [138, 156];

- внедрения методов петлеобразного поворота, объезда квартала, запрещения левого поворота или организации "отдельной пешеходной фазы", что устранит часть конфликтных точек на пересечения ("просачивание") левого поворота через пешеходный поток. При этом часть конфликтных точек от левоповоротных транспортных средств на пересечения в моделях СОД с КЗ остаются в виде "просачивания" транспорт-транспорт;

- отсечки прямого менее интенсивного потока на одной или двух пересекающихся улицах пересечения с неуравновешенными прямыми встречными транспортными потоками [135, 137]. Такой инновационный технологический прием дает возможность определенный отрезок времени левоповоротному ТП со стороны более интенсивного встречного ТП поворачивать без конфликтов;

- комбинированного инновационного **III** метода управления (см. таблицу 3.3), обеспечивающего автоматическую самоорганизацию преобразования структурных моделей СОД с КЗ, например, при пофазным **I** методе управления движением ТПП иметь возможность перехода во **II** метод управления движением по отдельным направлениям и, наоборот, в смежных фазах одного и того же цикла светофорного регулирования [134, 136, 138];

Применение в разработках альтернативных вариантов моделей СОД с КЗ, перечисленных выше методов управления в целях обеспечения заданных уровней БД еще следует анализировать и по другим критериям эффективности, как пропускная способность и экономические затраты (т. е. простота реализации).

Разработанные на альтернативной основе два варианта моделей СОД с КЗ для РП, с допустимыми уровнями БД (см. раздел 2.4 или разделы 4.5 и 4.6), сопоставляют по технико-экономическим показателям качества организации дорожного движения, т.е. по длительностям циклов сигнализации.

Заказчику для внедрения предлагается более эффективный вариант по решению задачи с требуемым уровнем безопасности движения на РП [153, 164, 179].

Статистика ДТП с погибшими в РФ, представленная на рисунке 1.16 демонстрирует в течение двух десятилетий стабильную ее устойчивость. При этом до 75 % ДТП со смертельным исходом приходится на города и населенные пункты, из которых до 50 % приходится на одноуровневые пересечения [13, 112, 132, 153, 157,], то есть около 10,5 тыс. чел. погибает ежегодно на регулируемых пересечениях (РП). Поэтому в диссертационной работе изменены традиционные акценты исследований в задачах разработки РП в сторону обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) далее БД. Для этого оценка и поддержание требуемых уровней безопасности движения на РП поставлены на первое место, а на второе – пропускная способность и ее резерв, зависящие от длительности циклов светофорного регулирования.

Известная [72] классическая модель схемы организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) для однополосного Х – образного пересечения (перекрестка) без светофорного управления с конфликтными точками представлена на рисунке 2.2. Модель СОД с КЗ визуализирует многообразие конфликтных точек с маркерами зон маневров, образующими конфликтную загрузку на пересечении, как основных факторов БДД. Однако в модели перекрестка отсутствуют развороты для транспортных потоков и пешеходные переходы, которые тоже имеют конфликтные точки (КТ).

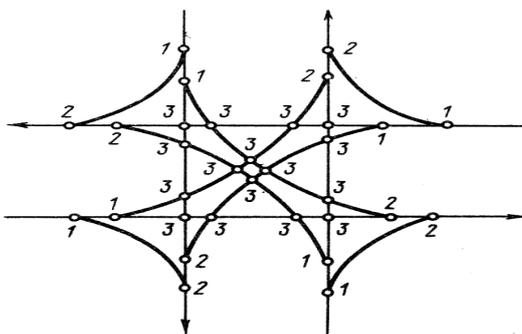


Рисунок 2.2 – Классическая модель СОД с КЗ для однополосного X-образного пересечения (перекрестка) без светофорного управления, где КТ, шт.: 1 – отклонения – 8; 2 – слияния – 8; 3 – пересечения – 16; всего 32 шт.

Полный общий вид формализованной модели СОД с КЗ на однополосном X-образном пересечении без светофорного управления, который учитывает дополнительные маркеры КТ, представлен на рисунке 2.3. На нем показаны пешеходные потоки и разрешенные развороты транспортных средств (ТС). Модель синтезирована из малополосного X-образного РП, представленного на рисунке 1.8 при условиях, когда светофорного управления нет, а на каждом его входе А, Б, В, Г две транспортные полосы движения объединены в одну полосу.

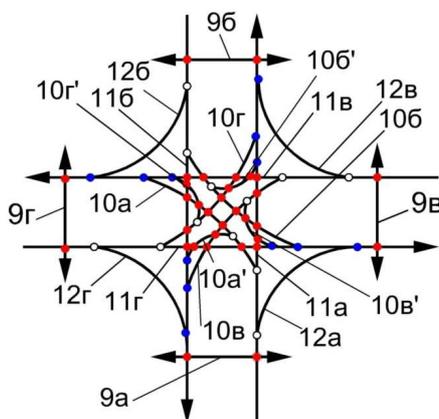


Рисунок 2.3 – Формализованная модель СОД с КЗ для однополосного X-образного пересечения с пешеходными потоками в режиме саморегулирования при наличии разворотов для транспортных средств, где КТ, шт.: пересечения ● – 32; слияния ● – 12; отклонения ○ – 12; всего 56 шт.

Такая модель СОД с КЗ адекватна РП в режиме работы ночного режима "желтого мигания" или имитации отключения электропитания светофорного

регулирования для системы автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД). При этом модель СОД с КЗ имеет развороты 10а', 10б', 10в', 10г' для транспортных средств и пешеходные переходы 9а, 9б, 9в, 9г на всех входах пересечения, поэтому ее конфликтная загрузка значительно выше, чем у модели рисунка 2.2.

Резкий прирост уровня КЗ в модели СОД с КЗ рисунка 2.3, относительно КЗ модели СОД с КЗ рисунка 2.1, через число конфликтных точек с 32 шт. – до 56 шт. вызывает необходимость проведения научно-обоснованных количественных оценок уровней БД на неуправляемых светофорами одноуровневых пересечениях. Сегодня очень актуальна паспортизация численных значений оценок БД на таких пересечениях (перекрестках) по всей РФ.

Оценочный уровень БД в моделях СОД с КЗ на РП в общем случае, требует аналогичного подхода с их паспортизацией. На РП он зависит от вида и числа конфликтных точек на пересечение, ответвление и слияние, а также от интенсивности транспортно-пешеходных потоков (ТПП) в конфликтных точках. Чем больше автомобилей проходит через конфликтные точки с маневрами для пересечений – «транспорт-транспорт», «транспорт-пешеход», а для ответвлений и слияний – «транспорт-транспорт» [132, 164, 170,], тем больше вероятность возникновения в них дорожно-транспортных происшествий.

Практика и статистика ДТП на РП показывают, что точки пересечения, так называемые "просачивания" являются самыми опасными "маркерами" в ранжировании их среди других КТ по конфликтности и смертельный исход на них наиболее вероятен.

Если в РФ принять к исполнению метод оценки БД на РП через конфликтные точки в их моделях СОД с КЗ, то он позволит вариациями сокращения числа КТ существенно уменьшать ежегодную смертность на пересечениях в ДТП.

В рамках ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» на аварийных звеньях, то есть на РП и нерегулируемых пересечениях в мегаполисах и населенных пунктах страны можно добиться снижения числа ДТП со смертельным исходом на заданный плановый показатель 28,82 %.

Это даст сохранение жизни для 3 026 человек относительно погибших 10 500 человек в 2012 г.

Вариант модели СОД с КЗ для реального рядового примера рисунка 1.2 (многополосного X -образного РП) в режиме работы без светофорного управления (т. е. саморегулирования) представлен на рисунке 2.4. Этот вариант имитирует режимы отключения электропитания или "ночной режим" (с "желтым миганием"), что только усиливает сделанные выше предположения о росте вероятности ДТП при таких режимах эксплуатации РП из-за роста числа КТ на нем до 102 шт.

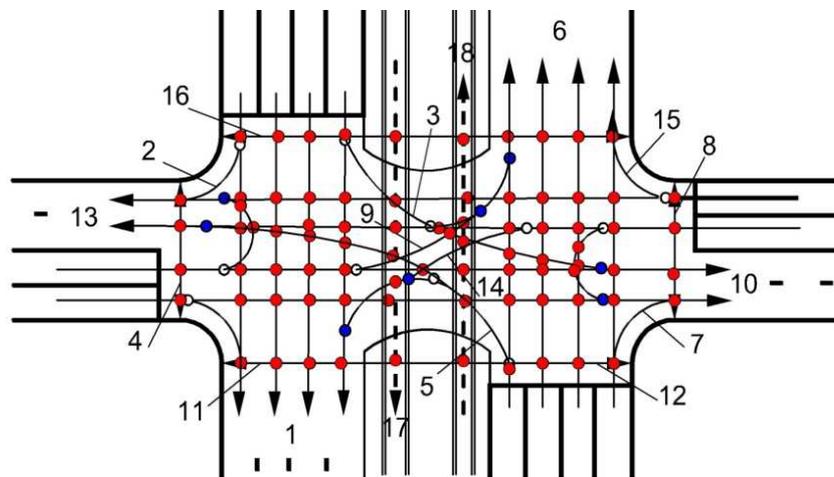


Рисунок 2.4 – Вариант модели СОД с КЗ для РП в режиме саморегулирования и учетом пешеходных потоков (ПП) и разворотов ТС для ул. Бухарестская и ул. Белы Куна (мегаполис Санкт-Петербург), где конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 82; слияния ● – 12; отклонения ○ – 8; всего 102 шт. КТ

Таким образом, модели рисунков 2.2 – 2.4 позволяют оценивать потенциальную опасность аварийности от ДТП на неуправляемых светофорной сигнализацией пересечениях по числу и видам, имеющихся на них КТ.

Анализ конфликтных точек в моделях СОД с КЗ на одноуровневых пересечениях позволяет сравнивать их между собой и делать вероятностную оценку до и после их модернизаций, например, связанных с мероприятиями по установке дополнительных дорожных знаков, дорожной разметки, введения различных приемов и методов светофорной сигнализации на пересечениях и т. п.

Из отечественных [72, 74] работ по наличию и видам конфликтных точек известна методика пятибалльной системы с количественной оценкой опасности пересечений (перекрестков) в их моделях СОД с КЗ.

Простейший вариант пятибалльной оценки сложности (опасности) пересечений с точками конфликтов строится через оценку сложности используемых на них моделей СОД с КЗ. При этом в моделях СОД с КЗ точки отклонения транспортного средства (ТС) из транспортного потока (ТП) оценивается одним условным баллом, слияния ТС между собой – тремя и пересечения транспортных потоков (т.е. "просачивания") между собой и с пешеходными потоками (ПП) – пятью баллами.

Статистическая сложность любого пересечения определяется так:

$$m = n_o + 3n_c + 5n_p, \quad (2.31)$$

где  $n_o$ ,  $n_c$  и  $n_p$  – число точек отклонения, слияния и пересечения соответственно.

Для вариантов моделей СОД с КЗ на пересечениях по рисункам 2.2 – 2.4 условный показатель сложности (опасности), определенный по формуле (2.31), составляет соответственно 112, 208 и 454 баллов. Это соответствует уровням оценки: 112 для сложного перекрестка и 208 и 454 очень сложных перекрестков. Поскольку принято [20] считать перекресток малой сложности (простым) при  $m < 40$ , средней сложности при  $m = 40 - 80$ , сложным при  $m = 80 - 150$  и очень сложным при  $m > 150$ . Однако такой вид оценки практически нигде не применяется. Можно предположить, что он неэффективен, поскольку не характеризует конкретно оценку безопасности движения (БД) на пересечениях.

В качестве других известных [112, 132, 170] разновидностей показателя оценки БД на одноуровневых пересечениях с использованием конфликтных точек в их моделях СОД через конфликтную загрузку, сформированную из транспортных потоков (ТП) между собой и с пешеходами – являются:

1. Степень опасности пересечений ( $K_a$ ) [112, 170, 179], которая зависит от показателей опасности конфликтных точек, ДТП на 10 млн автомобилей, прошедших через пересечение в период 1980 -х годов.

2. Конфликтная загрузка (КЗ) для регулируемых пересечений  $R_{Шел}$  в методе [132] под редакцией Ю. Д. Шелкова (НИЦ ГАИ МВД России, 1995 г.) были сформированы теоретическая идея и сформирована задача математической зависимости для оценки существующего состояния организации дорожного движения (ОДД) и прогнозирования ее после внедрения мероприятий по совершенствованию ОДД на магистралях улично-дорожной сети (УДС). Она не получила должного развития и экспериментальной проверки на практике в новой России. По своей физической сущности и размерности она эквивалентна (ед.) опасности пересечений ( $K_a$ ), но имеет другую более простую идею методологии расчета оценки БД на регулируемых пересечениях УДС.

Идея оценки конфликтной загрузки  $R_{Шел}$  использует вероятностный метод, формализующий связь КЗ с БД на РП, которая позволяет с учетом упомянутых пятибалльных коэффициентов определить суммарную конфликтную загрузку любого пересечения в моделях СОД с КЗ по формуле, имеющей следующий вид с некорректной записью (т. к. нет пределов суммирования) [17]:

$$R_{Шел} = 5 \sum \frac{N_{in} N_{jn}}{(N_{in} + N_{jn})^2} + 3 \sum \frac{N_{ic} N_{jc}}{(N_{ic} + N_{jc})^2} + \sum \frac{N_{io} N_{jo}}{(N_{io} + N_{jo})^2}, \quad (2.32)$$

где  $n$ ,  $c$  и  $o$  – число конфликтных точек соответственно пересечения, слияния и отклонения, по которым определяются пределы суммирования слагаемых;  $N_{in}$  и  $N_{jn}$  – интенсивность движения соответственно потоков  $i$  и  $j$ , образующих конфликтную точку пересечения (в том числе и пешеходных потоков с ТП), ед./ч;  $N_{ic}$  и  $N_{jc}$  – интенсивности движения соответственно потоков  $i$  и  $j$ , образующих конфликтную точку слияния потоков, ед./ч;  $N_{io}$  и  $N_{jo}$  – интенсивности движения соответственно потоков  $i$  и  $j$ , образующих конфликтную точку отклонения потоков, ед./ч.

При вычислении первого слагаемого в формуле (2.32) учитывают также и конфликтные точки, образованные пересечением ТП с пешеходными потоками и пересечением потоков нерельсовых ТС с рельсовыми. При этом в формулу подставляют значение интенсивности пешеходного движения (в обоих направлениях), уменьшенное в 4 раза, и значение интенсивности трамвайного движения, вычисленное по формуле (1.3).

Чтобы определить второе слагаемое в формуле конфликтной загрузки, учитывают интенсивность тех транспортных средств (ТС) из конфликтующих ТП, которые в момент слияния пользуются одной и той же полосой движения. При вычислении третьего слагаемого в конфликте отклонения учитывают только те конфликтующие ТС, которые исходят из одной полосы движения.

Первый из приведенных выше известных показателей уровней дорожной безопасности имеет метод расчета (проф. Лобанова Е. М. МАДИ [112]) по количественной оценке опасности конфликтных точек ( $K_a$ ) в моделях СОД с КЗ для одноуровневых нерегулируемых и регулируемых пересечений. На базе этого метода сегодня действует отраслевой дорожный методический документ в форме рекомендаций по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах (Росавтодор) [170]. Рекомендации его включают Приложение 2 «Оценка безопасности движения на пересечениях в одном уровне» с количественными показателями для  $K_a$ , которые характеризуют степень обеспечения безопасности движения на пересечении, и, согласно таблицы 2.5 рекомендованы к использованию при проектировании моделей СОД с КЗ для РП.

Таблица 2.5 – Опасность пересечения  $K_a$  по Лобанову Е. М.

$K_a, (R_{Шел})$ ед.	меньше 3	3 – 8	8 – 12	больше 12
Опасность пересечения (конфликтная загрузка)	неопасное	малоопасное	опасное	очень опасное

Оценки показателей  $K_a$  эквивалентны по физическому смыслу и размерности соответствующим оценкам конфликтной загрузки по (Шелкову)  $R_{Шел}$ . Они однозначно согласуются с терминологией уровня безопасности движения

(БД) и безопасности дорожного движения (БДД), доминирующими в литературных источниках, нормативных документах и в диссертации. При проектировании новых РП или реконструкции существующих для каждого варианта пересечения независимо от их планировочного решения рекомендуется определять показатель  $K_a$ . Чем он меньше, тем удачнее разработана СОД с КЗ для регулируемого пересечения [112].

Аналогичная таблица показателя  $K_a$ , характеризующего степень обеспечения безопасности движения на пересечении в одном уровне из Приложения 2 [11], но она имеет неточности в цифровых интервалах "малоопасного" и "опасного". Неточности продублированы в таблице 2.6 А), как действующие [122, 170]. Однако, в табл. 2.6 Б) ошибки скорректированы по первоисточнику [112].

Метод расчета оценки БД через  $K_a$ , как для нерегулируемых, так и для регулируемых пересечений основан на использовании данных статистики относительной аварийности, ДТП на 10 млн автомобилей [112]. Он построен на том, что каждая из конфликтных точек в схеме организации движения на пересечении представляет для движения опасность, тем большую, чем больше интенсивность пересекающихся в этой точке потоков. По этому методу наиболее опасными конфликтными точками являются наезды у "стоп-линии" и слияния на одной полосе. При разработке и совершенствовании СОД за счет планировочных решений эти конфликтные точки рекомендованы к устранению в первую очередь.

Методический материал расчета оценки  $K_a$  [112, 170] в моделях СОД с КЗ необходимый в дальнейшем (см. Приложения П.1 – П.5) при проведении исследований его эффективности в сравнении с другими методами оценки БД на РП и статистикой ДТП в мегаполисе Санкт-Петербурга приведен ниже.

Опасность конфликтных точек (за исключением наездов) в зоне пересечений со светофорным регулированием рассчитывается по формуле:

$$q_i = K_i M_i N_i \cdot 10^{-2}, \quad (2.33)$$

где  $M_i, N_i$  – интенсивности потоков, пересекающихся в конфликтной точке, авт./ч.;  $K_i$  – опасность конфликтной точки, ДТП на 10 млн автомобилей (из [112] таблица 8.9).

Число наездов определяется по формуле:

$$q_n = K_n (M_{\Sigma} + N_{\Sigma}) \cdot 10^{-2}, \quad (2.34)$$

где  $K_n$  – опасность наезда, ДТП на 10 млн. автомобилей (из [112 = 18] таблица 8.9);

$M_{\Sigma}, N_{\Sigma}$  – суммарные интенсивности движения у пересечения, авт./ч.

Оценку аварийности (возможное количество ДТП) на регулируемом пересечении можно определить по эмпирической формуле:

$$G_p = -0,48 + q_n + \sum_{i=1}^n q_i, \quad (2.35)$$

где  $G_p$  – аварийность на регулируемом перекрестке, ДТП/год;  $n$  – число конфликтных точек.

Для оценки безопасности движения пешеходов на регулируемом пересечении используют статистику ДТП за год. При отсутствии таких данных используют эмпирическую формулу, полученную на основании регрессивного анализа:

$$G_{\Pi} = 0,0025 + 0,92 \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^n (I_{\Pi}^{1/4} \cdot I_T), \quad (2.36)$$

где  $G_{\Pi}$  – число ДТП с пешеходами в год;  $I_{\Pi}$  – интенсивность движения пешеходов по переходу, число пешеходов в час;  $I_T$  – суммарная интенсивность транспортных потоков через переход, авт./ч;  $n$  – число пешеходных переходов на пересечении.

Общее число ДТП за 1 год на регулируемом пересечении следует определять с учетом движения пешеходов:

$$G = G_p + G_{\Pi}. \quad (2.37)$$

Уровень обеспеченности безопасности движения на ОРП оценивают показателем аварийности:

$$K_a = \frac{GK_{\Gamma} \cdot 10^7}{25(M_{\Sigma} + N_{\Sigma})}, \quad (2.38)$$

где  $M_{\Sigma}, N_{\Sigma}$  – интенсивности движения на пересекающихся дорогах, авт./сут.;  $K_{\Gamma}$  – коэффициент годовой неравномерности (см. в [170] таблица П-2.4).

По показателю  $K_a$  – предлагается судить о величине уровня БДД (далее БД) на РП в соответствии с нормативами таблицы 2.5. При этом в соответствии с рекомендациями [112, 170], который на вновь проектируемых пересечениях улиц и дорог показатель безопасности на пересечениях в одном уровне не должен превышать 12 ед. – иначе должны быть разработаны более безопасные модели СОД с КЗ. Однако, разработчики транспортной инженерии России в правоприменительной практике не производят расчеты оценки уровня безопасности движения ни в новых, ни в модернизируемых моделях СОД с КЗ на РП. Несмотря на то, что существуют нормативы и рекомендации оценок безопасности движения на пересечениях в одном уровне [170] с методиками их расчета ( $K_a$ ) [112, 170] и ( $R_{\text{Шел}}$ ) [132]. Однако они по количественным значениям не рассчитываются, поэтому их нет в паспортах светофорных объектов, а значит и нет контроля параметра безопасности движения на РП.

Причины сложившейся коллизии автор неоднократно излагал в печатных работах и докладах на научно-практических конференциях разного уровня по «Организации и безопасности дорожного движения в крупных городах» [13, 134, 135, 137, 142 - 145, 152, 155, 160, 163].

Игнорирование проектировщиками транспортной инженерии известных методов расчета оценок  $K_a$  и  $R_{\text{Шел}}$  можно отнести на разбаланс (несходимость) их результатов между собой. Этот факт подтвержден в научно-исследовательском сравнительном анализе на моделях СОД с КЗ для большого (более 100 шт.) массива РП (см. рисунок П.5.32). Оценки безопасности движения через  $K_a$  и  $R_{\text{Шел}}$  при одинаковых исходных данных дали противоположные, взаимоисключающие результаты их численных значений (см. исследования в Приложениях П.1 – П.5). Эти результаты оценок БД относительно норматив-

ных критериев таблицы 3.1, также не отражают состояние реальной статистики по ежегодным ДТП со смертельным исходом за шестилетний период, которые получены от УГИБДД ГУ МВД по Санкт-Петербургу и Ленинградской области (см. таблицу 2.7 и рисунок 2.6).

Численные оценки БД, полученные в настоящей работе (см. Приложения П.1 – П.5) для разнообразных видов моделей СОД с КЗ на РП, имеют диаметрально противоположные значения – либо "неопасные" по  $K_a$ , либо "очень опасные" по конфликтной загрузке  $R_{\text{Шел}}$ . Это обстоятельство позволило сделать нижеследующие выводы:

1. Существующие сегодня методические материалы расчета оценки БД, заслуженно не нашли практического применения в современной российской практике проектирования безопасных РП, так как не отражают для них истинного положения дел с ДТП со смертельными и тяжелыми последствиями.

2. Методические материалы расчета оценки БД устарели из-за резкого скачка автомобилизации в РФ и повсеместного отставания дорожной транспортной инфраструктуры на РП от роста транспортных потоков на них.

3. Истина с оценкой уровней БД на РП кроется, где-то посередине между результатами, экспериментально полученными разными методами определения  $K_a$  и  $R_{\text{Шел}}$ . Для ее определения необходима разработка новых универсальных и простых методов оценки безопасности движения на РП с элементами преемственности к известным методам их расчета.

4. Необходимы научно-исследовательские работы по созданию новых научно-обоснованных методов, алгоритмов и технологий, способных к инновационным решениям в обеспечении требуемой БД на одноуровневых РП, дающих более гибкие возможности управления уровнями БД на пересечениях.

5. Количественные показатели оценки БД, существующие сегодня в РФ (см. таблицу 2.6), как не отражающие реальную степень обеспечения безопасности дорожного движения на перекрестках целесообразно изменить. А имен-

но: для вновь проектируемых и модернизируемых одноуровневых пересечений верхний порог показателя уровня БД следует ограничить, например, до 10 ед.

Количественные показатели оценок безопасности движения (БД) с синонимами: опасность пересечения, уровень БД, конфликтная нагрузка на РП следует унифицировать с БД. Усилия научно-технической деятельности в повышении БД на улично-дорожных сетях (УДС) мегаполисов и поселений РФ рекомендуется направить на поэтапные решения этой проблемы, начав со снижения аварийности на РП с целью достижения целевой концепции "нулевой смертности" [6, 14, 16, 153, 157, 176] на пересечениях УДС в мегаполисах.

Таблица 2.6 – Показатели понятийного аппарата для оценки БД с действующими  $K_a$  ( $R_{\text{Цел}}$ ) – и разработанными оценками  $R_{\text{Пл}}$  и  $R_{\text{Плmax}}$  УТБД

Действующие оценки по ОДМ 218.4.005-2010 $K_a$ ( $R_{\text{Цел}}$ ), ед.	меньше 3	3,1–8	8.1–12	больше 12
А) Уровень (степень) опасности пересечения или уровень конфликтной загрузки	неопасное	малоопасное	опасное	очень опасное
Б) Разработанные уровни требований к безопасности движения (УТБД) на регулируемых пересечениях	Повышенный, (ПУТДБ)	Промежуточный, (ПрУТДБ)	Допустимый, (ДУТДБ)	Недопустимый, (НУТДБ)
$R_{\text{Пл}}$ и $R_{\text{Плmax}}$ , ед.	0 – ≤3	>3 – ≤6	>6 – ≤10	>10

Для достижения концепции "нулевой смертности" на РП в диссертации разработан понятийный аппарат в форме уточненных нормативно правовых ограничений на интервалы безопасности с соответствующими однозначными изменениями их терминологических наименований по уровням требований к безопасности движения: "недопустимый" (НУТБД), "допустимый" (ДУТБД), "промежуточный" (ПрУТБД) и "повышенный" (ПУТБД), в соответствии с таблицей 2.6 Б).

При этом действующий сегодня верхние пороги оценки опасности пересечения необходимо ограничить для регионов с высокой статистической аварийностью в соответствии с представленными уровнями уточненной ( $R_{\text{Пл}}$ ) и диаг-

ностической ( $R_{\Gamma_{\max}}$ ) оценок. При этом действующий "неопасный" уровень – называть повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД), оставив прежний интервал границ оценки  $0 \leq 3$  ед., изменив остальные в соответствии с таблицей 2.6. Б).

### **2.3. Разработка эффективных методов диагностической и уточненной оценок безопасности движения транспортно-пешеходных потоков (ТПП) на РП**

Экспериментальный анализ корреляционных связей между конфликтной загрузкой (КЗ) в моделях схем организации движения (СОД) одноуровневых регулируемых пересечений (РП) и статистическими потерями на них от ДТП со смертельными исходами позволил в диссертационных исследованиях для улично-дорожной сети мегаполиса Санкт-Петербурга:

- сохранить преемственность к простому и физически понятному методу оценки уровня БД для РП через расчетную формулу конфликтной загрузки  $R_{\text{Шел}}$  по [132]. Используя формулу  $R_{\text{Шел}}$  (2.32) в качестве базовой, с помощью многочисленных экспериментальных исследований разнообразных моделей СОД с КЗ на РП удалось рассчитать значения весовых коэффициентов для ее слагаемых и скорректировать число слагаемых, увеличив их до четырех;
- определить пределы суммирования для сумм слагаемых и синтезировать два авторский метода определения конфликтной загрузки в моделях СОД с КЗ на РП через расчет численных значений их оценок уровней БД по двум формулам  $R_{\Gamma_{\max}}$  и  $R_{\Gamma}$  в соответствии с действующей нормативной базой таблицы 2.6. Первая формула  $R_{\Gamma_{\max}}$  является малофакторной оценкой уровня конфликтной загрузки РП и служит для вычисления диагностических оценок конфликтной загрузки через безопасность движения на РП в их СОД с КЗ. Она , используя наличие информации о разновидностях и количественном составе конфликтных точек (КТ). Вторая формула  $R_{\Gamma}$  является многофакторной оценкой уровня конфликтной загрузки РП и дает уточненный расчет оценки БД на РП в

их СОД с КЗ. При этом кроме использования исходных данных о видах КТ и их количестве требуется еще и наличие информации об интенсивности транспортно-пешеходных потоков (ТПП) в конфликтных точках, например, гистограмм или картограмм интенсивности движений ТПП (рисунки 1.3 или 1.6 и 1.13).

Методы расчета оценок уровней БД, т. е. конфликтных загрузок на РП через их СОД с КЗ, которые строятся на двух вариантах – уточненного и – диагностического расчетов с соответствующими математическими формулами  $R_{Пп}$  и  $R_{Ппmax}$  таковы:

1. Метод уточненного расчета конфликтной загрузки  $R_{Пп}$  характеризует количественную оценку уровня БД в схемах организации движения с конфликтной загрузкой на РП. Он является многофакторным, так как основан на корреляционных взаимосвязях разновидностей конфликтных точек, их количестве в каждом виде конфликта и интенсивностях движения ТПП в конфликтных точках. Его расчет таков:

$$R_{Пп} = 1,7 \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{\pi} \frac{N_{iп} N_{jп}}{(N_{iп} + N_{jп})^2} + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^c \frac{N_{ic} N_{jc}}{(N_{ic} + N_{jc})^2} + 0,3 \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^o \frac{N_{io} N_{jo}}{(N_{io} + N_{jo})^2} + 3 \frac{N_{d1} N_{d2}}{(N_{d1} + N_{d2})^2}, \quad (2.39)$$

где  $\pi$ ,  $c$  и  $o$  – число по видам конфликтных точек соответственно пересечений ("транспорт-транспорт" и "транспорт-пешеход"), слияний, отклонений;  $i, j$  – пределы суммирования слагаемых; четвертое слагаемое от столкновений транспортных средств (ТС), которые не соблюдают между собой безопасную дистанцию при движении;  $N_{iп}$ ,  $N_{jп}$  ( $i, j=1, \dots, \pi$ ) при  $i \neq j$  – интенсивности движений транспортных потоков (ТП), которые образуют конфликтные точки пересечения (в том числе и пешеходных потоков с ТП, интенсивность пешеходных потоков берется с уменьшением в 4 раза), ед./ч;  $N_{ic}$ ,  $N_{jc}$  ( $i, j=1, \dots, c$ ) при  $i \neq j$  – интенсивности движения соответственно ТП образующих конфликтную точку их слияния для ТС, ед./ч;  $N_{io}$ ,  $N_{jo}$  ( $i, j=1, \dots, o$ ) при  $i \neq j$  – интенсивности движения соответственно ТП образующих конфликтную точку их отклонения для ТС, ед./ч;  $N_{d1}$ ,  $N_{d2}$  – суммарные значения транспортных потоков на подходах к "стоп-

линиям" пересечения и внутри его в прямом и обратном направлениях по каждой из пересекающихся двух дорог (улиц)  $d_1$  и  $d_2$ , образующих РП и вероятность столкновений (наезда) сзади в колоннах движения транспортных средств.

Весовые коэффициенты у первых трех слагаемых (1,7; 1; 0,3) получены в результате многочисленных экспериментальных исследований для класса моделей СОД с КЗ на РП [142 - 144, 146, 148, 149, 152, 156, 159, 161, 163,]. Они отличаются в меньшую сторону относительно известных в формуле (2.32) [132] примерно в три раза;

Значение весового коэффициента (3) у четвертого дополнительного слагаемого получено суммированием первых трех весовых коэффициентов слагаемых.

2. Метод диагностического расчета максимальной количественной оценки уровня БД  $R_{Г\text{лmax}}$  – позволяет получить диагностический аудит оценки конфликтной загрузки любого одноуровневого пересечения (регулируемого и нерегулируемого светофорной сигнализацией) по конфликтной нагрузке перекрестка. Он является малофакторным, так как базируется только на видах и количестве конфликтных точек имеющих в их моделях СОД с КЗ и имеет вид:

$$R_{Г\text{лmax}} = 0,43л + 0,25с + 0,1о + 0,75, \quad (2.40)$$

где  $л$ ,  $с$  и  $о$  – соответственно равны числу конфликтных точек в схемах организации движений на конкретном перекрестке по видам: – пересечений "транспорт-транспорт" (в том числе и "транспорт-пешеход"), слияний и отклонений.

Весовые коэффициенты значений 0,43; 0,25; 0,1 и 0,75 в формуле (2.40) получены в результате перемножения верхнего порогового значения 0,25 математической диагонали [113, 195] неединичной матрицы, которое равнозначно для

каждого из четырех математических выражений при  $i = j$ :  $\frac{N_{in}N_{jn}}{(N_{in} + N_{jn})^2}$ ,  $\frac{N_{ic}N_{jc}}{(N_{ic} + N_{jc})^2}$ ,

$\frac{N_{io}N_{jo}}{(N_{io} + N_{jo})^2}$  и  $\frac{N_{d1}N_{d2}}{(N_{d1} + N_{d2})^2}$  на соответствующие весовые коэффициенты из формулы

(2.39) при математическом округлении для двух первых слагаемых до 0,43 и

0,1. Математическая формула (2.40) позволяет производить аудиторскую оценку верхнего (максимального) уровня безопасности движения для любого пересечения УДС. Для расчетов по формуле (2.40) аудиторской оценки уровня БД любого регулируемого или нерегулируемого пересечения светофорами в одном уровне движения, т.е. РП или НП достаточно располагать лишь схемами их моделей СОД с КЗ с "маркерами" видов конфликтных точек и их числом в каждом виде –  $p$  (пересечений),  $c$  (слияний) и  $o$  (отклонений).

#### **2.4. Разработка методики оценки уровня требований к безопасности движения и пропускной способности для исследования эффективности управления в различных РП**

Разработка моделей СОД с КЗ на регулируемых пересечениях (РП) при их целесообразной пропускной способности с методами эффективного управления конфликтной загрузкой, т.е. уровнями требований к безопасности движения (УТБД) очень актуальны. Такой подход дает возможность разработки РП по их моделям СОД с КЗ на альтернативной основе с разными конфликтными загрузками. Он позволяет сначала оценить разрабатываемый или модернизируемый варианты модели СОД с КЗ для РП в терминах "допустимого"-, "повышенного"- или "промежуточного" по уровням требований к дорожной безопасности согласно таблицы 2.6 Б). Затем реализовывать его соответственно по критериям "допустимого"-, "полного"- или "частичного" отсутствия конфликтных точек в движущихся транспортно-пешеходных потоках на РП [13, 153, 155, 157, 160, 164].

В настоящее время в РФ оценка транспортной эффективности управления дорожным движением на одноуровневых перекрестках оценивается констатацией числа погибших граждан по фактической ежегодной статистической отчетности о ДТП в регионах. Пример, типового отчета о состоянии с аварийностью в Санкт-Петербурге от Управления ГИБДД ГУ МВД России по Санкт-Петербургу и Ленинградской области от 21.03.2014 г. к заседанию работы комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения (ОБДД) при Губер-

наторе Санкт-Петербурга таков: – за 12 месяцев 2013 г. в ДТП мегаполиса Санкт-Петербург погибло 443 чел, ранено 10 014 человек. Факторы, способствующие возникновению ДТП по удельному весу таковы: – нарушение ПДД водителями 83,9 %, нарушение ПДД пешеходами 15,4 %, неудовлетворительное состояние улиц и дорог 13,3 % и техническая неисправность транспорта 0,1 %.

Высокая аварийность в Санкт-Петербурге и РФ сегодня требует переноса акцента приоритетов от абстрактной констатации нарушений ПДД на разных узлах улично-дорожной сети в сторону научно-обоснованных их оценок по уровням БД. В частности оценка БД по конфликтной загрузке для разрабатываемых РП через их модели СОД с КЗ должна осуществляться на стадии разработки не на словах "повысить" или "понизить" БД, а по цифровым значениям нормативного показателя, например, показателя  $K_a$ , характеризующего степень обеспечения безопасности движения на пересечении [112, 122, 170]. Для этого при разработке задания на проектирование должна ставиться задача разработки альтернативных моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП с минимизацией на них конфликтной загрузки  $R$  (по различным методам расчета для ее оценок  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$  и  $R_{Плmax}$  при ограничениях на время цикла светофорного регулирования  $T_{ц}$  и на интервалы "терпеливых" ожиданий водителей ( $\leq 120$  с) и пешеходов ( $\leq 40$  с)).

Расчетная величина оценки конфликтной загрузки (в дальнейшем  $R$ ) должна сравниваться с действующими значениями показателя  $K_a$  или с "заданным" заказчиком – требуемым занесением показателя БД из нормативной таблицы 2.6. Организацию обобщенного алгоритма методики управления в моделях СОД с КЗ на РП по уровням требований к безопасности движения необходимо проводить по представленному рисунку 2.5 с применением результатов интеллектуальной деятельности [134, 137, 138], например, в операторах действия (8 и 9). Методика реализуется разработкой альтернативных моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных перекрестков по методам управления и уровням требо-

ваний к БД при наличии нижеследующих информационно-конструктивных данных:

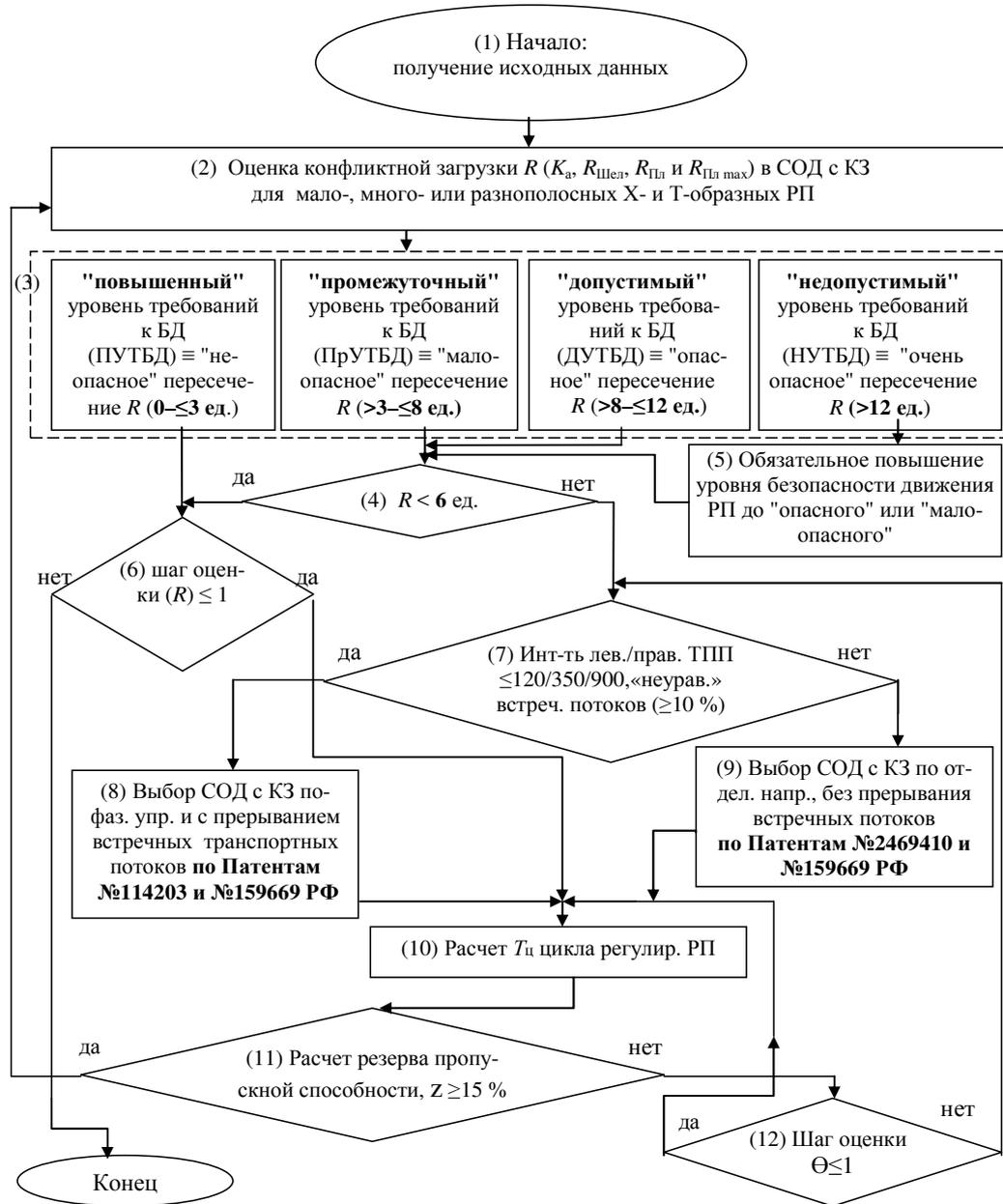


Рисунок 2.5 – Обобщенный алгоритм разработки методики управления в моделях СОД с КЗ на РП по уровням требований к безопасности движения

- видов моделей СОД с КЗ для мало-, много- и разнополосных X- и T-образных пересечений, сформированных с использованием соответствующих решений;
- блок-схем функциональных элементов подсистем контроля и оценки

(ПКО) интенсивности движения транспорта рисунки 1.7 – 1.12, входящих в функциональную модель САУ БДД рисунок 1.1;

- планировочных характеристик: – с числом полос движения, видов транспортных и пешеходных светофоров, дорожных знаков, разметки и пр.;
- дополнительных технических средств по организации дорожного движения на РП (островки, всевозможные ограждения, виды переходов для пешеходов, наличие трамвайного движения, детекторы транспорта и пр.);
- методов организации управления в моделях СОД с КЗ на РП, предлагаемых заказчиком или существующих, которые связаны с ограничениями на виды конфликтных маневров при управлении светофорной сигнализацией;
- картограмм и/или гистограмм интенсивности движений транспортных и пешеходных потоков на РП, снятых в полевых условиях;
- информации о наличии или планировании (заказчиком) режима "желтого мигания", т. е. ночного режима светофорной сигнализации (моделирующего режим работы пересечения с отключением электропитания).

Первый этап разработки методики рисунок 2.5 (блок 1) – получение исходных данных, например, в виде рисунка 1.13.

Второй этап (блок 2) – решение задачи оценки уровня БД ( $R$ ) через конфликтную загрузку (КЗ) в моделях схем организации движения (СОД) на РП по двум известным (раздел 2.2) методам ( $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ) и двум авторским ( $R_{Пл}$  и  $R_{Плmax}$ ) методам (раздел 2.3) – по действующим нормативам для  $K_a$ , [122, 170].

Количество и тип конфликтных точек в моделях СОД с КЗ, определяющих уровень БД через их оценки  $R$  и показатели опасности пересечения  $K_a$  позволяют эти оценки, как тождественные объединить для использования в блоке 3 через нормативные значения [170] согласно таблицы 2.6.

Если оценка ( $R$ ) для модели СОД с КЗ в блоке 2 дала число "неопасного" пересечения для блока 3, то последний разрешает переход в блок 6. Возможные переходы из блока 3 в блок 6, так же происходят через блоки 4 и 5, если достигаются для  $R$  уровни "опасного" и "малоопасного" пересечений. При этом про-

цесс проверки на "заданный" уровень БД идет в блоке 4, если заказчик повысил ("ужесточил") численное значение БД.

Например, БД завышена до промежуточного уровня  $R \leq 6$  ед. Если расчетный показатель БД (конфликтной загрузки) блока 2 имеет "очень опасное" пересечение ( $R > 12$  ед.), то переход из блока 5 осуществляется через блок 4 в блок 6 после выполнения процедур обязательного повышения БД на РП до "заданного" уровня в блоке 5.

Если в блоке 6 идет 1-й шаг оценки, то принимается решение "да" с последующим переходом в блок 10. В нем для соответствующих альтернативных моделей СОД с КЗ производится расчет длительности элементов светофорного цикла и величины резерва пропускной способности перекрестка (например, по формулам Ф. Вебстера, Фишельсону - Булавиной см. раздел 2.1). При этом обязательным в методике является контрольный расчет в блоке 11 транспортной эффективности перекрестка по резерву ( $z \geq 15$  %, см. раздел 2.1) пропускной способности СОД. Завершение первого этапа проектирования модели СОД с КЗ происходит при выполнении в блоке 11 условия "да" с переходом в блок 2 и достижением проверочной оценки уровня безопасности  $R \leq 3$  ед. Такой уровень БД можно считать соответствующим концепции "нулевой смертности" на дорогах в приложении к РП [13, 153, 157]. Переход в блок 6 на 2-м шаге с условием "нет" ведет в "конец" цикла первого этапа проектирования (разработки) модели СОД с КЗ для РП.

В случае, когда в блоке 11 рассчитанное значение резерва пропускной способности РП дает условие "нет" – следует переход в блок 12. В нем если переход на 1-м шаге дает "да", то идет переход в блок 10 для незначительных коррекций цикла и его элементов с целью получения в блоке 11 выхода "да" для резерва "заданной" пропускной способности на РП и завершения цикла по аналогии, описанному ранее. Если в блоках 11 и 12 выполняются условия "нет", но на 2-м шаге, то осуществляется переход в блок 7 по аналогии перехода из блока 4 при условии "нет". В блоке 7 производится детальный анализ всех интенсив-

ностей движения ТПП. Устанавливается допустимость интенсивности левоповоротных потоков на конфликт со встречными потоками, а также на допустимость конфликта транспортных потоков с пешеходными потоками [132, 137, 17, 48] и определяется наличие или отсутствие "неуравновешенности" по интенсивности движения у встречных транспортных потоков [135]. Результат позволяет выбрать целесообразный способ управления, который более эффективен и может применяться на РП (блок 8 с типовым управлением или блок 9 с нетиповым управлением).

При условии "да" в блоке 7 выбирается блок 8 с типовым пофазным разъездом транспортных средств. Этот способ реализуется транспортными светофорами без добавочных секций типа Т.1, когда длительности горения основных тактов зеленых сигналов светофоров по всем направлениям движения транспорта в каждой фазе одинаковы и настроены на максимально загруженное направление в конкретной фазе. При условии "нет" в блоке 7 идет переход в блок 9 и выбирается нетиповой принцип управления движением по отдельным направлениям. Он реализуется транспортными светофорами с добавочными секциями типа Т.1.пл, Т.1.п или Т.1.л (по ГОСТ Р 52282–2004), когда длительности горения основных тактов зеленых сигналов светофоров для отдельных направлений движения транспорта в каждой фазе пропорциональны транспортной загрузке [137].

Традиционно "малополосные" РП используют модели СОД с КЗ при пофазном управлении (блок 8), для них внедрение бесконфликтного регулирования без особых приемов проблематично. В качестве особого приема повышения транспортной эффективности в блоке 8 используется "неуравновешенность" (на 10 % и более) по интенсивности движения у встречных транспортных потоков, когда в блоке 7 выполняется условие "да" и срабатывает инновационный вариант по патенту [137]. Он снижает имеющуюся конфликтную загрузку ( $R$ ) на определенную величину времени цикла светофорной сигнализации путем устранения на это время части конфликтных точек. Величина снижения  $R$  зависит от отношения дроби, где в числителе разность между величинами времени тре-

буемого горения зеленого сигнала более и менее интенсивных прямых встречных потоков, а в знаменателе время более интенсивного встречного транспортного потока. В блоке 8 производится прерывание "красным сигналом" транспортного светофора Т.1 менее интенсивного прямого направления движения в модели СОД с КЗ на величину интервала разницы времени требуемой для горения зеленых сигналов встречных прямых потоков. После этого в направлении с более интенсивным движущимся прямым потоком транспорта другие маневрирующие влево транспортные потоки не будут иметь конфликтных точек "транспорт-транспорт", а поворачивающий транспорт направо и налево может не иметь конфликтных точек "транспорт-пешеход" определенное время в зависимости от требуемого пешеходами времени для перехода улиц. Для выбранных блоками 8 и 9 соответствующих моделей СОД с КЗ в блоке 10 производится расчет длительности элементов светофорного цикла (см. раздел 2.1 и раздел 4) и величины резерва пропускной способности перекрестка. При этом расчет транспортной эффективности перекрестка по резерву его пропускной способности идет в блоке 11 по аналогии с описанным ранее сценарием.

Окончанием разработки модели СОД с КЗ на РП является выполнение в блоке 11 условия "да" и достигнут через блоки 2, 3 "повышенный" уровень обеспечения безопасности или "заданный" уровень требований к безопасности движения (УТБД), например, желательный предел безопасности движения согласно концепции "нулевой смертности" на пересечении, а через блок 6 и условие "нет" достигается выход с оператором "конец".

Процесс проектирования по описанной методике может завершаться и раньше – при достижении "допустимого" уровня требований к обеспечению БД, если статистика ДТП на пересечении не требует ужесточения "заданного" на нем уровня БД (см. таблицу 2.6), тогда блок 4 в методике отсутствует.

Анализ (при равных исходных данных интенсивности транспортно-пешеходных потоков) результатов расчетных показателей опасности пересечений  $K_a$  на РП для их моделей СОД с КЗ по методам проф. Е.М. Лобанова МА-

ДИ [112, 122, 170], а также конфликтных загрузок  $R$  – по методам  $R_{\text{Шел}}$  НИЦ ГАИ МВД России [132] и авторским  $R_{\text{Гл}}$  и  $R_{\text{Глmax}}$  (см. Приложения П.1 – П.5 таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП) позволил сделать нижеследующие выводы:

1. Вариант решения задачи по методу определения  $K_a$  дает полное благополучие по ДТП на одноуровневых регулируемых перекрестках РФ, так как большинство РП соответствуют уровням допустимой опасности – "неопасным" и "малоопасным" пересечениям по действующим нормативам [122, 170]. Следовательно, с безопасностью движения на РП в РФ – "все хорошо".

2. Вариант решения задачи по методике определения  $R_{\text{Шел}}$  (НИЦ ГАИ МВД России) показывает, что в основном все РП попадают в зону "очень опасных" перекрестков, что требует запрета их эксплуатации с немедленной остановкой на модернизацию;

3. Варианты решения задачи по авторским методам определения оценок  $R_{\text{Гл}}$  и  $R_{\text{Глmax}}$  демонстрируют реальное состояние дел с оценкой уровней БД на РП – с нечто средними результатами между результатами от первых двух методик.

Выводы по пунктам 1 и 2 показывают, что оба варианта методов определения оценок БД для  $K_a$  и  $R_{\text{Шел}}$  не отражают реального положения дел с аварийностью на регулируемых пересечениях, являющихся самым опасным по ДТП участком улично-дорожной сети в мегаполисах и населенных пунктах РФ. Очевидно, что оба известные метода морально устарели, поэтому и не используются в настоящее время в правоприменительной практике разработчиками светофорных объектов в Санкт-Петербурге и РФ.

Подтверждением этому служит реальное состояние с обеспечением безопасности дорожного движения в РФ. Авторский анализ и обработка общего статистического материала ДТП на РП по Санкт-Петербургу со смертельным исходом за период шести лет (с 2007 – 2012 год), полученного от Управления ГИБДД ГУ МВД России по Санкт-Петербургу и Ленинградской области дал

около 22 % погибших. Это вытекает из сводной статистики ДТП на РП в мегаполисе Санкт-Петербург, представленной таблицей 2.7.

Экспериментальные исследования аварийности для случайной выборки по 16-ти районам Санкт-Петербурга на 77 РП, также подтверждают сделанные выше выводы. Это демонстрируется, характером представленной на рисунке 2.6 гистограммой распределения ДТП за период 2008 – 2012 годы со смертельным исходом на 77 РП случайной выборки в Санкт-Петербурге.

Таблица 2.7 – Сводная статистика ДТП на РП в мегаполисе Санкт-Петербург

	Год	ДТП			Погибло		Ранено	
		РФ	СПб	на РП СПб	СПб	в ДТП на РП	СПб	в ДТП на РП
Кол-во	2007	<b>233 809</b>	9243	3692	706	200	10 694	4430
%			100	39,94	100	28,33	100	41,43
Кол-во	2008	<b>218 322</b>	8814	3372	613	151	10 213	4121
%			100	38,26	100	24,63	100	40,35
Кол-во	2009	<b>203 618</b>	7931	2996	514	111	9364	3751
%			100	37,78	100	21,60	100	40,06
Кол-во	2010	<b>199 431</b>	7532	2727	397	87	8932	3387
%			100	36,21	100	21,91	100	37,92
Кол-во	2011	<b>199 868</b>	7550	2640	471	97	8875	3261
%			100	34,97	100	20,59	100	36,74
Кол-во	2012	<b>203 597</b>	8288	2663	445	66	9920	3443
%			100	32,13	100	14,83	100	34,71
В среднем за 6 лет:				<b>36,55</b>		<b>21,98</b>		<b>38,53</b>

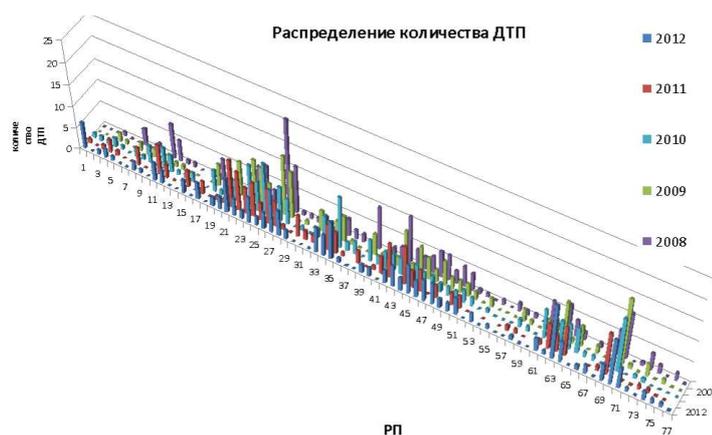


Рисунок 2.6 – Гистограмма распределения ДТП со смертельным исходом на 77 РП случайной выборки в Санкт-Петербурге

Заданная выборка 77 РП по районам Санкт-Петербурга получена от ГКУ "Дирекция по организации дорожного движения Санкт-Петербурга" представлена в таблице 2. 8.

Таблица 2.8 – Заданная выборка 77 РП по районам Санкт-Петербурга

№ п/п	Район в Санкт-Петербурге и одноуровневый регулируемый перекресток (РП)	№ п/п	Район в Санкт-Петербурге и одноуровневый регулируемый перекресток (РП)
	<b>Адмиралтейский район</b>	23	Трамвайный пр. – пр. Стачек (Зины Портновой)
1	Старопетергофский пр. – Рижский пр.	24	пр. Народного Ополчения – Ленинский пр.
2	ул. Степана Разина – Рижский пр.	25	пр. Народного Ополчения – Краснопутловская ул.
3	ул. Глинки – пр.Римского-Корсакова	26	Ленинский пр.- бульвар Новаторов
4	Измайловский пр.- наб. Обводн. канала	27	Ленинский пр.- Кронштадтская ул.- пр. Стачек
5	ул. Глинки – ул. Декабристов		<b>Красногвардейский район</b>
	<b>Василеостровский район</b>	28	Индустриальный пр. – ш. Революции
6	Средний пр. – Кадетская линия	29	пр. Наставников – Хасанская ул.
7	Средний пр. – 8- 9 Линия В.О.	30	Якорная ул. – пр. Металлистов
8	наб. Лейтен. Шмидта – 8-9 Линия В.О.	31	пр. Шаумяна – Магнитогорская ул.
	<b>Выборгский район</b>	32	Среднеохтинский пр. – Большая Пороховская ул.
9	пр. Тореза – ул.Рашетова – ул. Витковского	33	пр.Энтузиастов – пр.Наставников
10	площадь Академика Климова	30	Якорная ул. – пр. Металлистов
11	пр. Культуры – пр. Луначарск.	31	пр. Шаумяна – Магнитогорская ул.
12	Тихорецкий пр. – Светлановский пр.	32	Среднеохтинский пр. – Большая Пороховская ул.
13	БольшойСампсониевский пр. – ул. Комиссара Смирнова	33	пр.Энтузиастов – пр.Наставников
14	Большой Сампсониевский пр. – Литовская ул.		<b>Красносельский район</b>
15	Большой Сампсониевский пр. – Гренадерская ул.	34	пр. Маршала Жукова – ул. Маршала Казакова
	<b>Калининский район</b>	35	Красносельское шоссе – Аннинское шоссе
16	Чугунная ул. – Полюстровский пр.	36	пр. Ленина – ул. Юных Пионеров – ул. 1-го Мая
17	Науки пр. – ул. Вавиловых	37	Кингисеппское шоссе – Гаражная ул.
18	ул. Комсомола – ул. Михайлова		<b>Колпинский район</b>
19	ул. Замшина – Бестужевская ул.	38	Тверская ул. – Оборонная ул.
20	пр. Луначарского – ул. Ушинского	39	Тверская ул. – ул. Ремизова
21	пр.Луначарского – Гражданский пр.	40	бульвар Свободы – ул. Урицкого
	<b>Кировский район</b>	41	Красная ул. – ул. Ремизова
22	Ленинский пр. – ул. Зины Портновой	42	Пролетарская ул. – ул. Володарского

Продолжение таблицы 2.8

43	Пролетарская ул. – ул. Веры Слуцкой		<b>Приморский район</b>
	<b>Московский район</b>	61	Испытателей пр. – Серебристый Бульвар
44	Витебский пр. – Благодатная ул.	62	Коломяжский пр. – Парашютная ул.
45	Витебский пр. – Дунайский пр.	63	Богатырский пр. – Гаккелевская ул.
46	пр. Юрия Гагарина – Кузнецовская ул.	64	пр. Сизова – ул. Королева – Байконурская ул.
47	Кубинская ул. – Краснопутиловская ул.	65	Богатырский пр. – Серебристый бульвар
48	Ленинский пр. – Кубинская ул.		<b>Пушкинский район</b>
49	Витебский пр. – ул. Орджоникидзе	66	Саперная ул. – Кадетский бульвар – ул. Ломоносова
	<b>Невский район</b>		<b>Фрунзенский район</b>
50	Дальневосточный пр. – ул. Коллонтай	67	наб. Обводного канала – Боровая ул.
51	Искровский пр. – ул. Дыбенко	68	Ул. Димитрова – ул. Софийская – пр. Александровской фермы
52	Октябрьская наб. – ул. Крыленко	69	Лиговский пр. – Расстанная ул.
53	пр. Большевиков – Октябрьская наб. –	70	Будапештская ул. – пр. Славы
	<b>Петроградский район</b>		<b>Центральный район</b>
54	ул. Куйбышева - ул. Чапаева	71	Литейный пр. – Шпалерная ул.
55	ул. Пионерская - Новолодожская ул.	72	Шпалерная ул. – Потемкинская ул. – наб. Робеспьера
	<b>Петродворцовый район</b>	73	наб. Обводного канала – ул. Боровая
56	пр. Санкт-Петербургский - ул. Эйхенская	74	Загородный пр. – Разъезжая ул. – Рубинштейна – ул. Ломоносова
57	пр. Санкт-Петербургский - ул. Правленская	75	Гороховая ул. – М. Морская
58	ул. Аврова – пр. Санкт-Петербургский	76	Гороховая ул. – Б. Морская ул.
59	пл. Торговая – пр. Санкт-Петербургский	77	Гороховая ул. – Казанская ул.
60	Константиновская ул.- пр. Санкт-Петербургский		

Обработанные статические материалы Управления ГИБДД ГУ МВД России по Санкт-Петербургу и Ленинградской области с результатами распределения числа ДТП со смертельным исходом за период пяти лет (с 2008 – 2012 год) на рисунке 2.6 демонстрируют повышенное число ДТП для многополосных Х- и Т-образных РП. Это связано с использованием на них (в основном) двухфазного метода управления в моделях СОД с КЗ, которому характерна высокая конфликтная загрузка (т. е. низкая БД).

На сегодня – стратегические цели и задачи по снижению аварийности на дорогах РФ, намеченные в Федеральной целевой программе (ФЦП) «Повыше-

ние безопасности дорожного движения» в 2013–2020 гг. [188] таковы – сократить смертность от ДТП к 2020 году на 8 тыс. человек (28,82 %) по сравнению с 2012 годом. Графически на рисунке 1.16 продемонстрировано положение дел с ДТП за 1985–2015 годы и плановые задачи ФЦП по снижению смертности.

Исследования статистической аварийности отечественных и зарубежных ученых [8, 14, 16, 72, 74, 87, 111, 175, 179, 185] в сфере «Водитель – Автомобиль – Дорожная среда» (ВАДС) дают в качестве главного генератора ДТП (до 75 %) – города и населенные пункты, где на регулируемые пересечения (РП) в одном уровне приходится ДТП со смертельным исходом до 50 %.

По открытой статистической отчетности на улично-дорожных сетях (УДС) Российской Федерации в 2010–2015 годах в дорожно-транспортных происшествиях погибло соответственно – 26 567, 27 953, 27 991, 27 025, 26 963 и 23 000 чел. (в мегаполисе УДС Санкт-Петербурга – 397, 471, 445, 444, 412 и 354 чел.).

Отсюда потери в населенных пунктах от аварийности в 2012 году только на РП в одном уровне РФ таковы –  $27\,991 \times 75\% \times 50\% = 10\,497$  чел. (в Санкт-Петербурге –  $445 \times 22\% = 98$  чел.).

Снижение же числа ДТП только в одном звене автодорожного комплекса ВАДС, к которым относятся РП на 28,82 % относительно потерь 2012 года – сохранит ежегодно жизнь в РФ – 3025 чел. (в Санкт-Петербурге – 28 чел.).

Социально-экономический эффект в Санкт-Петербурге и Российской Федерации, как уже упоминалось ранее легко рассчитывается с использованием принятой [173] в России на 2010 год нормативной величины социально-экономического ущерба в 9,3 млн руб. от гибели в ДТП одного человека. Он составит для мегаполиса Санкт-Петербурга примерно 260,4 млн руб., а для РФ – около 28.1 млрд руб.

Для выполнения плановых задач ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения» в 2013–2020 гг. с приложением к РП необходимо:

- во всех регионах страны провести инвентаризацию БД на РП в их моделях СОД с КЗ через аудиторскую оценку максимального уровня дорожной

безопасности. Эта оценка является диагностической по БД и малозатратный без использования интенсивности движения транспортно-пешеходных потоков, как на регулируемых, так и нерегулируемых светофорами пересечениях. Ее легко рассчитать по формуле (2.40)  $R_{Гл\max}$  для любого пересечения УДС с целью выявления особо аварийных РП, являющихся "генераторами" ДТП. Составить для них неотложные планы мероприятий по модернизации их моделей СОД с КЗ;

- принять к практическому внедрению упрощенную тендерную классификацию решаемых задач (см. таблицу 3.3) по выбору вариантов разрабатываемых моделей СОД с КЗ для РП с заданным уровнем БД на альтернативной основе по номенклатуре методов управления и критериям БД согласно рисунка 3.1;

- провести научно-исследовательские работы в части разработки нормативно-правовых рекомендаций для принятия концепции "нулевой смертности" на пересечениях РФ. Цель таких работ – разработка нормативного материала, как для проектных организаций, так и контролирующих – местных органов управления и надзорных служб ГИБДД РФ;

- провести опытно-конструкторские работы по разработке и реализации инновационных методов управления дорожной безопасностью для существенного снижения ДТП на РП в РФ [134, 135, 137, 138].

### *Теория и практика управления УТБД в моделях СОД с КЗ на РП*

Физический смысл теоретических методов решения задач управления уровнями требований к безопасности движения (УТБД) в моделях схем организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) на автономных регулируемых пересечениях (РП) можно продемонстрировать на примере работы блок-схемы функциональных элементов подсистемы контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта в модели системы автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД) для многополосного Х-образного РП (см. рисунок 1.7). Блок-схема ПКО реализует класс "Систем управления движением на многополосных перекрестках" [134, 135, 138].

Теоретический анализ возможностей такой блок-схемы решать задачи принятия решений по поддержанию заданных уровней безопасности движения (БД) проведен ниже. В анализе использованы разные методы управления **I**, **II** и **III** (таблица 3.3 и рисунок 3.1) светофорной сигнализации, в том числе и с самоорганизацией и адаптацией структурных моделей СОД с КЗ для РП. Анализ сделан на базе универсальной формализованной модели исходных данных пиковой интенсивности транспортно-пешеходных потоков (ТПП) по рисунку 1.13 при разных вариантах изменения соответствующих интенсивностей ТП, которые скомпонованы в массив таблиц 2.9 – 2.12. При этом для разных **I**, **II** и **III** методов управления в моделях СОД (без иллюстрации КЗ и конфликтных точек) на РП по рисункам 2.7, 2.8, 2.10 и 2.12 произведены расчеты длительности цикла светофорной сигнализации  $T_{\text{ц}}$  по формулам метода Ф. Вебстера (см. раздел 2.1).

Графики управления циклом светофорной сигнализации рисунки 2.9, 2.11 и 2.13 построены только для соответствующих моделей СОД на РП рисунки 2.8, 2.10 и 2.12. Расчеты же оценок БД через конфликтные загрузки проведены по формуле (2.39)  $R_{\text{пл}}$  для моделей СОД с КЗ рисунка 2.14 (по модели СОД рисунков 2.8 и 2.10) и рисунок 2.15 (по модели СОД рисунка 2.12) с использованием соответствующих таблиц 2.13 – 2.16.

Для модели СОД рисунка 2.7 рассчитана конфликтная загрузка только для конфликтных точек от несоблюдения дистанции между движущимися транспортными средствами, которая имеет максимально возможную оценку БД для  $R_{\text{пл}} \leq 0,75$  ед.

Адаптивные структурные изменения на РП в виды, представленные на рисунках 2.7, 2.8, 2.10 и 2.12 моделей СОД на одном и том же РП в зависимости от изменения интенсивности ТП возможны в САУ БДД только с применением инновационных приемов [13, 84, 134, 135, 137, 138, 143] самоорганизации и адаптации (Т.1 в Т.1.пл и наоборот) в структурных моделях СОД. В СОД со-

хранена маркировка из блок-схемы рисунка 1.7 для ТПП, с привязкой к непоказанным на рисунках 2.7, 2.8, 2.10 и 2.112 – Входам А, Б, В и Г рисунка 1.7.

Таблица 2.9 – Исходные данные интенсивности ТП

А		Б		В		Г	
10а	400	10б	190	10в	80	10г	70
11а	400	11б	540	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

*Последовательность расчета интенсивности движения*

Значения потоков насыщения (см. разд. 1.4 и 2.1) для каждого из направлений рисунка 2.6 в соответствующих фазах будут равны:

$$M_{H1(11Б)} = M_{H1(11А)} = 1970 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H2(12Б)} = M_{H2(12А)} = 1800 / (1 + 1,525 / 7) = 1478 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H2(10Б)} = M_{H2(10А)} = 1800 / (1 + 1,525 / 20) = 1672 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H3(11Г)} = M_{H3(11В)} = 1970 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H3(12Г)} = M_{H3(12В)} = 1800 / (1 + 1,525 / 7) = 1478 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H3(10Г)} = M_{H3(10В)} = 1800 / (1 + 1,525 / 20) = 1672 \text{ ед./ч},$$

где индексы направлений в отличие от индексов фаз заключены в скобки.

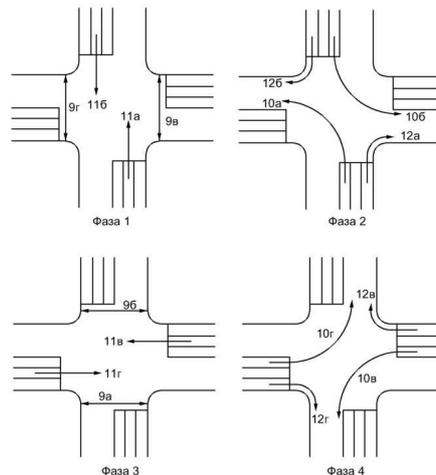


Рисунок 2.7 – Модель СОД при II методе управления по отдельным направлениям, без пересечения ("просачивания") ТП между собой и с ПП, где  $R_{ПП} \leq 0,75$  ед. (т. е. обеспечена концепция "нулевой смертности"),  $T_{ц} = 161$ с (превышено время «терпеливого ожидания» для водителей – для практики такая модель

## СОД непригодна)

Фазовые коэффициенты для каждого из направлений движения на перекрестке и конкретной фазы регулирования рассчитывают по формуле (2.3):

$$y_{1(11Б)} = 540 / 1970 = 0,27 ; \quad y_{1(11А)} = 400 / 1970 = 0,20 ;$$

$$y_{2(12Б)} = 135 / 1478 = 0,09 ; \quad y_{2(12А)} = 330 / 1478 = 0,22 ;$$

$$y_{2(10Б)} = 190 / 1672 = 0,11 ; \quad y_{2(10А)} = 400 / 1672 = 0,24 ;$$

$$y_{3(12Г)} = 100 / 1478 = 0,07 ; \quad y_{3(12В)} = 60 / 1478 = 0,04 ;$$

$$y_{3(10Г)} = 70 / 1672 = 0,04 ; \quad y_{3(10В)} = 80 / 1672 = 0,05 ;$$

$$y_{3(11Г)} = 400 / 1970 = 0,20 ; \quad y_{3(11В)} = 540 / 1970 = 0,27 .$$

В качестве расчетных (определяющих длительность основного такта) фазовых коэффициентов выбирают наибольшие фазовые коэффициенты в каждой фазе регулирования, т. е.  $y_1 = 0,27$ ,  $y_2 = 0,24$ ,  $y_3 = 0,27$ ,  $y_4 = 0,07$ .

Их сумма будет равна:  $Y = 0,27 + 0,24 + 0,27 + 0,07 = 0,82$ .

Далее определяют длительность промежуточных тактов.

По формуле (2.5) определяют длительность промежуточного такта  $t_{п}$  для каждой фазы:

$$t_{п1} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(23 + 5) / 50 = 4 \text{ с}; \quad t_{п2} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(19 + 5) / 25 = 4 \text{ с};$$

$$t_{п3} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(27 + 5) / 50 = 4 \text{ с}; \quad t_{п4} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(19 + 5) / 25 = 4 \text{ с}.$$

Проверяют, успевают ли пешеходы за период промежуточного такта дойти до середины проезжей части или вернуться на тротуар по формуле (2.6):

$$t_{п1(пш)} = t_{п3(пш)} = 23 / (4 \cdot 1,3) = 4 \text{ с}.$$

Ранее получено  $T_{п} = 16 \text{ с}$  и  $Y = 0,82$ , то  $T_{ц} = (1,5 \cdot 16 + 5) / (1 - 0,82) = 161 \text{ с}$ .

Длительность основных тактов для каждой фазы регулирования определим по формуле (2.2):

$$t_{о1} = (161 - 16) \cdot 0,27 / 0,82 = 46 \text{ с}; \quad t_{о2} = (161 - 16) \cdot 0,24 / 0,82 = 41 \text{ с};$$

$$t_{о3} = (161 - 16) \cdot 0,27 / 0,82 = 46 \text{ с}, \quad t_{о4} = (161 - 16) \cdot 0,07 / 0,82 = 12 \text{ с}.$$

Структура цикла регулирования:  $T_{ц} = 161 \text{ с} = 46 + 4 + 41 + 4 + 46 + 4 + 12 + 4$ .

В первой и в третьей фазе пешеходы переходят проезжую часть шириной 23 м. Время необходимое для их движения определяем по формуле (2.7):  
 $t_{\text{III1}} = t_{\text{III3}} = 5 + 23/1,3 = 23 \text{ с.}$

Принимая сумму промежуточных тактов  $T_{\text{п}} = 16 \text{ с}$  и ограничение длительности цикла регулирования  $T_{\text{ц}} = 120 \text{ с}$ , можно составить уравнение, искомой величиной в котором является сумма фазовых коэффициентов. Решение данного уравнения дает величину суммы равной 0,76. Примем, что фазовые коэффициенты равны друг другу. Учитывая потоки насыщения для прямого, лево- и правоповоротного направлений движения и, решив еще три уравнения по формуле (2.3) получим: интенсивность прямого направления движения равна 374 ед./ч, интенсивность левоповоротного направления движения 280 ед./ч и правоповоротного – 317 ед./ч.

Принимая минимальную длительность разрешающего сигнала любой фазы регулирования 7 с [157] и промежуточный такт 4 с, получим минимальную длительность цикла регулирования для данной четырехфазной модели СОД  $T_{\text{цmin}} = 44 \text{ с}$ . Сумма фазовых коэффициентов в этом случае должна быть равной 0,34, а фазовые коэффициенты (равновероятно) 0,085. Минимальные значения интенсивностей движения, в таком случае, будут равны: для прямого направления движения 168 ед./ч; для левоповоротного 126 ед./ч; для правоповоротного 142 ед./ч. Такие данные не удовлетворяют исходным данным интенсивности ТП табл. 2.9, поэтому модель СОД рисунок 2.7 интересна для теории и неприемлема для практического использования.

Далее исследуем модели СОД на оценки БД  $R_{\text{ГЛ}}$  и пропускной способности через  $T_{\text{ц}}$  при комбинированным **III** методе управления, разрешающем "просачивание" ТП: – только в третьей фазе движения рисунок 2.8, – только в первой фазе рисунок 2.10 и, наконец, – только в первой и второй фазах модели СОД при пофазном **I** методе управления с организацией отдельной пешеходной фазы рисунок 2.12.

Таблица 2.10 – Исходные данные интенсивности ТП

А		Б		В		Г	
10а	400	10б	190	10в	80	10г	70
11а	540	11б	400	11в	1130	11г	850
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

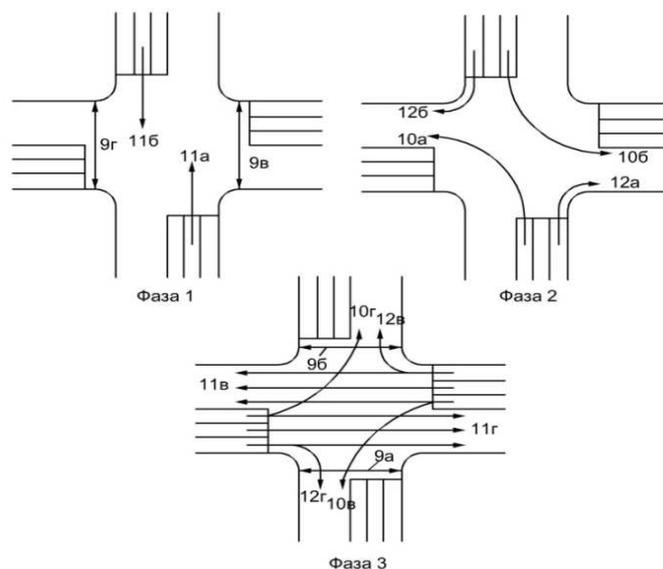


Рисунок 2.8 – Модель СОД с комбинированным III методом управления и "просачиванием" ТП только в третьей фазе движения, где  $R_{ПД} = 4.3$  ед., а  $T_{ц} = 89$ с

Значения потоков насыщения для каждого из направлений в соответствующих фазах будут равны:

$$M_{H1(11Б)} = M_{H1(11А)} = 1970 \text{ ед./ч ;}$$

$$M_{H2(12Б)} = M_{H2(12А)} = 1800 / (1 + 1,525 / 7) = 1478 \text{ ед./ч ;}$$

$$M_{H2(10Б)} = M_{H2(10А)} = 1800 / (1 + 1,525 / 20) = 1672 \text{ ед./ч ;}$$

$$M_{H\text{прям}} = 525 \cdot 3 \cdot 3,75 = 5900 \text{ ед./ч ,}$$

$$M_{H(11В)} = 5900 \frac{100}{89 + 1,75 \cdot 6 + 1,25 \cdot 5} = 5570 \text{ ед./ч ,}$$

$$M_{H(11Г)} = 5900 \frac{100}{83 + 1,75 \cdot 7 + 1,25 \cdot 10} = 5490 \text{ ед./ч ,}$$

где индексы направлений в отличие от индексов фаз заключены в скобки.

Фазовые коэффициенты для каждого из направлений движения на пересечении и конкретной фазы регулирования рассчитывают по формуле (2.3):

$$y_{1(11Б)} = 400 / 1970 = 0,20 ; \quad y_{1(11А)} = 540 / 1970 = 0,27 ;$$

$$y_{2(12Б)} = 135 / 1478 = 0,08; \quad y_{2(12А)} = 330 / 1478 = 0,22;$$

$$y_{2(10Б)} = 190 / 1672 = 0,11; \quad y_{2(10А)} = 400 / 1672 = 0,24;$$

$$y_{3(11Г)} = 570 / 5200 = 0,18; \quad y_{3(11В)} = 680 / 5300 = 0,23.$$

В качестве расчетных (определяющих длительность основного такта) фазовых коэффициентов выбирают наибольшие фазовые коэффициенты в каждой фазе регулирования, т. е.  $y_1 = 0,27$ ,  $y_2 = 0,24$ ,  $y_3 = 0,23$ .

Их сумма будет равна:  $Y = 0,27 + 0,24 + 0,23 = 0,74$ .

Далее определяют длительность промежуточных тактов.

По формуле (2.5) определяют длительность промежуточного такта  $t_{п}$  для каждой фазы:

$$t_{п1} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(23 + 5) / 50 = 4 \text{ с}; \quad t_{п2} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(19 + 5) / 25 = 4 \text{ с};$$

$$t_{п3} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(27 + 5) / 50 = 4 \text{ с}.$$

Проверяют, успевают ли пешеходы за период промежуточного такта пройти до середины проезжей части или вернуться на тротуар по формуле (2.6):

$$t_{п1(пш)} = t_{п3(пш)} = 23 / (4 \cdot 1,3) = 4 \text{ с}.$$

Ранее получено  $T_{п} = 12 \text{ с}$  и  $Y = 0,74$ , то  $T_{ц} = (1,5 \cdot 12 + 5) / (1 - 0,74) = 89 \text{ с}$ .

Длительность основных тактов для каждой фазы регулирования определим по формуле (2.2):

$$t_{o1} = (89 - 12)0,27 / 0,74 = 28 \text{ с}; \quad t_{o2} = (89 - 12)0,24 / 0,74 = 25 \text{ с};$$

$$t_{o3} = (89 - 12)0,23 / 0,74 = 24 \text{ с}.$$

Структура цикла регулирования:  $T_{ц} = 89 \text{ с} = 28 + 4 + 25 + 4 + 24 + 4$ . В первой и в третьей фазе пешеходы переходят проезжую часть шириной 23 м. Время необходимое для их движения определяем по формуле (2.7):

$$t_{пш1} = t_{пш3} = 5 + 23 / 1,3 = 23 \text{ с}.$$

Для модели СОД рисунок 2.8 и полученной для нее структуры цикла светофорной сигнализации ( $T_{ц} = 89 \text{ с}$ ) строим компьютерной графикой [157] рису-

нок 2.9 – график комбинированного III метода управления циклом светофорной сигнализации.

Принимая сумму промежуточных тактов  $T_{ц} = 12с$  и ограничение длительности цикла регулирования  $T_{ц} = 120 с$ , можно составить уравнение, искомой величиной в котором является сумма фазовых коэффициентов. Решение данного уравнения дает величину суммы равной 0,81. Примем, что фазовые коэффициенты равны друг другу. Учитывая потоки насыщения для прямого, лево- и правоповоротного направлений движения и, решив еще три уравнения по формуле (2.3), получим: интенсивность прямого направления при движении по одной полосе равна 531 ед./ч, при движении по трем полосам – 1596 ед./ч, интенсивность левоповоротного направления движения – 400 ед./ч и правоповоротного – 451 ед./ч.

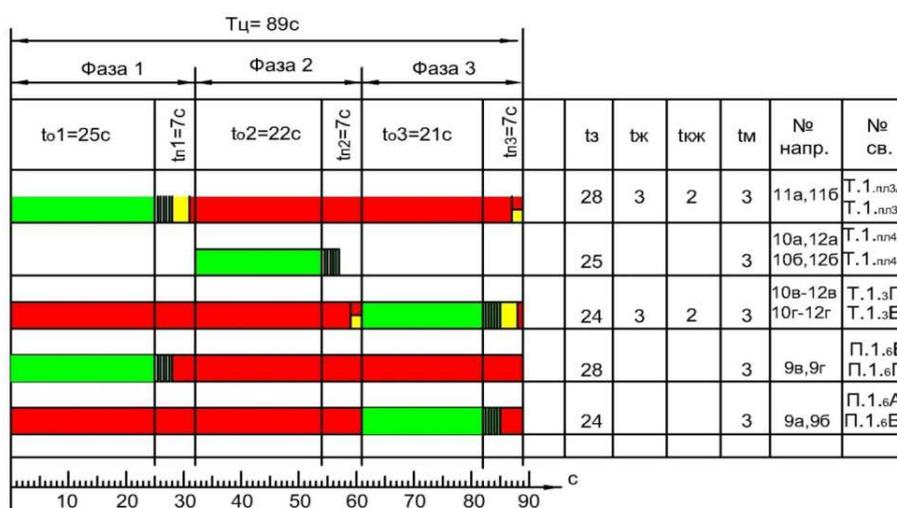


Рисунок 2.9 – График комбинированного III метода управления циклом светофорной сигнализации для модели СОД по рисунку 2.8, где в столбцах № св. и № напр. обозначены по входным направлениям А, Б, В, Г перекрестка установленные типы светофоров Т.1пл, Т.1 и П.1 по ГОСТ Р 52282–2004 с соответствующей нумерацией (3, 4, 6) и направления движения ТПП в соответствии с блок-схемой рисунка 1.7; пофазный I метод управления используется в фазе 3 при транспортных светофорах Т.1, разрешающих "просачивания" левоповоротным ТП 10в и 10г. как через встречные ТП 11г и 11в, так и совместно с право-

поворотными ТП 12г и 12в – просачиваться через ПП 9а и 9б; **II** метод управления по отдельным направлениям используется в фазах 1 и 2 при использовании транспортных светофоров Т.1.пл, не разрешающих образовывать конфликтные точки на пересечение ("просачивание") ТП, как с другими ТП, так и с

### ПП

Принимая минимальную длительность разрешающего сигнала любой фазы регулирования 7 с, а промежуточный такт 4 с [157, 164], получим минимальную длительность цикла регулирования для данной трехфазной модели СОД  $T_{\text{цикл}} = 33\text{с}$ . Сумма фазовых коэффициентов в этом случае должна быть равной 0,30, а фазовые коэффициенты (равновероятно) по 0,1. Минимальные значения интенсивности движения в таком случае будут равны: – для прямого направления движения при движении по одной полосе – 197 ед./ч, – при движении по трем полосам – 591 ед./ч, – для левоповоротного – 148 ед./ч, – для правоповоротного – 167 ед./ч.

Таблица 2.11 – Исходные данные интенсивности ТП

А		Б		В		Г	
10а	80	10б	70	10в	400	10г	190
11а	1130	11б	850	11в	540	11г	400
12а	60	12б	100	12в	330	12г	135

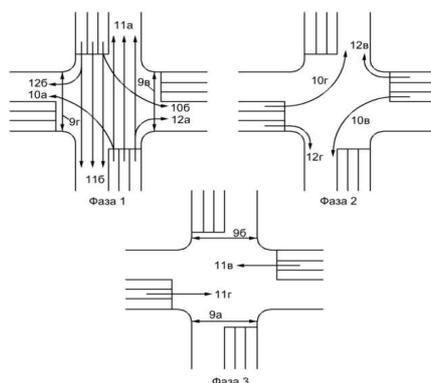


Рисунок 2.10 – Модель СОД при комбинированном **III** методе управления разрешает "просачивание" ТПП только в первой фазе движения, где  $R_{\text{ПП}} = 4,3\text{ед.}$ ,

$$T_{\text{ц}} = 93\text{с}$$

Значения потоков насыщения для каждого из направлений в соответствующих фазах будут равны:

$$M_{H1(11B)} = M_{H1(11Г)} = 1970 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H2(12B)} = M_{H2(12A)} = 1800 / (1 + 1,525 / 7) = 1478 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H2(10B)} = M_{H2(10A)} = 1800 / (1 + 1,525 / 20) = 1672 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H\text{прям}} = 525 \cdot 3 \cdot 3,75 = 5900 \text{ ед./ч},$$

$$M_{H(11A)} = 5900 \frac{100}{89 + 1,75 \cdot 6 + 1,25 \cdot 5} = 5570 \text{ ед./ч},$$

$$M_{H(11B)} = 5900 \frac{100}{83 + 1,75 \cdot 7 + 1,25 \cdot 10} = 5490 \text{ ед./ч},$$

где индексы направлений в отличие от индексов фаз заключены в скобки.

Фазовые коэффициенты для каждого из направлений движения на перекрестке и конкретной фазы регулирования рассчитывают по формуле (2.3):

$$y_{1(11Г)} = 400 / 1970 = 0,20; \quad y_{1(11B)} = 540 / 1970 = 0,27;$$

$$y_{2(12B)} = 135 / 1478 = 0,09; \quad y_{2(12A)} = 330 / 1478 = 0,22;$$

$$y_{2(10B)} = 190 / 1672 = 0,11; \quad y_{2(10A)} = 400 / 1672 = 0,24;$$

$$y_{3(B)} = 570 / 5200 = 0,11; \quad y_{3(11A)} = 680 / 5300 = 0,13.$$

В качестве расчетных (определяющих длительность основного такта) фазовых коэффициентов выбирают наибольшие фазовые коэффициенты в каждой фазе регулирования, т. е.  $y_1 = 0,27$ ,  $y_2 = 0,24$ ,  $y_3 = 0,23$ .

Их сумма будет равна:  $Y = 0,27 + 0,24 + 0,23 = 0,74$ .

Далее определяют длительность промежуточных тактов.

По формуле (2.5) определяют длительность промежуточного такта  $t_{II}$  для каждой фазы:

$$t_{II1} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(23 + 5) / 50 = 4 \text{ с}; \quad t_{II2} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(19 + 5) / 25 = 4 \text{ с};$$

$$t_{II3} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(27 + 5) / 50 = 4 \text{ с}.$$

Проверяют, успевают ли пешеходы за период промежуточного такта пройти до середины проезжей части или вернуться на тротуар по формуле (2.6):

$$t_{п1(пш)} = t_{п3(пш)} = 23 / (4 \cdot 1,3) = 4 \text{ с.}$$

Ранее получено  $T_{ц} = 12 \text{ с}$  и  $Y = 0,74$ , то  $T_{ц} = (1,5 \cdot 12 + 5) / (1 - 0,74) = 89 \text{ с}$ .

Длительность основных тактов для каждой фазы регулирования определим по формуле (2.2):

$$t_{o1} = (89 - 12) \cdot 0,27 / 0,74 = 28 \text{ с}; \quad t_{o2} = (89 - 12) \cdot 0,24 / 0,74 = 25 \text{ с};$$

$$t_{o3} = (89 - 12) \cdot 0,23 / 0,74 = 24 \text{ с}.$$

Структура цикла регулирования:  $T_{ц} = 89 \text{ с} = 28 + 4 + 25 + 4 + 24 + 4$ .

В первой и в третьей фазе пешеходы переходят проезжую часть шириной 23 м. Время необходимое для их движения определяем по формуле (2.7):

$$t_{пш1} = t_{пш3} = 5 + 23 / 1,3 = 23 \text{ с}.$$

По результатам строится, представленный на рисунке 2.11 график с комбинированным **III** методом управления циклом светофорной сигнализации для модели СОД с вариантом рисунка 2.10.

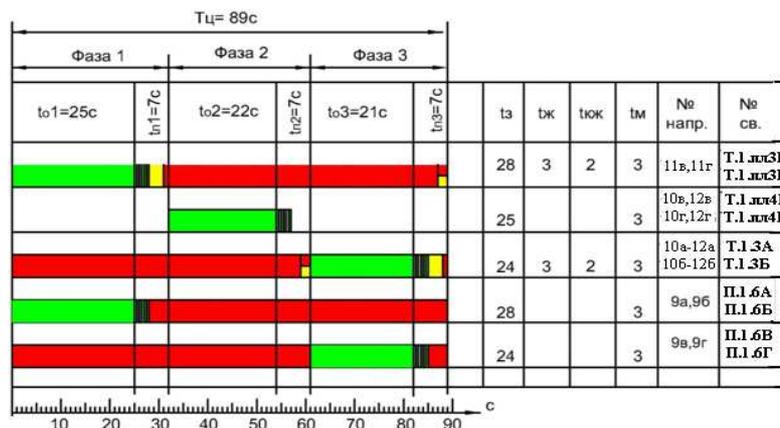


Рисунок 2.11 – График комбинированного **III** метода управления циклом светофорной сигнализации для модели СОД по рис.унку 2.10, где **II** метод управления по отдельным направлениям используется в фазах 2 и 3 при транспортных светофорах Т.1.пл, без конфликтных точек на пересечение ("просачивание") ТП между собой и с ПП; пофазный **I** метод управления используется в фазе 1 при транспортных светофорах Т.1, разрешающих "просачивания" левоповоротным ТП 10а – 12а и 10б – 12б, как через встречные ТП 11б и 11а, так и совместно с правоповоротными ТП 12а и 12б – просачиваться через ПП 9в и 9г

Принимая сумму промежуточных тактов  $T_{\Pi} = 12$  с и ограничение длительности цикла регулирования  $T_{\Sigma} = 120$  с, можно составить уравнение, искомой величиной в котором является сумма фазовых коэффициентов. Решение данного уравнения дает величину суммы равной 0,81. Примем, что фазовые коэффициенты равны друг другу. Учитывая потоки насыщения для прямого, лево- и правоповоротного направлений движения и, решив еще три уравнения по формуле (2.3), получим: – интенсивность прямого направления при движении по одной полосе равна 531ед./ч, при движении по трем полосам – 1596 ед./ч, интенсивность левоповоротного направления движения – 400 ед./ч и правоповоротного – 451 ед./ч. Принимая минимальную длительность разрешающего сигнала любой фазы регулирования – 7 с и промежуточный такт – 4 с, получим минимальную длительность цикла регулирования для данной трехфазной СОД  $T_{\Sigma \min} = 33$ с. Сумма фазовых коэффициентов в этом случае должна быть равной 0,30, а фазовые коэффициенты (равновероятно) 0,1. Минимальные интенсивности движения в таком случае будут равны для прямого направления движения при движении по одной полосе – 197ед./ч, при движении по трем полосам – 591 ед./ч, для левоповоротного – 148 ед./ч, для правоповоротного – 167 ед./ч.

Таблица 2.12 – Исходные данные интенсивности ТП

А		Б		В		Г	
10а	400	10б	190	10в	80	10г	70
11а	1130	11б	850	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Значения потоков насыщения для каждого из направлений в соответствующих фазах будут равны:  $M_{H_{\text{прямое}}} = 525 \cdot 3 \cdot 3,75 = 5900$  ед./ч ;

$$M_{H(A)} = 5900 \frac{100}{61 + 1,75 \cdot 21 + 1,25 \cdot 18} = 4570 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H(B)} = 5900 \frac{100}{72 + 1,75 \cdot 16 + 1,25 \cdot 12} = 4790 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H(B)} = 5900 \frac{100}{79 + 1,75 \cdot 12 + 1,25 \cdot 9} = 4960 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H(\Gamma)} = 5900 \frac{100}{70 + 1,75 \cdot 12 + 1,25 \cdot 18} = 4850 \text{ ед./ч};$$

где индексы направлений в отличие от индексов фаз заключены в скобки.

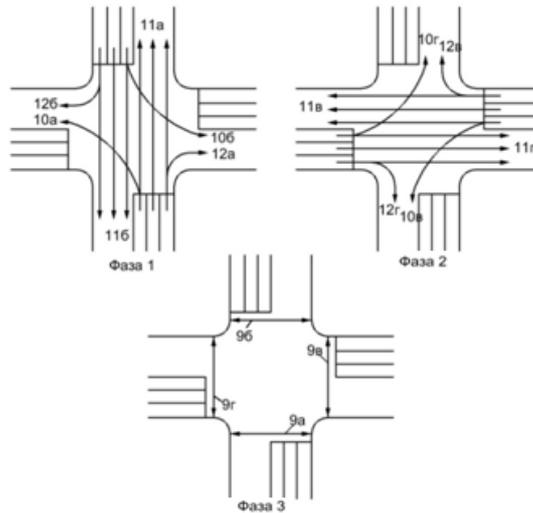


Рисунок 2.12 – Модель СОД при пофазном I методе управления с выделенной пешеходной фазой и частичным "просачиванием" ТП между собой, не допускающим пересечение ТП и ПП в одной фазе цикла регулирования, где

$$R_{\text{Пл}} = 5,5 \text{ ед.}, T_{\text{ц}} = 93 \text{ с}$$

Фазовые коэффициенты для каждого из направлений движения на перекрестке и конкретной фазы регулирования рассчитывают по формуле (2.3):

$$y_{3(Б)} = 1175 / 4790 = 0,24; \quad y_{3(11A)} = 1860 / 4570 = 0,40;$$

$$y_{1(Г)} = 570 / 4850 = 0,12; \quad y_{1(В)} = 680 / 4960 = 0,14.$$

В качестве расчетных (определяющих длительность основного такта) фазовых коэффициентов выбирают наибольшие фазовые коэффициенты в каждой фазе регулирования, т. е.  $y_1 = 0,40$ ,  $y_2 = 0,14$ .

Их сумма будет равна:  $Y = 0,40 + 0,14 = 0,54$ .

Далее определяют длительность промежуточных тактов.

По формуле (2.5) определяют длительность промежуточного такта  $t_{\text{п}}$  для каждой фазы:  $t_{\text{п1}} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(23+5) / 50 = 4 \text{ с}$ ;  $t_{\text{п2}} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(19+5) / 25 = 4 \text{ с}$ .

Проверяют, успевают ли пешеходы за период промежуточного такта дойти до середины проезжей части или вернуться на тротуар по формуле (2.6):

$$t_{\text{п1(пш)}} = t_{\text{п3(пш)}} = 23 / (4 \cdot 1,3) = 4 \text{ с}.$$

Ранее получено  $T_{\text{ц}} = 12$  с и  $Y = 0,54$ , то  $T_{\text{ц}} = (1,5 \cdot 12 + 5) / (1 - 0,54) = 50$  с.

Длительность основных тактов для каждой фазы регулирования определим по формуле (2.2):  $t_{o1} = (50 - 12)0,40 / 0,54 = 28$  с;  $t_{o2} = (50 - 12)0,14 / 0,54 = 8$  с.

Структура цикла регулирования:  $T_{\text{ц}} = 89$  с = 28 + 4 + 25 + 4 + 24 + 4.

Пешеходы переходят проезжую часть шириной 23 м. Время необходимое для их движения определяем по формуле (2.7):

$$t_{\text{пш1}} = t_{\text{пш3}} = 5 + 23 / 1,3 = 23 \text{ с.}$$

Определяют новую, скорректированную длительность цикла по формуле (2.10), но для этого сначала определяют значения  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

$$A = 1 - (0,40 + 0,14) = 0,46; B = 2,5 \cdot 12 - 12 \cdot 0,54 + 23 + 5 = 51,52; C = (12 + 23)(1,5 \cdot 12 + 5) = 805.$$

Тогда новая, скорректированная длительность цикла будет равна:

$$T_{\text{ц}}^* = 51,52 / (2 \cdot 0,46) + \sqrt{51,52^2 / (4 \cdot 0,46^2) - 805 / 0,46} = 93 \text{ с.}$$

Так как по условиям пешеходного движения не уточнялся основной такт 1 и 2 фазы, то найдем их длительность по формуле (2.11).

$$t_{o1}^* = ((93 - 12)93 \cdot 0,40) / (93 - 1,5 \cdot 12 - 5) = 43 \text{ с}; t_{o2}^* = ((93 - 12)93 \cdot 0,14) / (93 - 1,5 \cdot 12 - 5) = 15 \text{ с};$$

Таким образом, аналитический вид скорректированной структуры цикла режима светофорного регулирования будет иметь вид:

$$T_{\text{ц}}^* = 93 \text{ с} = 43 + 4 + 15 + 4 + 23 + 4.$$

Далее строится, представленный на рисунке 2.13, график пофазного I метода управления циклом светофорной сигнализации, для модели СОД рисунка 2.12 при выделенной пешеходной фазе.

Принимая сумму промежуточных тактов  $T_{\text{ц}} = 12$  с и ограничение длительности цикла регулирования  $T_{\text{ц}} = 120$  с, можно составить уравнение, искомой величиной в котором является сумма фазовых коэффициентов. Решение данного уравнения дает величину суммы равной 0,81. Примем, что фазовые коэффициенты равны друг другу. Учитывая потоки насыщения для прямого, лево- и правоповоротного направлений движения и, решив еще три уравнения по формуле

(2.3), получим: интенсивность прямого направления при движении по одной полосе равна 531ед./ч, при движении по трем полосам – 1596 ед./ч.

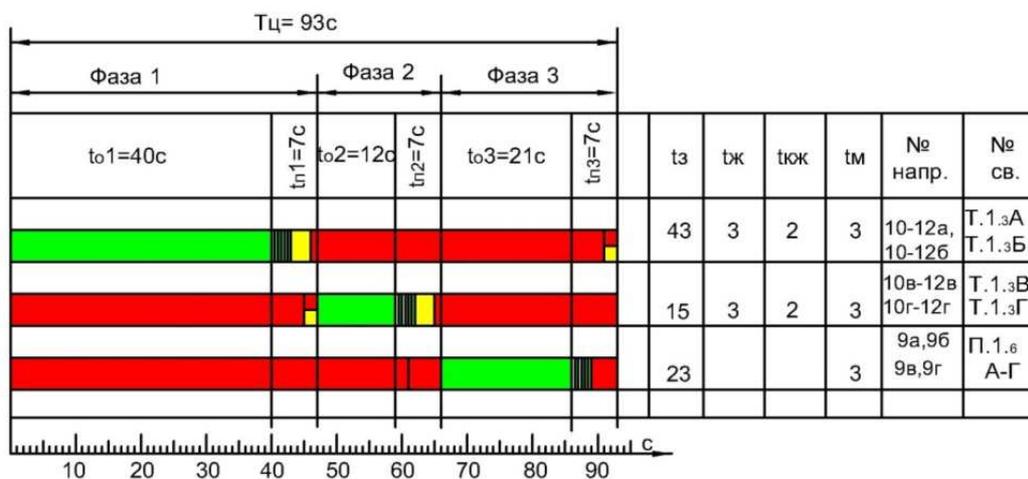


Рисунок 2.13 – График пофазного I метода управления циклом светофорной сигнализации в модели СОД при выделенной пешеходной фазе по рисунку 2.12, где по всем входам используются транспортные светофоры Т.1 и не допускаются пересечения транспортных средств с пешеходами

Принимая минимальную длительность разрешающего сигнала любой транспортной фазы регулирования – 7 с, пешеходной фазы – 23 с, промежуточный такт – 4 с, – получим минимальную длительность цикла регулирования для данной трехфазной СОД –  $T_{ц\min} = 49$  с.

Сумма фазовых коэффициентов в этом случае должна быть равной 0,53, а фазовые коэффициенты равновероятно равны – 0,17. Минимальные интенсивности движения в таком случае будут равны для прямого направления движения при движении по одной полосе равна – 335 ед./ч, при движении по трем полосам – 1005 ед./ч.

Затем строим соответствующие модели СОД с КЗ, представленные на рисунках 2.14 и 2.15, используя базовые модели СОД рисунков 2.8, 2.10 и 2.12 соответственно.



*Примечание:* \* интенсивность пешеходного движения принимаем 600 чел./ч, в расчете заложено уменьшение значения их интенсивности в 4 раза.

Суммарную конфликтную нагрузку ( $R = 8,6$  ед.) для таблиц 2.13 и 2.14 определять не требуется, так как в одном цикле светофорного регулирования фазы 1 и 3 с такими конфликтными нагрузками в рассмотренных моделях СОД рисунков 2.8 и 2.10 одновременно не предусмотрены.

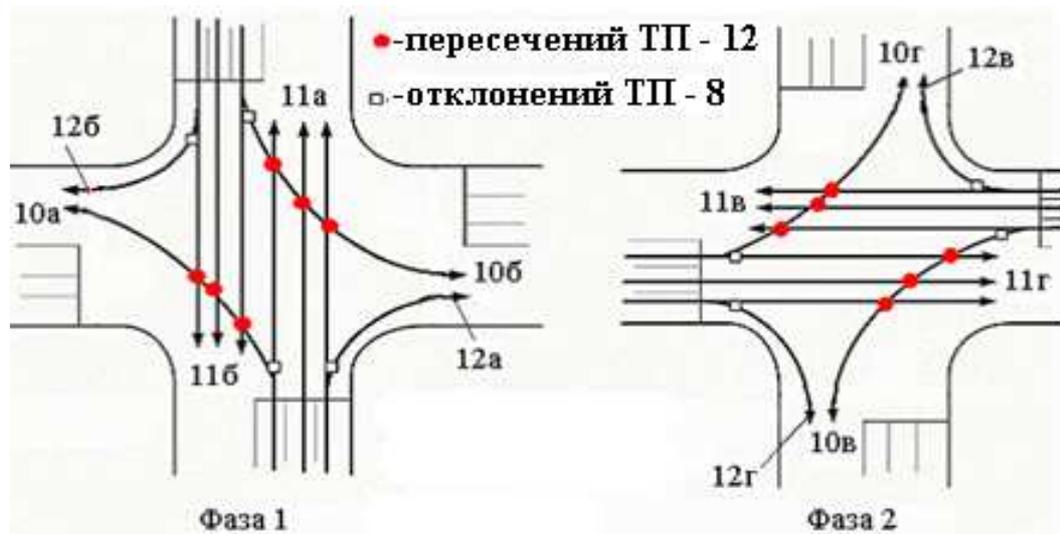


Рисунок 2.15 – Модель СОД с КЗ для модели СОД рисунка 2.12, где  $R_{Пл3} = R_{Пл1} +$

$R_{Пл2} = 5,5$  ед. из таблиц 2.15 и 2.16

Таблица 2.15 – Расчет конфликтной нагрузки  $R_{Пл1}$  для фазы 1 рисунка 2.15

Пересечения		Слияния		Отклонения		Пересечения		Слияния		Отклонения	
400	201	0	1	201	190	0,22	0	0,25			
400	391	0	1	256	135	0,25	0	0,23			
400	256	0	1	400	220	0,24	0	0,23			
190	220	0	1	330	290	0,25	0	0,25			
190	620	0	1	0	1	0,18	0	0			
190	290	0	1	0	1	0,24	0	0			
1,75	0	0,28	Наезд сзади	0,75							
$R_{Пл1}$	2,79	2,8									

Суммарная конфликтная нагрузка для модели СОД с КЗ рисунок 2.15 имеет величину оценки уровня дорожной безопасности  $R_{Пл3} = R_{Пл1} + R_{Пл2} = 5,5$  ед., что относится по действующим нормативам таблицы 2.6 к "малоопасному" состоя-

нию или по авторской градации [84, 143, 157, 164] к промежуточному уровню требований к безопасности движения (ПрУТДБ).

Таблица 2.16 – Расчет конфликтной загрузки  $R_{Пл2}$  для фазы 2 рисунок 2.15

Пересечения		Слияния		Отклонения		Пересечения		Слияния		Отклонения	
80	201	0	1	70	120	0,24	0	0,23			
80	391	0	1	100	90	0,21	0	0,25			
80	256	0	1	146	80	0,25	0	0,23			
70	220	0	1	126	60	0,22	0	0,22			
70	620	0	1	0	1	0,18	0	0			
70	290	0	1	0	1	0,23	0	0			
1,69	0	0,28	Наезд сзади	0,75							
$R_{Пл2}$	2,72	2,7									

Практические методы решения задач управления УТБД далее продемонстрированы для реального РП улиц Белы Куна и Бухарестской в Санкт-Петербурге с использованием (рисунки 1.2 и 1.3) по аналогии с вышеизложенным теоретическим подходом.

Для указанного перекрестка в таблице 2.17 приведена общая статистика по ДТП с 2008 по 2011 гг., которая получена от Управления ГИБДД ГУ МВД России по Санкт-Петербургу и Ленинградской области. Она демонстрирует постоянное наличие ДТП со смертельным исходом, что и послужило толчком для практической апробации теории на практике улиц Белы Куна и Бухарестской.

Таблица 2.17 – Статистика ДТП на РП улиц Белы Куна и Бухарестской

Год	Всего ДТП	Погибло людей	Ранено людей
2008/2009	11/6	1/1	11/5
2010/2011	2/10	1/1	1/10

Алгоритм решения задач управления УТДБ проведен далее в форме имитации модернизации действующего одноуровневого регулируемого пересечения улиц Бухарестской и Белы Куна. Для этого применялись малозатратные приемы многовариантной (альтернативной) разработки моделей СОД с разными конфликтными нагрузками (СОД с КЗ), т. е. с разными УТБД [143, 155].

Расчеты численных значений уровней БД для действующего РП были проведены по шаблону расчета теоретических, сделанных выше через конфликтную загрузку  $R_{\text{пл}}$  и расчетные длительности циклов светофорной сигнализации  $T_{\text{ц}}$ . Поэтому они не приводятся.

Процесс проектирования (совершенствования) РП далее сведен к достижению требуемого техническим заданием, например, "малоопасного" уровня требований к безопасности движения [122, 170] (см. таблицу 2.6) с разновариантным решением задачи по разработке для него пакета моделей СОД с КЗ при минимально-допустимом или нулевом в них числе конфликтных точек. Решение задач малозатратного повышения уровня безопасности движения на РП от традиционного "опасного" до нетрадиционного "малоопасного" уровня конфликтной загрузки в моделях СОД с КЗ целесообразно проводить через инновационные методы и алгоритмы [134, 135, 137, 138]. Для этого необходимо использовать детекторы транспорта или планы календарной автоматике, позволяющие изменять структурные преобразования версий ("сценарий") в организациях управления на самом пересечении и на подходах к нему, обеспечивая структурную адаптацию разработанных альтернативных моделей СОД с КЗ в зависимости от часовых колебаний интенсивности ТПП в течение суток.

Исходный "сценарий" светофорного регулирования движением ТПП на РП представлен существующей моделью СОД с КЗ при двухфазном разъезде ТПП на рисунке 2.16. Он работает сегодня практически на примере X-образного многополосного РП рисунок 1.2 по суточной гистограмме интенсивности движения транспортных потоков рисунок 1.3. Такая модель СОД с КЗ является основным исходным материалом для проектирования новых сценариев – моделей СОД с КЗ с требуемым "малоопасным" уровнем БД (т.е. с ПрУТБД).

Проектирование моделей СОД с КЗ по новым альтернативным сценариям управления методами **I**, **II** и **III** на РП (см. рисунок 3.1) ведут через новые комбинированные методы управления при сохранении двухфазных и многофазных

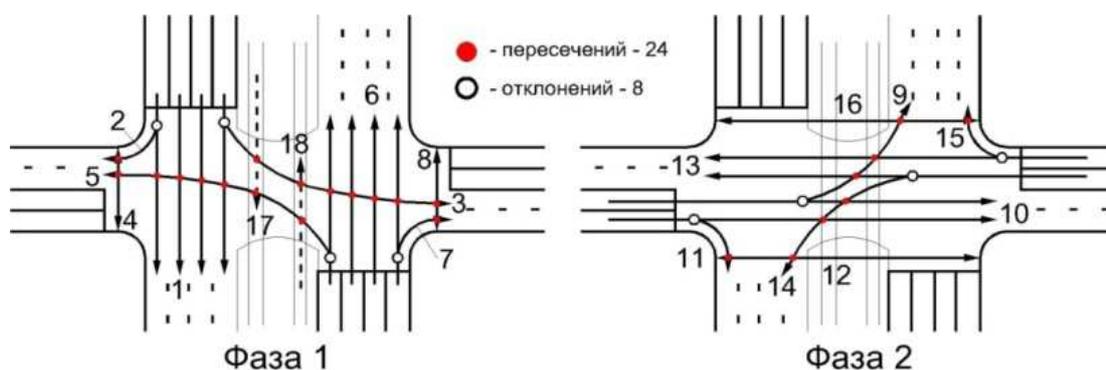


Рисунок 2.16 – Существующая исходная модель СОД с КЗ по I методу управления с двухфазным разъездом ТПП, где при разной конфликтной загрузке  $R_{\text{ТПП}} = 9,6$  и  $6,2$  ед. – в пиковом – и в межпиковом режиме интенсивности ТПП имеет постоянный цикл светофорного управления  $T_{\text{ц}} = 76$  с

разъездов ТПП, как с прерыванием [137] так и без прерывания встречных неуравновешенных транспортных потоков. При этом в межпиковых режимах интенсивности ТП, в соответствии с гистограммой рисунка 1.3, целесообразно использовать исходный сценарий по I методу с 2-х фазной моделью СОД с КЗ, представленной рисунком 2.16.

Модель СОД с КЗ рисунок 2.16 для пикового режима интенсивности ТП имеет  $R_{\text{ТПП}} = 9,6$  ед. – "опасный" (т.е. ДУТБД), а в межпиковые периоды –  $R_{\text{ТПП}} = 6,2$  ед. – "малоопасный" уровень БД (т.е. ПрУТБД) – при постоянной величине  $T_{\text{ц}} = 76$  с.

При пиковых утренних и вечерних колебаниях интенсивностей ТП – исходный сценарий управления светофорной сигнализацией на РП следует менять (по календарной автоматике или по командам от детекторов транспорта) на новые сценарии. Например, заменять на модели: – 3-х фазных СОД с КЗ (рисунок 2.17) с ее графиком комбинированного III метода управления циклом светофорной сигнализации (рисунок 2.18); – 4-х фазных СОД с КЗ (рисунок 2.19) с ее соответствующим графиком комбинированного III метода управления циклом светофорной сигнализации (рисунок 2.20); – 3-х или 4-х фазных СОД с КЗ (рисунок 2.21 или 2.22) с их графиком пофазного I метода управления циклом

сигнализации в модели СОД с КЗ при выделенной пешеходной фазе 3 (рисунок 2.23).

Применение такой сменяемости алгоритмов по времени для моделей СОД с КЗ на РП равнозначно адаптивному управлению светофорной сигнализацией по критерию управления уровнями требований к безопасности движения УТБД.

Сменяемость моделей СОД с КЗ по такой технологии можно автоматизировать календарной автоматикой с использованием функциональных элементов подсистем контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта в моделях САУ БДД для многополосного Х-образного РП. Сменяемость моделей СОД с КЗ станет адаптивной к изменению интенсивности ТПП по критерию максимума транспортной эффективности с обеспечением заданного УТДБ.

Достичь такой автоматизации можно, если в рассматриваемом примере при проектировании многофазных моделей СОД с КЗ в технических средствах организации движения (ТСОД) перекрестка вводить на рисунке 1.2 вместо транспортных светофоров (типа Т.1) с11, с24 и с14, с17, с2, с5 (и их дублеров) соответствующие светофоры с дополнительными секциями типа Т.1.п (с правой) и Т.1.л (с левой дополнительными секциями) в местах их дислокации, а также устанавливать до РП управляемые дорожные знаки 5.15.2, вместо неуправляемых дорожных знаков (ДЗ). Тогда САУ БДД на перекрестке переводится в класс систем с самоорганизующейся структурой функциональных элементов. А именно: - происходит переход в инновационный класс систем управления ТПП [134, 138], создающий возможность изменения предписаний движения по полосам с синхронной сменяемостью светофоров типа Т.1 в другие соответствующие типы Т.1.п и Т.1.л и наоборот. Такое управление движением на РП способно осуществлять "структурную" адаптивную сменяемость его исходного метода с 2-х фазного сценария СОД с КЗ рисунка 2.16 на комбинированные методы управления с заданной БД, но с другими циклами светофорной сигнализации – рисунков 2.17, 2.19 и 2.22. Назовем такое управление альтернативными сценариями регулирования 1 и 2 на РП и обобщим в таблице 2.13:

- при 1-м сценарии регулирования на РП идет перевод исходной двухфазной СОД с КЗ рисунка 2.16 на трехфазную модель СОД с КЗ рисунка 2.17 для вечернего «часа-пик» ТП и на четырехфазную модель СОД с КЗ для утреннего пикового периода ТП с рисунком 2.19;

- при 2-м сценарии регулирования на РП идет перевод исходной двухфазной модели СОД с КЗ рисунка 2.16 на трехфазную модель СОД с КЗ с организацией отдельной пешеходной фазы на РП с рисунком 2.22.

Используя информацию по числу и видам конфликтных точек в моделях СОД с КЗ (рисунки 2.16, 2.17, 2.19 и 2.22), а также данные по интенсивностям ТП (рисунка 1.3), по формуле (2.39) произведены расчеты оценки конфликтной загрузки  $R_{Пл}$  (ед.), результаты которых приведены для каждой модели в таблице 2.13. При этом цифровые оценки конфликтной загрузки ( $R_{Пл}$ ) для исходной действующей модели СОД с КЗ рисунка 2.16 выполнены для двух режимов интенсивностей ТП – пиковых и – межпиковых. Расчет пикового режима, используемого в качестве исходного, он дает "опасный" уровень безопасности движения (9,6 ед.) по нормативу [170], а для межпикового режима получен "малоопасный" (6,2 ед.) уровень БД. Оба режима при равном цикле светофорной сигнализации ( $T_{ц} = 76$  с) обеспечивают одинаковую пропускную способность РП.

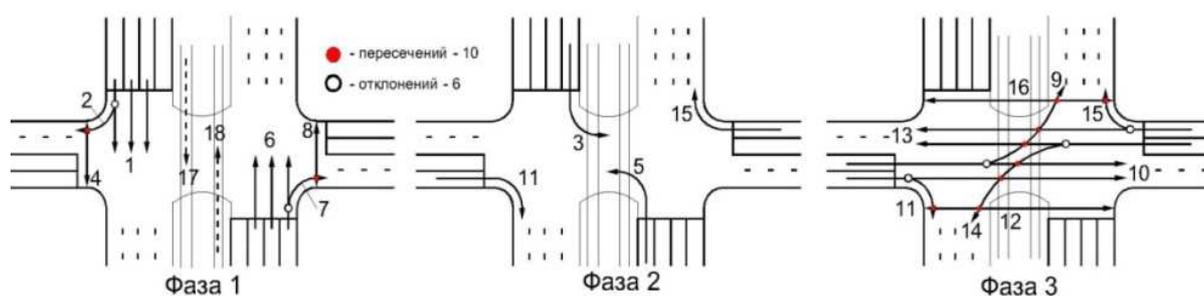


Рисунок 2.17 – Модель СОД с КЗ по комбинированному III методу управления с трехфазным разъездом в вечерний "час-пик" ТП, где  $R_{Пл} = 3,9$  ед. и  $T_{ц} = 120$ с

Расчеты оценок уровней БД через  $R_{Пл}$  и циклов  $T_{ц}$  светофорной сигнализации для альтернативных вариантов проектов моделей СОД с КЗ на рисунках

2.17 – 2.19, 2.20, 2.22 и 2.23 дали соответствующие их значения, вынесенные в подрисуночные надписи.

Расчет значений циклов светофорной сигнализации для пиковых интенсивностей ТП (рисунок 1.2) проведен по методике раздела 2.1, что не противоречит методике – ОДМ 218.2.020–2012 [121].

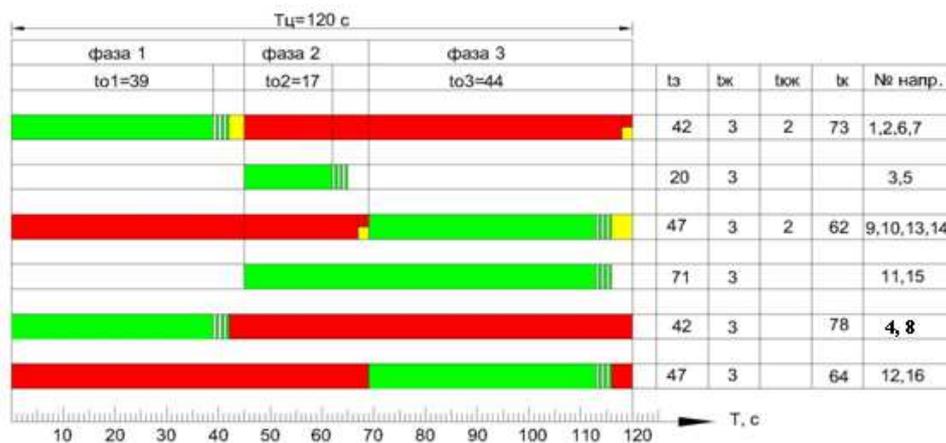


Рисунок 2.18 – График комбинированного III метода управления циклом светофорной сигнализации для 3-х фазной модели СОД с КЗ по рисунку 2.17

Для достижения максимально возможной транспортной эффективности реально действующего перекрестка по безопасности движения и пропускной способности в течение суток используются 1 и 2 малозатратные сценарии регулирования движения на РП, которые с привязкой к почасовому использованию разных сценарных способов сведены в таблицу 2.13. При этом в алгоритмах этих сценариев всегда используется исходный сценарий двухфазной модели СОД с КЗ (рисунок 2.16), как "малоопасный" в межпиковые периоды временных интервалов суток для движения ТПП на РП.

Введение – квазифазы 2 в цикл управления модели СОД с КЗ рисунка 2.19, здесь и в моделях других разделов и приложений диссертационных исследований, не ведет к двойному учету конфликтных точек (здесь – на отклонение) так как они (она – конфликтная точка на отклонение) учитываются (учтена) ранее в основной предыдущей фазе 1. Такой прием является

безопасным и не требует введения промтакта между предыдущей основной фазой и квазифазой [157, 164].

На модели СОД с КЗ рисунка 2.19 и его графике рисунка 2.20 показано, как с момента отсечки (остановки красным сигналом светофора) ТП 1, 2, 17, 18 и ПП 4, 8 (см. рисунок 1.2) – продолжается движение ТП 6, 7, а с включением дополнительной левой секции Т.1.л [133, 135, 137, 138] разрешается безконфликтный левоповоротный ТП 5.

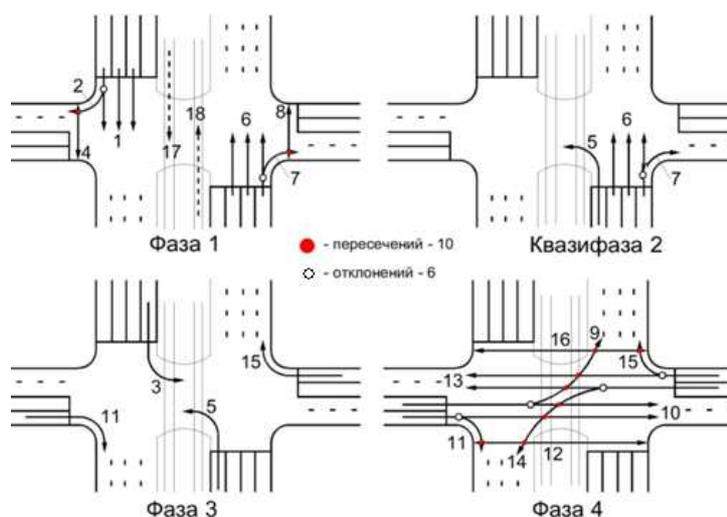


Рисунок 2.19 – Модель СОД с КЗ по комбинированному III методу управления с четырехфазным разъездом для утреннего пикового периода ТП,

$$C R_{\text{Пл}} = 3,9 \text{ ед. И } T_{\text{ц}} = 120 \text{ с}$$

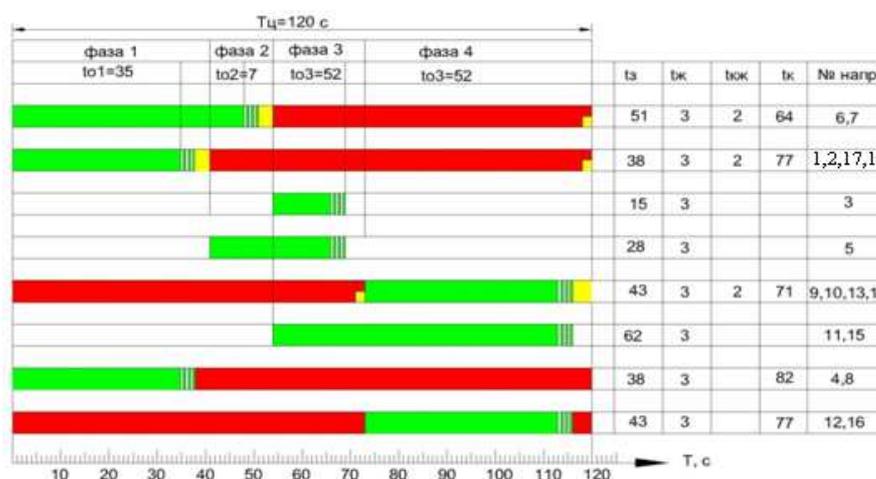


Рисунок 2.20 – График комбинированного III метода управления циклом светофорной сигнализации для 4-х фазной модели СОД с КЗ по рисунку 2.19

Модель рисунка 2.21 не рекомендуется к внедрению, так как приведет к многократным попыткам пешеходов нарушать правила дорожного движения на таком РП из-за долгого ожидания зеленого сигнала пешеходного светофора.

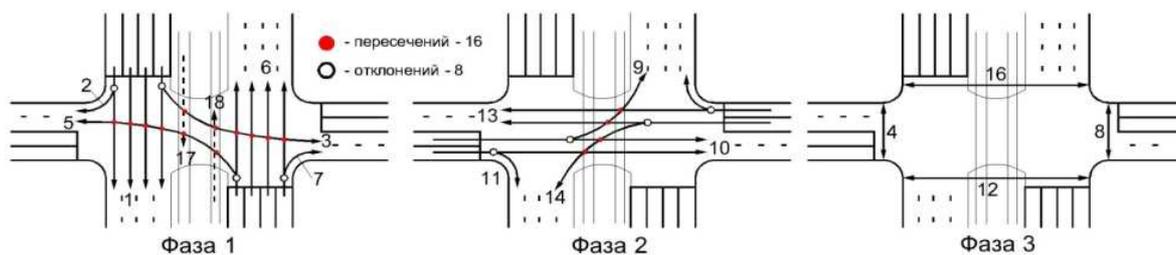


Рисунок 2.21 – Модель СОД с КЗ при пофазном I методе управления с трех-фазным разъездом и организацией отдельной пешеходной фазы, где  $R_{пл} = 4,1$  ед.

и  $T_{ц\min} = 105$  с при недопустимом «терпеливом ожидании» пешеходов

(больше 40 с) на РП

Выходом из такого положения может служить модель СОД с КЗ рисунок 2.22.

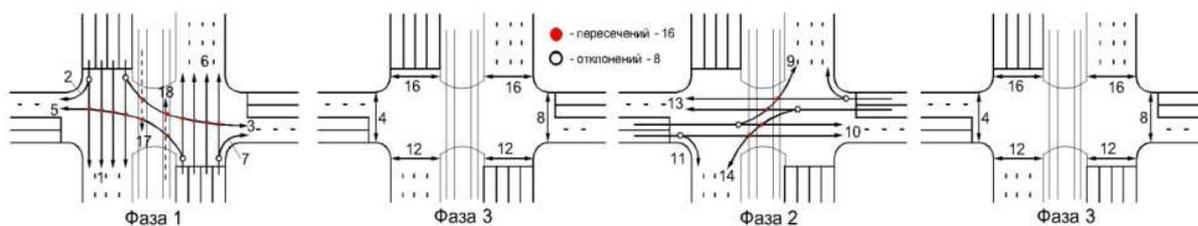


Рисунок 2.22 – Модель СОД с КЗ для I пофазного метода управления с трех-фазным разъездом и организацией отдельной пешеходной фазы, где

$R_{пл} = 4,1$  ед. и  $T_{ц} = 105$  с при допустимом «терпеливом ожидании» пешеходов (до

40 с) на РП

График светофорного управления рисунок 2.23 по модели СОД с КЗ рисунка 2.22 перспективен для внедрения в практику использования, так как время на пешеходный переход может быть ограничено по формуле (2.7) только шириной самой узкой проезжей части улицы.

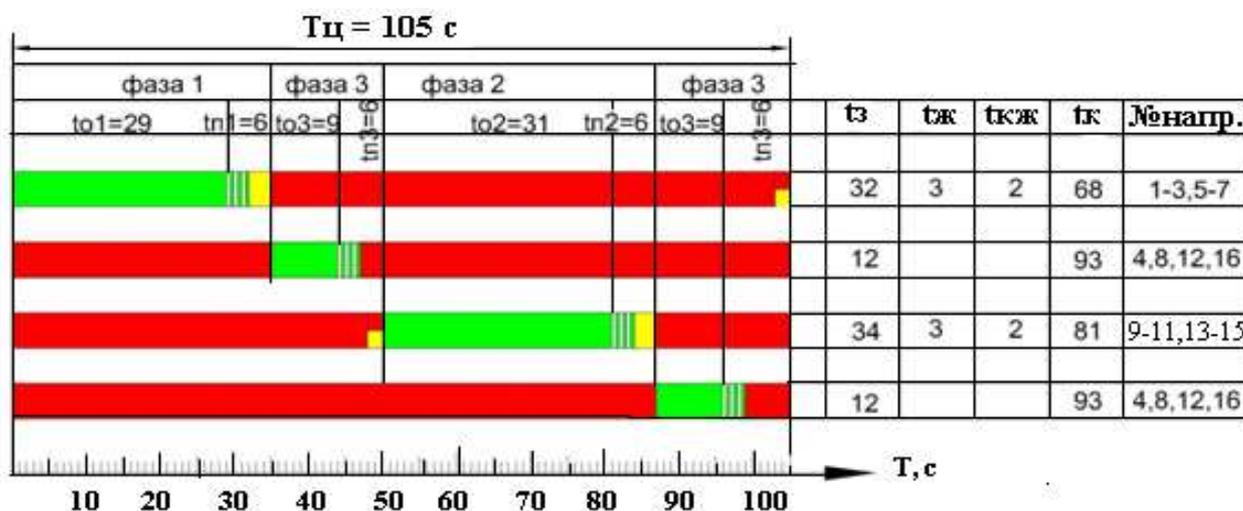


Рисунок 2.23 – График пофазного I метода управления циклом светофорной сигнализации в модели СОД с КЗ при выделенной пешеходной фазе 3 с встроенными в цикл управления поэтапными пешеходными переходами, чередующимися между фазами 1 и 2 (по рисунку 2.22), где по всем входам РП (см. рисунок 1.2) используются транспортные светофоры Т.1 [138] и при этом не допускаются пересечения транспортных средств с пешеходами

Итак, при пиковых режимах движения ТП вместо исходного "опасного" сценария СОД с КЗ на РП по рисунку 2.16 целесообразно вводить новые сценарии 1 с "малоопасными" моделями СОД с КЗ по рисункам 2.17 или 2.19. Их подключение надо проводить в соответствующие временные интервалы суток в зависимости от интенсивности движения ТПП. В альтернативном сценарии 2 – подключается только одна "малоопасная" модель СОД с КЗ на РП по рисунку 2.22, которая не требует структурных изменений ТСОД на перекрестке, касающихся комбинированного III метода управления с изменениями транспортных светофоров из Т.1 в Т.1л и наоборот. Алгоритм календарной автоматики в САУ БДД на РП, представлен таблицей 2.18.

Таблица 2.18 – Алгоритм календарной автоматики в САУ БДД на РП

Интенсивность ТП: - пиковая/меж- пиковая на РП	Управление в САУ БДД на РП с <b>исходным</b> сценарием и новыми - 1 и 2	Модели СОД с КЗ в сценариях управления для САУ БДД на РП	$T_{ц}$ , с	$T_{ц}$ (ср.), с	$R_{пл}$ , ед.	Временной ин- тервал работы сценариев на РП в течение суток
<b>Пиковая</b>	<b>Исходный</b> «опасный» (т.е. ДУТБД)	По рис. 2.16 (2-х фазная)	76	76	9,6	00.00-24.00
Межпиковая	Исходный "опасный" (т.е. ДУТБД)	По рис. 2.16 (2-х фазная)	76	85 или 82	6,2	06.00-07.30; 09.00-13.30; 15.00-17.00; 19.00-06.00
Пиковая	По сценарию 1 "малоопасный" (т.е. ПрУТБД)	По рис. 2.19 4-х фазная	120	85	3,9	07.30-09.00; 13.30-15.00
Пиковая	По сценарию 1 "малоопасный" (т.е. ПрУТБД)	По рис. 2.17 3-х фазная	120	85	3,9	17.00-19.00
Пиковая	По сценарию 2 "малоопасный" (т.е. ПрУТБД)	По рис.2.22 3-х фазная с от- дельной пешеход-ной фазой	105	82	4,1	07.30-09.00; 13.30-15.00; 17.00-19.00

## Выводы по главе 2

Анализ функционирования типовых для России автономно регулируемых светофорами разнополосных пересечений на улично-дорожных сетях мегаполиса Санкт-Петербурга работающих в системах автоматического управления (САУ) без оценки обеспечения требуемого уровня безопасности движения (БД) с изначальной настройкой на эффективную пропускную способность РП позволил сделать следующие выводы о пользе новой методологии для РФ:

1. Статистика ДТП с высоким числом летальных исходов в мегаполисах РФ показала необходимость ухода от догмы, что на регулируемых пересечениях (РП) в условиях выполнения ПДД РФ безопасность дорожного движения обеспечивается автоматически и не требуется введение контроля БДД в действующих СОД с КЗ;

2. В САУ движением на РП требуется контроль конфликтной загрузки в их схемах организации движения (СОД), которую в первую очередь необходимо рассчитывать с учетом конфликтных точек и лишь затем проводить расчеты пропускной способности через цикл светофорной сигнализации;

3. Достоинства от использования такой методологии с алгоритмом календарной автоматики в САУ, которая обеспечивает требуемую БДД на X-образном РП, представлены в таблице 2.18. Методология демонстрирует возможности круглосуточного обеспечения нормативной оценки БД при среднесуточном цикле светофорной сигнализации с эффективной пропускной способностью;

4. Обеспечение безопасности движения в САУ на реально действующем в Санкт-Петербурге РП улиц Бухарестская – Белы Куна проведено через варианты смены традиционно исходного сценария двухфазной модели СОД с КЗ на РП по I методу управления движением на альтернативные сценарии 1 по комбинированному III методу управления движением или на сценарий 2 по I методу управления;

5. Календарная автоматика демонстрирует возможность существенного повышения оценки БД, через снижение конфликтной загрузки  $R_{\text{пл}}=9,6$  ед. исходного "опасного" сценария (т. е. допустимого уровня требований к безопасности движения – ДУТБД) до оценок БД "малоопасных" сценариев (т.е. промежуточных УТБД – ПрУТБД) с  $R_{\text{пл}}=6,2$  ед.,  $R_{\text{пл}}=3,9$  ед. или  $R_{\text{пл}}=4,1$  ед. для разных временных интервалов работы используемых сценариев 1 и 2;

6. Оба сценария 1 и 2 обеспечивают целесообразную величину пропускной способности, зависящую от среднего цикла светофорной сигнализации ( $T_{\text{ц}}(\text{ср}) = 85$  и  $82$  с) в среднесуточном диапазоне регулирования, что не значительно отличается от исходного цикла ( $T_{\text{ц}} = 76$  с) и не нарушают времени допустимого "терпеливого ожидания" для водителей (120 с) и пешеходов (40 с);

7. Вторым сценарий календарной автоматики обеспечения ПрУТБД наиболее эффективен из-за простой реализации по отношению к сценарию 1, т. к. требует только изменения программного обеспечения в дорожном контроллере используемом САУ на регулируемом пересечении. Он при использовании в течение суток исходного сценария обеспечивает "малоопасный" уровень БД (т.е. ПрУТБД) с  $R_{\text{пл}} = 6,2$  ед. и  $4,1$  ед., а  $T_{\text{ц}}(\text{ср}) = 82$  с, поэтому рекомендуется к внедрению на практике.

### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ ОБОСНОВАНИЯ УРОВНЕЙ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ РП**

#### **3.1 Методика формирования требований к безопасности движения на РП и массив исходных данных для их обоснования**

Разрешение проблемы разработки методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей (УДС) мегаполисов и населенных пунктов Российской Федерации является актуально и обладает научной новизной при выполнении нижеследующих концептуальных решений [151, 164]:

- использования традиционных и инновационных методов управления движением чувствительных к конфликтным точкам (КТ) в схемах организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) на регулируемых пересечениях (РП);

- оснащения действующих системах автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД) на Х- и Т-образных РП любой конфигурации подсистемами контроля и оценки (ПКО) интенсивности движения транспорта с онлайн-оценками их пороговых значений, например, левоповоротных, прямых и др.;

- применения инновационных технологий с инфраструктурной самоорганизацией СОД с КЗ на РП, позволяющих трансформацию видов транспортных светофоров из типа Т.1 в тип Т.1пл и наоборот (или изменение стрелочных указателей в зеленых секциях светофоров Т.1, при установке их над каждой полосой движения транспортных средств) по командам ПКО с целью обеспечения БД в пределах уровней соответствующих нормативно действующих границ, вплоть до теоретической концепции "нулевой смертности" на регулируемых пересечениях УДС, рекомендованной в диссертационной работе.

Следовательно, в приложении к изложенным концептуальным решениям, методология обеспечения БД должна строиться на объединении условий,

включающих преемственность технологий, применяемых в практике сегодня, и инновациях, эффективных для моделей СОД с КЗ на одноуровневых РП. При этом должны учитываться особенности используемых методов светофорного управления (регулирования), геометрические характеристики перекрестков по многообразию числа полос движения, наличия пешеходных переходов, состав и распределение на них маневрирующих в конфликтных точках (ситуациях) транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками.

Созданию постановочной части такой методологии с возможностями анализа оценок уровней БД на одноуровневых регулируемых пересечениях УДС Российской Федерации при существующих ограничениях факторного пространства и посвящены исследования настоящего раздела диссертации.

Необходимый массив входных параметров с ограничениями и этапы работ с массивом для разрабатываемой методологии обеспечения безопасности движения на РП мегаполисов с проведением оценки уровня БД представлены ниже.

#### *Массив исходных данных с ограничениями*

1. X- и T-образные виды РП с их моделями СОД с КЗ.
2. Число полос движения в пересекающихся дорогах.
3. Виды конфликтных точек (КТ) в моделях СОД с КЗ на ОРП: п – пересечения, с – слияния, о – отклонения, наезды сзади.
4. Число КТ в каждом их виде: –  $n$ ,  $c$ ,  $o$ .
5. Интенсивность движения транспортно-пешеходных потоков (ед./ч).
6. Пороговая интенсивность пешеходных потоков –  $N_{п} \leq 900$  чел./ч или – транспортных потоков (ТП), пересекающих ПП  $N_{т} \leq 350$  чел./ч.
7. Максимально допустимая интенсивность движения левоповоротных транспортных средств (ТС) через встречный ТП ( $ТС \leq 120$  авт./ч).
8. Соотношение интенсивностей движения прямых встречных ТП ( $\geq 10$  %).
9. Цикл светофорной сигнализации в пределах ( $25 \text{ с} < T_{ц} \leq 120 \text{ с}$ ).

10. Пропускная способность ОРП ( $z \leq 0,8 - 0,9$ ).
11. Интервал "терпеливого ожидания" для водителей ТС ( $\leq 120$  с).
12. Интервал "терпеливого ожидания" для пешеходов ( $\leq 40$  с).
13. Оценка повышенного уровня требований к безопасности движения (ПУТБД) –  $0 - \leq 3$  ед.
14. Оценка промежуточного уровня требований к безопасности движения (ПрУТБД) –  $> 3 - \leq 8$  ед.
15. Оценка допустимого уровня требований к безопасности движения (ДУТБД) –  $> 8 - \leq 12$  ед.
16. Оценка недопустимого уровня требований к безопасности движения (НУТБД) –  $> 12$  ед.

#### *Последовательность работ с массивом исходных данных*

Расчет оценки БД в моделях СОД с КЗ на РП;

1. Сравнительный анализ с рекомендуемым уровнем требований к безопасности движения (УТБД), как критерием качества разработки моделей СОД с КЗ по предлагаемой к модернизации нормативно действующей базы БД [122, 170] (таблица 2.6), ед.: – "неопасное" (предлагается ПУТБД) –  $0 - 3$ ; "малоопасное" (предлагается ПрУТБД) –  $> 3 - 8$ ; "опасное" (предлагается ДУТБД) –  $> 8 - 12$ ; "очень опасное" (предлагается НУТБД) –  $> 12$ .

2. Расчет светофорного цикла  $T_{ц}$  и пропускной способности  $z$  в СОД с КЗ на РП;

Физический смысл методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов заключается в разработке моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП на альтернативной основе минимум в 2-х вариантах с обеспечением возможности выбора заданного заказчиком УТБД. Например, по аналогии разработки алгоритмов календарной автоматики в САУ БДД на РП таблицы 2.18 с решением задач из разработанного далее классификационного множества (см. таблицу 3.3 и рисунок 3.1).

### 3.2 Методы обоснования уровня требований к безопасности движения (УТБД) на регулируемых пересечениях в САУ БДД

В современной России состояние и плановые обязательства по повышению безопасности дорожного движения мало в чем изменились за последние десятилетия. Это можно проследить по двум семилетним Федеральным целевым программам (ФЦП) «Повышения безопасности дорожного движения»: прошедшей в 2006–2012 годах» и новой [188], принятой на 2013 – 2020 гг.

По первой ФЦП:

- планировалось в 2012 году уменьшить в 1,5 раза число погибших от ДТП на дорогах РФ относительно 2004 года, когда погибло 34 506 человек с ежедневными потерями 95 чел. Требовалось уменьшить потери граждан до 23 004 чел., в год, а в день до 63 чел.;

- статистика погибших в РФ от ДТП на дорогах в 2012 году дала 27 991 человек, что значительно больше относительно планируемых 23 004 чел., т. е. ежедневно Россия теряла 77 чел. вместо 63 чел.

Цель и задачи второй ФЦП на 2013–2020 гг. по выходу из кризиса аварийности более скромные. Задача добиться сокращения смертности от дорожно-транспортных происшествий к 2020 году на 8 тыс. человек (28,82 %) по сравнению с 2012 годом [188].

Экономический эффект при выполнении ФЦП от снижения ДТП со смертельным исходом на 28,82 % только от аварийности на одноуровневых регулируемых пересечениях (РП), как было рассчитано в разделе 1.5 и проиллюстрировано на рисунке 1.16, может составить для Санкт-Петербурга примерно 260,4 млн руб., а для РФ – около 28.1 млрд руб.

Снижение числа ДТП со смертельным исходом на особо опасных участках улично-дорожных сетей – регулируемых пересечениях РФ – достигается разработкой и внедрением инновационных научно-практических мероприятий. Последние относятся к решению задач разработки моделей схем организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) на альтернативной основе с

возможностями контроля и управления уровнем требований к безопасности движения (УТБД). Решение указанной задачи обеспечивается:

1. Преобразованием рекомендательной нормативной базы [122,170] (Раздел 6 – Оценка безопасности движения на отдельных участках дорог), касающихся части диапазонов оценок  $K_a$ , характеризующих степень обеспечения безопасности движения на пересечениях в одном уровне из вида компилированной таблицы 3.1 с видом А) в новый вид таблицы 3.1 с видом Б). Нормативную базу следует изменять потому, что существующая база критериев по таблице 3.1 А) имеет ошибки и неоднозначна в терминологии:

Таблица 3.1 – Действующие и разработанные нормативы оценки БД на РП

А) Действующие опасности пересечения для $K_a$ , ед.	меньше 3 неопасное	3,1–8 малоопасное	8,1 –12 опасное	больше 12 очень опасное
Б) Разработанные уровни БД (конфликтной загрузки) для $K_a$ , $R_{Шел}$ , $R_{Пл}$ , $R_{Плmax}$	0–≤3 повышенный (ПУТБД)	>3–≤8 промежуточный (ПрУТБД)	>8–≤12 допустимый (ДУТБД)	>12 недопустимый (НУТБД)

- Во-первых: – в оригиналах [122, 170] имеются типовые ошибки на стыках границ, которые обозначают численные оценки опасности пересечений для  $K_a$  в переходах между интервалами "неопасное" – "малоопасное" – "опасное". А именно: –цифровые значения 3,1 и 8,1 в нормативах ошибочны, вместо них должны быть цифры 3 и 8. Из-за этой неточности теряется диапазон с интервалом численных значений в 0,1 ед. для  $K_a$  в указанных граничных переходах таблицы 3.1 А);

- Во-вторых: – следует предположить, что нормативная таблица 3.1 А) не нашла применения в практике у специалистов по «Организации и безопасности движения» и у разработчиков транспортной инженерии при решении задач оценки БД на РП из-за терминологической неоднозначности в названиях диапазонов БД. Поэтому действующие в табл. 3.1 А) соответствующие нормативные уровни опасностей пересечений для  $K_a$ , компилированные из [122, 170] необходимо переименовать и расширить по образцу таблицы 3.1 Б) с соответствующими

щими универсальными терминологическими оценками уровней БД в понятийном аппарате для оценок  $K_a$ ,  $R_{Шел}$  и  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$ : – "повышенный", "промежуточный", "допустимый" и "недопустимый" уровни требований к безопасности движения (УТБД), т.е. соответственно ПУТБД, ПрУТБД ДУТБД и НУТБД [157, 160, 164]. Интервал для НУТБД – "очень опасного пересечения" оценки конфликтной загрузки в моделях СОД с КЗ на РП следует применять только в исследованиях, т. к. регулируемые и нерегулируемые пересечения с таким УТБД к эксплуатации не допускаются.

2. Оптимальной постановкой многовариантных задач управления УТБД транспортно-пешеходных потоков на РП, функционирующих в САУ БДД. На базе разработки классификации моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП по методам управления и уровням требований к БД, которая способна обеспечить необходимый уровень безопасности движения на регулируемых пересечениях УДС мегаполисов в соответствии с Федеральным законом № 196-ФЗ (статья 2) от 10.12.1995 года.

### **3.3 Классификационные исследования СОД с конфликтной загрузкой (КЗ) для решения частных задач по методам управления и уровням требований к обеспечению безопасности движения на РП**

В общем виде сформулировать постановку и пути решения задач вариативного управления уровнями требований к безопасности движения (УТБД) разными методами управления на альтернативной основе для транспортно-пешеходных потоков регулируемых пересечениях (РП) в одном уровне возможно с использованием предложенной с изменениями нормативно базы [122, 170] критериев по таблице 3.1 Б).

Научно-практическая новизна и актуальность в решении таких задач управления УТБД на Х- и Т-образных РП возникла в связи с необходимостью разработки для них классификации, которая использует инновационные комбинированные методы управления [1, 3, 13–16, 47, 53 – 60, 80] основанные на мо-

делях СОД с конфликтными нагрузками (КЗ). Принцип комбинированного метода управления УТБД в моделях СОД с КЗ на РП послужил стимулом для разработки методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов.

Комбинированный метод управления движением **III** строится на преемственности пораздельного и одновременного использования известных методов пофазного управления движением **I** и управления движением по отдельным направлениям **II**. При этом, базируясь на традиционных методах, комбинированный метод управления обладает элементами самоорганизации и адаптации структурных моделей схем организации движения (СОД). Он способен чувствовать изменения конфликтной нагрузки от численности и вида конфликтных точек (КТ) на Х- и Т-образных РП в течение одного цикла светофорного регулирования.

Классификационные варианты возможных задач разработки моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП по методам управления и уровням требований к безопасности движения: недопустимому (НУТБД), допустимому (ДУТБД), промежуточному (ПрУТБД), повышенному (ПУТБД) синтезированы на базе основ и правил комбинаторной математики.

Разработка комбинаторных моделей СОД с КЗ для классификационных задач учитывает факторные ограничения на массив исходных параметров: – интенсивность левоповоротных транспортных средств  $T_C \leq 120$  авт./ч, – соотношения интенсивностей прямых встречных транспортных потоков  $T_P \geq 10$  %, – временной диапазон цикла светофорной сигнализации  $120c < T_{\text{ц}} > 25$  с, – выполнение условий целесообразной пропускной способности  $z \leq 0,8-0,9$ , – временные интервалы "терпеливых ожиданий" для водителей ( $\leq 120$  с) и пешеходов ( $\leq 40$  с), – максимум интенсивности ПП ( $N_{\text{п}} \leq 900$  чел/ч или  $N_{\text{т}} \leq 350$  авт/ч), – оценки ПУТБД (ед.) –  $0-\leq 3$ , – оценки ПрУТБД (ед.) –  $> 3-\leq 8$ , – оценки ДУТБД (ед.) –  $> 8-\leq 12$ , – оценки НУТБД (ед.) –  $> 12$ , – минимум материальных затрат для оборудования РП.

Набор уровней требований к безопасности движения (УТБД) на РП из таблицы 3.1 Б): "повышенный" (ПУТБД), "промежуточный" (ПрУТБД), "допустимый" (ДУТБД) и "недопустимый" (НУТБД) – позволяет в общем виде синтезировать для каждого из известных традиционных методов управления – часто используемого – **I** (пофазного управления движением) и редко применяемого – **II** (управления движением по отдельным направлениям) – по четыре исходных варианта решений задач с постановкой и разработкой моделей СОД с КЗ. Восемь исходных вариантов моделей СОД с КЗ, полученных для известных методов управления с заданными численными значениями по УТБД являются базовым множеством в разработке задач **III** метода комбинированного управления.

На основе раздела математики – комбинаторика [113, 195] по формуле сочетаний (3.1) синтезирована полная группа множества вариативных задач разработки моделей СОД с КЗ по **III** методу комбинированного управления движением на регулируемых пересечениях с разными УТБД в пределах действующей нормативной базы таблицы 3.1 Б):

$$C_n^m = \frac{A_n^m}{m!} = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad (3.1)$$

где  $n = 8$  вариантов решаемых задач для моделей СОД с КЗ из **I** и **II** методов управления движением на РП в комбинациях объединенных сочетаний  $m = 2$ .

Комбинаторная математика позволяет в общем виде синтезировать полную классификационную группу из 28 методов комбинированного управления для любого пересечения с соответствующими ему 28 вариантами постановки и вариантов решения задач в моделях СОД с КЗ при заданных УТБД и соответствующей светофорной сигнализацией на РП.

Варианты постановки и решения комбинаторных классификационных задач для моделей СОД с КЗ, созданных для трех методов (**I**, **II** и **III**) управления УТБД на Х- и Т-образных РП в полной группе 36) видов даны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Полный перечень вариантов постановки и решения задач управления УТБД методами **I**, **II** и **III** в моделях СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП

Известные <b>I</b> и <b>II</b> - Мет. ед.	<b>I Метод</b> (пофазное управление движением)				<b>II Метод</b> (управление движением по отдельным направлениям)			
	> 12 НУТБД	> 8–≤ 12 ДУТБД	> 3–≤ 8 ПрУТБД	0–≤ 3 ПУТБД	> 12 НУТБД	> 8–≤ 12 ДУТБД	> 3–≤ 8 ПрУТБД	0–≤ 3 ПУТБД
	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
9)	*U	-----*						
10)	*U	-----	-----*					
11)	*U	-----	-----	-----*				
12)	*U	-----	-----	-----	-----*			
13)	*U	-----	-----	-----	-----	-----*		
14)	*U	-----	-----	-----	-----	-----	-----*	
15)	*U	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----*
16)		*U	-----*					
17)		*U	-----	-----*				
18)		*U	-----	-----	-----*			
19)		*U	-----	-----	-----	-----*		
20)		*U	-----	-----	-----	-----	-----*	
21)		*U	-----	-----	-----	-----	-----	-----*
22)			*U	-----*				
23)			*U	-----	-----*			
24)			*U	-----	-----	-----*		
25)			*U	-----	-----	-----	-----*	
26)			*U	-----	-----	-----	-----	-----*
27)				*U	-----*			
28)				*U	-----	-----*		
29)				*U	-----	-----	-----*	
30)				*U	-----	-----	-----	-----*
31)					*U	-----*		
32)					*U	-----	-----*	
33)					*U	-----	-----	-----*
34)						*U	-----*	
35)						*U	-----	-----*
36)							*U	-----*

Принятые условные обозначения в таблице 3.2: – НУТБД, ДУТБД, ПрУТБД и ПУТБД – имеют соответственно – "недопустимый", "допустимый", "промежуточный" и "повышенный" уровни требований к безопасности движения; "1) – 36)" – нумерация множества задач по постановке и решению их в вариантах моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП; символы \* – в каждой строке указывают на границы для объединения множеств математическим знаком U (сумм) соответствующих сочетаний по два с соответствующими методами управлений, используемых в одном цикле светофорной сигнализации на РП.

Последовательность постановки и решения комбинаторных задач по управлению методами **I**, **II** и **III** в моделях СОД с КЗ уровнями требований к безопасности движения (УТБД) по перечню 36)-ти видов задач при поддержании соответствующих нормативных требований обеспечения диапазонов безопасности движения на понятийном уровне (т. е. концептуальном уровне) согласно таблицы 3.2 такова:

**I – Метод** – возможна разработка моделей схем организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) при пофазном управлении движением для альтернативного выбора в четырех вариантах следующих задач 1), 2), 3) и 4):

– вариант 1) с недопустимым уровнем требований к безопасности движения (НУТБД)  $>12$  ед., разрешены всевозможные конфликтные (маневры, разрешенные ПДД РФ [165]) точки пересечения ("просачивания"), отклонения и слияния;

– вариант 2) с допустимым уровнем требований к безопасности движения (ДУТБД)  $>8 - \leq 12$  ед., разрешены многие конфликтные (маневры) точки пересечения ("просачивания"), отклонения и слияния;

– вариант 3) с промежуточным уровнем требований к безопасности движения (ПрУТБД)  $>3 - \leq 8$  ед., когда частично не допускаются конфликтные точки с "просачиванием", между транспортными средствами (ТС), или ТС с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС;

– вариант 4) с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД)  $0 - \leq 3$  ед., когда не допускаются конфликтные точки с "просачиванием", как между транспортными средствами (ТС), так и ТС с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС.

**II – Метод** – возможна разработка моделей СОД с КЗ при управлении движением по отдельным направлениям для альтернативного выбора при 4-х вариантах задач 5) – 8):

– вариант 5) с недопустимым уровнем требований к безопасности движения (НУТБД)  $>12$  ед., разрешены многие конфликтные (маневры) точки пересечения (т. е. "просачивания"), отклонения и слияния;

– вариант 6) с допустимым уровнем требований к безопасности движения (ДУТБД)  $> 8 \leq 12$  ед., разрешающим конфликтные (маневры) точки пересечения ("просачивания"), отклонения и слияния;

– вариант 7) с промежуточным уровнем требований к безопасности движения (ПрУТБД)  $>3 \leq 8$  ед., когда частично не допускаются конфликтные точки с "просачиванием", между транспортными средствами (ТС), или ТС с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС;

– вариант 8) с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД)  $0 \leq 3$  ед., когда не допускаются конфликтные точки с "просачиванием", как между транспортными средствами (ТС), так и ТС с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС.

**III – Метод** (комбинированный) – возможна разработка моделей СОД с КЗ при комбинированном управлении движением для альтернативного выбора вариантов – из объединения множеств  $\cup$  (суммы) [195] двух вариантов, как внутри одноименных множеств вариантов **I**-го и **II**-го методов, так и суммы  $\cup$  двух вариантов из разноименных множеств **I** и **II** методов управления на перекрестке в одном цикле управления светофорной сигнализацией при нижеследующих вариантах задач 9) – 36):

– вариант 9) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 1)  $\cup$  2) вариантов из **I** метода НУТБД с ДУТБД;

– вариант 10) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 1)  $\cup$  3) вариантов из **I** метода НУТБД с ПрУТБД;

– вариант 11) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 1)  $\cup$  4) вариантов из **I** метода НУТБД с ПУТБД;

– вариант 12) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 1)  $\cup$  5) вариантов из **I** и **II** методов НУТБД с НУТБД;

- вариант 13) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 1)  $\cup$  6) вариантов из **I** и **II** методов НУТБД с ДУТБД;
- вариант 14) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 1)  $\cup$  7) вариантов из **I** и **II** методов НУТБД с ПрУТБД;
- вариант 15) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 1)  $\cup$  8) вариантов из **I** и **II** методов НУТБД с ПУТБД;
- вариант 16) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 2)  $\cup$  3) вариантов из **I** метода ДУТБД с ПрУТБД;
- вариант 17) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 2)  $\cup$  4) вариантов из **I** метода ДУТБД с ПУТБД;
- вариант 18) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 2)  $\cup$  5) вариантов из **I** и **II** методов ДУТБД с НУТБД;
- вариант 19) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 2)  $\cup$  6) вариантов из **I** и **II** методов ДУТБД с ДУТБД;
- вариант 20) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 2)  $\cup$  7) вариантов из **I** и **II** методов ДУТБД с ПрУТБД;
- вариант 21) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 2)  $\cup$  8) вариантов из **I** и **II** методов ДУТБД с ПУТБД;
- 22) с промежуточным уровнем требований к БД ( $>3 - \leq 8$  ед.) в комбинации объединения 3)  $\cup$  4) вариантов из **I** метода ПрУТБД с ПУТБД;
- 23) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 3)  $\cup$  5) вариантов из **I** и **II** методов ПрУТБД с НУТБД;
- вариант 24) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 3)  $\cup$  6) вариантов из **I** и **II** методов ПрУТБД с ДУТБД;
- вариант 25) с промежуточным уровнем требований к БД ( $>3 - \leq 8$  ед.) в комбинации объединения 3)  $\cup$  7) вариантов из **I** и **II** методов ПрУТБД с ПрУТБД;

– вариант 26) с промежуточным уровнем требований к БД ( $>3 - \leq 8$  ед.) в комбинации объединения 3)  $\cup$  8) вариантов из **I** и **II** методов ПрУТБД с ПУТБД;

– вариант 27) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 4)  $\cup$  5) вариантов из **I** и **II** методов ПУТБД с НУТБД;

– вариант 28) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 4)  $\cup$  6) вариантов из **I** и **II** методов ПУТБД с ДУТБД;

– вариант 29) с промежуточным уровнем требований к БД ( $>3 - \leq 8$  ед.) в комбинации объединения 4)  $\cup$  7) вариантов из **I** и **II** методов ПУТБД с ПрУТБД;

– вариант 30) с повышенным уровнем требований к БД ( $0 - \leq 3$  ед.) в комбинации объединения 4)  $\cup$  8) вариантов из **I** и **II** методов ПУТБД с ПУТБД;

– вариант 31) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 5)  $\cup$  6) вариантов из **II** метода НУТБД с ДУТБД;

– вариант 32) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 5)  $\cup$  7) вариантов из **II** метода НУТБД с ПрУТБД;

– вариант 33) с недопустимым уровнем требований к БД ( $>12$  ед.) в комбинации объединения 5)  $\cup$  8) вариантов из **II** метода НУТБД с ПУТБД;

– вариант 34) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 6)  $\cup$  7) вариантов из **II** метода ДУТБД с ПрУТБД;

– вариант 35) с допустимым уровнем требований к БД ( $>8 - \leq 12$  ед.) в комбинации объединения 6)  $\cup$  8) вариантов из **II** метода ДУТБД с ПУТБД;

– вариант 36) с промежуточным уровнем требований к БД ( $>3 - \leq 8$  ед.) в комбинации объединения 7)  $\cup$  8) вариантов из **II** метода ПрУТБД с ПУТБД.

Упрощенный перечень видов моделей СОД с КЗ – удобный для конкурсных вариантов задач управления УТБД на пересечениях может быть получен также методами комбинаторной математики, но при исключении НУТБД из таблицы 3.2. В этом случае по формуле (3.1) сочетаний, при  $n = 6$  и  $m = 2$  синтезируют упрощенную группу видов постановки и решений комбинаторных за-

дач по управлению УТБД в моделях СОД с КЗ только для **III** метода управления на 15) вариантов.

Для всех трех методов **I**, **II**, **III** управления разъездами транспортно-пешеходных потоков в моделях СОД с КЗ на регулируемых пересечениях синтезируется упрощенный перечень группы постановки и решений комбинаторных задач по управлению УТБД через разработку 21) варианта задач. Упрощенный перечень вариантов постановки и решения задач управления УТБД методами **I**, **II** и **III** управления движением в моделях СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП представлены в таблице 3.3.

Последовательность постановки и решения комбинаторных задач по управлению методами **I**, **II** и **III** в моделях СОД с КЗ на их Х- и Т-образных РП уровнями требований к безопасности движения по упрощенному перечню из 21)-го вида (варианта) задач, представленных в табл. 3.3 такова:

Таблица 3.3 – Упрощенный перечень вариантов постановки и решения задач управления УТБД методами **I**, **II** и **III** в СОД с КЗ на их разнообразных РП

Известные <b>I</b> и <b>II</b> - <b>Мет.</b> ед.	<b>I – Метод</b> (пофазное управление движением)			<b>II – Метод</b> (управление движением по отдельным направлениям)		
	$>8 \div \leq 12$ ДУТБД	$>3 \div \leq 8$ ПрУТБД	$0 \div \leq 3$ ПУТБД	$>8 \div \leq 12$ ДУТБД	$>3 \div \leq 8$ ПрУТБД	$0 \div \leq 3$ ПУТБД
	1)	2)	3)	4)	5)	6)
Комбин. <b>III</b> - <b>Мет.</b>						
7)	*U	-----*				
8)	*U	-----	-----*			
9)	*U	-----	-----	-----*		
10)	*U	-----	-----	-----	-----*	
11)	*U	-----	-----	-----	-----	-----*
12)		*U	-----*			
13)		*U	-----	-----*		
14)		*U	-----	-----	-----*	
15)		*U	-----	-----	-----	-----*
16)			*U	-----*		
17)			*U	-----	-----*	
18)			*U	-----	-----	-----*
19)				*U	-----*	
20)				*U	-----	-----*
21)					*U	-----*

**I – Метод** – разработаны модели СОД с КЗ на альтернативной основе с пофазным управлением движения в вариантах 1) – 3):

– вариант 1) с допустимым уровнем требований к безопасности движения (ДУТБД), разрешающим многие конфликтные (маневры, разрешенные ПДД РФ) точки пересечения ("просачивания"), отклонения и слияния;

– вариант 2) с промежуточным уровнем требований к безопасности движения (ПрУТБД), когда частично не допускаются конфликтные точки с «просачиванием», между транспортными средствами (ТС), или ТС с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС;

– вариант 3) с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД), когда не допускаются конфликтные точки с «просачиванием», как между транспортными средствами (ТС), так и ТС с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС.

**II – Метод** – разработаны модели СОД с КЗ на альтернативной основе с управлением движением по отдельным направлениям в вариантах 4) – 6):

– вариант 4) с допустимым уровнем требований к безопасности движения (ДУТБД), разрешающим конфликтные точки на "просачивания", отклонения и слияния;

– вариант 5) с промежуточным уровнем требований к безопасности движения (ПрУТБД), когда частично не допускаются конфликтные точки на "просачивания" ТС между собой и с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС;

– вариант 6) с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД), когда не допускаются конфликтные точки на "просачивания" ТС, как между собой, так и с пешеходами, а также на отклонения и слияния ТС.

**III – Метод** – разработаны модели СОД с КЗ на альтернативной основе с использованием комбинированного управления движением из объединения множеств  $\cup$  (сумм), т.е. сочетаний двух множеств, как из собственных вариантов **I** и **II** методов, так и сумм их двух вариантов для формирования множеств

методов управления **III** на перекрестке в одном цикле управления для светофорной сигнализации с вариантами 7) – 21):

– вариант 7) в комбинациях вариантов: – 1) ∪ 2) из **I** метода ДУТБД с ПрУТБД;

– вариант 8) в комбинациях вариантов: – 1) ∪ 3) из **I** метода ДУТБД с ПУТБД;

– вариант 9) в комбинациях вариантов: – 1) ∪ 4) из **I** и **II** методов с ДУТБД и ДУТБД;

– вариант 10) в комбинациях вариантов: – 1) ∪ 5) из **I** и **II** методов с ДУТБД и ПрУТБД;

– вариант 11) в комбинациях вариантов: – 1) ∪ 6) из **I** и **II** методов с ДУТБД и ПУТБД;

– вариант 12) в комбинациях вариантов: – 2) ∪ 3) из **I** метода с ПрУТБД и ПУТБД;

– вариант 13) в комбинациях вариантов: – 2) ∪ 4) из **I** и **II** методов с ПрУТБД и ДУТБД;

– вариант 14) в комбинациях вариантов: – 2) ∪ 5) из **I** и **II** методов – оба с ПрУТБД;

– вариант 15) в комбинациях вариантов: – 2) ∪ 6) из **I** и **II** методов с ПрУТДБ и ПУТДБ;

– вариант 16) в комбинациях вариантов: – 3) ∪ 4) из **I** и **II** методов с ПУТБД и ДУТБД;

– вариант 17) в комбинациях вариантов: – 3) ∪ 5) из **I** и **II** методов с ПУТБД и ПрУТБД;

– вариант 18) в комбинациях вариантов: – 3) ∪ 6) из **I** и **II** методов – оба с ПУТБД;

– вариант вариант 19) в комбинациях вариантов: – 4) ∪ 5) из **II** метода с ДУТБД и ПрУТБД;

– вариант 20) в комбинациях вариантов: – 4) ∪ 6) из II метода с ДУТБД и ПУТБД;

– вариант 21) в комбинациях вариантов: – 5) ∪ 6) из II метода с ПрУТБД и ПУТБД.

В каждом комбинаторном варианте – от первого 1) до двадцать первого 21), для перечисленных в таблице 3.3 с методами управления I, II, III – рекомендуются нижеследующие приемы повышения безопасности движения в моделях СОД с КЗ:

- устанавливать соответствующие дорожные знаки или наносить разметку, запрещающих или предписывающих ДЗ на выполнение определенных маневров (например, левых с переносом их на следующее пересечение);
- осуществлять прерывания (отсечки) движений для неуравновешенных прямых встречных транспортных потоков с введением квазифаз [137, 157, 164];
- вводить отдельную пешеходную фазу для пешеходных потоков, в которой запрещаются "просачивания" (пересечения) транспорта в конфликтных точках «транспорт-пешеход» для моделей СОД с КЗ;
- вводить инновационные приемы [134, 135, 138] самоорганизации и адаптации структурных моделей СОД с КЗ для устранения или уменьшения в них числа конфликтных точек в ситуациях пиковых интенсивностей транспортно-пешеходных потоков.

Введение выделенной пешеходной фазы следует рассматривать, как прием, имитирующий квазистроительство подземных или надземных пешеходных переходов на регулируемом пересечении (РП), дающем некоторое снижение (на 10–20 %) пропускной способности на РП при существенной экономии материальных затрат на повышение уровня БД (на 30–40 %).

В действующей практике Российской Федерации до настоящего времени еще не ставились и не решались задачи разработки моделей СОД с КЗ при III комбинированном методе управления УТБД на РП.

Поскольку комбинированное управление движением на РП является инновационным [84, 164], то для сегодняшней России теоретические исследования и практические решения задач с указанными в таблице 3.3 вариантами очень актуальны и востребованы практикой.

#### **3.4 Разработка классификации моделей СОД с КЗ на различных РП по методам управления и уровням требований к безопасности движения**

Блок-схемы функциональных элементов подсистем контроля и оценки интенсивности движения транспорта (ПКО), представленные на рисунках 1.7 – 1.12, предназначенные для встраивания в модель САУ БДД (систем автоматического управления безопасностью дорожного движения) способны реализовать разработанные задачи в комбинациях вариантов моделей СОД с КЗ таблицы 3.3, как традиционными, так и комбинированными методами управления уровнями требований к дорожной безопасности (УТБД). При этом они обладают научной новизной [134, 135, 137, 138] и могут быть отнесены к системам, обладающим высокой практической значимостью.

На основании решаемых в таблице 3.3 задач управления УТБД в приложении к правоприменительной практике проведения конкурсных процедур на проектирование светофорных объектов РФ в диссертационной работе разработана и представлена на рисунке 3.1 в компактно-визуальном виде классификация моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП по методам управления и нормативным уровням требований к безопасности движения при решении вариативных задач 1) – 21) с разными видами маневрирования транспортных средств. Она базируется на методах управления I, II, III и IV и уровнях требований к безопасности движения в моделях СОД с КЗ в пределах действующих нормативных границ безопасности дорожного движения на Х- и Т-образных регулируемых пересечениях (РП) [122, 170].

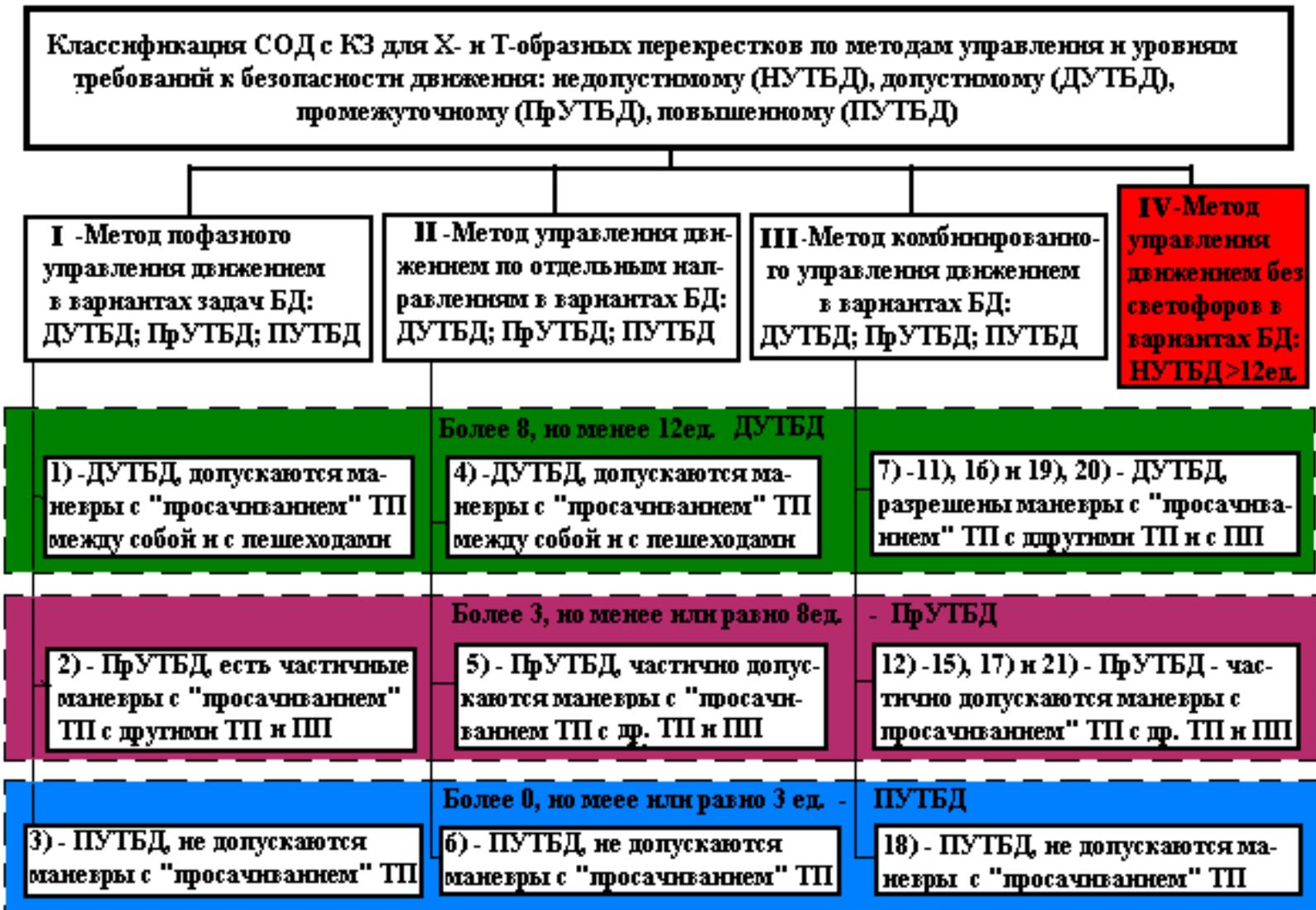


Рисунок 3.1 – Классификация моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП по методам управления и нормативным уровням требований к безопасности движения при решении вариативных задач 1) – 21) с разными видами маневрирования транспортных средств

В классификации распределены и ранжированы все варианты задач 1) – 21) полной группы, решаемые в моделях СОД с КЗ по методам управления **I**, **II**, **III** и **IV** на РП для действующих нормативно-правовых границ и ограничений факторного пространства на массив исходных параметров согласно раздела 3.1.

Практическое использование классификации рекомендуется для руководства на всех административных уровнях в субъектах РФ, которые обременены функциями проведения конкурсных процедур выбора подрядчика на проектирование или модернизацию одноуровневых регулируемых пересечений.

Целесообразность внедрения классификации в том, что она позволит:

1. Вносить в паспорта РП численное расчетное значение оценки УТБД, как основного параметра обеспечения безопасности дорожного движения на РП при сдаче его в эксплуатацию и постановки на гарантийное обслуживание.

2. Вменить альтернативность (в двух вариантах) проектирования моделей СОД с КЗ при заданных оценках УТБД на основе разработанных в таблице 3.3 методов **I**, **II**, **III** управления движением. Это не противоречит правилам проведения тендерных аукционов в выборе одного наиболее эффективного проекта по безопасности движения и пропускной способности (ПС) на РП.

3. Проводить поэтапное при необходимости гибкое "ужесточение" требований к УТБД для моделей СОД с КЗ на X- и T- образных РП, например, как рекомендовано в таблице 2.6 Б). Поднимать планку уровня БД рекомендуется в разрабатываемых моделях СОД с КЗ для РП не ниже "промежуточных" – (ПрУТБД) или "повышенных" уровней (ПУТБД). При этом ПУТБД предлагается отнести к целевой концепции "нулевой смертности" на одноуровневых пересечениях. Уровень "ужесточения" должен быть пропорционален статистическому росту аварийности на РП в региональном субъекте РФ.

4. Обеспечить существенное, снижение числа ДТП (по ФЦП – 28,82 %) со смертельным исходом на РП при разработке традиционных и комбинированных альтернативных методов управления безопасностью движения на альтернативной основе. Для этого в традиционно действующих методах управления

рекомендуется использовать СОД с оценкой и поддержанием конфликтной загрузки на РП в пределах границ нормативной базы таблицы 3.1Б).

В приложениях П.1 – П.6 к диссертационной работе проведены комплексные исследования эффективности методов **I**, **II**, **III** управления движением по оценкам безопасности движения (БД) и пропускной способности (ПС) разнополосных Х- и Т-образных регулируемых и нерегулируемых пересечений в их моделях СОД с КЗ. Исследования проведены в целях уточнения правомочности и эффективности каждого из оценочных показателей  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  уровней БД через сходимость оценок, как между собой, так и на отражение практической статистики по ДТП на УДС мегаполиса Санкт-Петербург за пятилетие со смертельными исходами и тяжелыми увечьями.

Полученные в каждом из 5-ти приложений функциональные зависимости (гистограммы) оценок БД  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  и цикла светофорного управления ( $T_{ц}$ ) от числа конфликтных точек для разнополосных моделей СОД с КЗ на Х- и Т-образных на регулируемых пересечениях представлены на рисунках П.1.11, П.2.31, П.3.19, П.4.27, П.5.31, П.5.32. В приложении 6 получена обобщенная функциональная зависимость оценки БД  $R_{Плmax}$  – от числа конфликтных точек для разнополосных моделей СОД с КЗ на Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях и представлена на рис. П.6.9. Они, соответственно, характеризуют потенциальные возможности обеспечения БД для транспортно-пешеходных потоков на двухполосных, двухполосно-однополосных Х-образных РП, двухполосных и трехполосных Т-образных РП, трехполосных Х-образных РП и разнополосных Х- и Т-образных нерегулируемых пересечений (НП) светофорами от изменения числа конфликтных точек (КТ) при различных методах управления **I**, **II**, **III** в моделях СОД с КЗ на РП и НП.

При этом на рисунке П.5.32 разработаны комплексные обобщенные функциональные зависимости (гистограмма) оценок безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  и цикла светофорного управления ( $120 \text{ с} \geq T_{ц} > 50 \text{ с}$ ) от числа

КТ в разнообразных по полосности Х- и Т-образных РП при различных методах управления ТПП в их моделях СОД с КЗ.

Правомерность применения, перечисленных выше возможностей в решении классификационных задач исследованы также в разделе 4 эффективность использования разных методов **I, II, III** управления движением на РП в их моделях СОД с КЗ при заданной уровне оценки БД от вариантов "просачивания" транспортных средств через транспортные и пешеходные потоки.

### Выводы к разделу 3

Многokратные научно-практические дискуссии и авторские доклады на целевых международных конференциях [85, 142, 144 - 146, 148, 149, 152, 156, 159, 161, 163,] "Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: Ресурс и возможности" позволяют для третьего раздела сделать выводы:

1. Предложенный эволюционный прием преобразования Рекомендательной нормативной базы из формы вида А) в вид Б) по таблице 3.1, является более конкретным и понятным для проектировщиков, чем набор: "неопасных", "малоопасных", "опасных" и "очень опасных" оценок опасности пересечений.

2. Нормативная база таблица 3.1 Б) и классификация рисунка 3.1 позволяют использовать их для проектировании и модернизации регулируемых пересечений в мегаполисах, городах и населенных пунктах субъектов РФ.

3. Сформированные постановки и варианты решения задач управления уровнями безопасности движения в таблице 3.3 дают возможность оптимизировать конкурсные процедуры по выбору подрядчиков на проектирование и модернизацию регулируемых и нерегулируемых светофорами пересечений (перекрестков) улично-дорожных сетей (УДС) в мегаполисах, городах и населенных пунктах РФ. Дан инструмент для технических заданий – определять необходимые в своем регионе уровни требований к безопасности движения (УТБД).

4. Проектировщикам работ необходимо проводить оценочные расчеты УТБД (регулируемых и нерегулируемых) пересечений на УДС через их конфликтную загрузку в моделях СОД с КЗ при обязательном решении альтернативных задач, используя классификацию рисунка 3.1 с критериями таблицы 3.1 Б).

5. Для мегаполисов и регионов РФ создан инструмент проведения инвентаризационного аудита БД на одноуровневых управляемых и неуправляемых светофорной сигнализацией пересечениях, как до проведения проектных работ, так и после их окончания. Аудит БД следует проводить в моделях СОД с КЗ на

любых пересечениях через диагностическую оценку предельных УТБД по их диагностической оценке конфликтной загрузки  $R_{Гл\max}$ . Это позволит выявлять аварийно-опасные пересечения, не удовлетворяющие рекомендациям требований по УТБД согласно таблицы 3.1Б) и планировать для них первоочередные работы по снижению смертности от ДТП.

6. Уточненный расчет оценок УТБД в моделях СОД с КЗ на РП следует проводить только при необходимости, но с полевыми исследованиями и снятием реальной статистики интенсивностей транспортно-пешеходных потоков, требуемых для расчета конфликтной загрузки через оценку  $R_{Гл}$ .

7. Планку оценки УТБД следует поднимать, в разрабатываемых моделях СОД с КЗ для РП до "промежуточных" – (ПрУТБД) или "повышенных" уровней (ПУТБД) в соответствии с условиями таблицы 3.1 Б). Такие приемы дадут существенное снижение величины конфликтной загрузки в моделях СОД с КЗ. При этом ПУТБД предлагается отнести к целевой концепции "нулевой смертности" на регулируемых и нерегулируемых пересечениях.

8. Разработка новых методов комбинированного управления на РП обеспечивает преемственность к известным методам управления движением в их моделях СОД с КЗ и требуемый уровень БДД на регулируемых пересечениях, так как обладают способностью к самоорганизации и адаптации структурных схем организации движения на РП в зависимости, от изменения интенсивности движения ТПП и от количественного и качественного состава конфликтных точек.

## ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ НА РП ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И УРОВНЯМ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

### 4.1 Разработка комбинированного метода управления движением в различных вариантах разъезда транспортных потоков на РП с "просачиванием" и без "просачивания" на основе метода пофазного управления

Перечень исходных данных для разработки схем организации движения (СОД) для регулируемых пересечения (РП) с конфликтной загрузкой (КЗ) и заданной безопасностью движения (БД) в приложении к III-му методу управления на альтернативной основе в своей основе традиционен. Он базируется на исходных данных необходимых в решении классификационных задач из полной группы таблицы 3.3: – для известных I (пофазного управления движением) и II (управления движением по отдельным направлениям) методов управления движением транспортно-пешеходными потоками (ТПП).

В первую очередь требуются контурный план с геометрией регулируемого пересечения (рисунок 4.1), а также план с размещением технических средств организации дорожного движения и интенсивности движения ТПП (соответственно, рисунки 1.5 и 1.6).

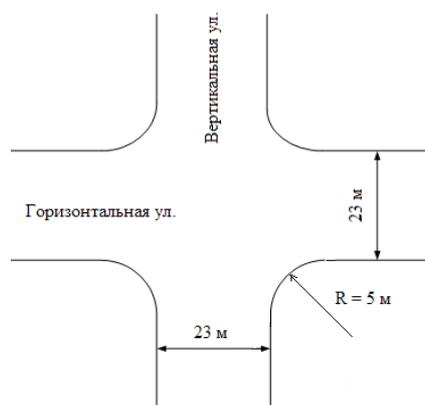


Рисунок 4.1 – Контурный план геометрии регулируемого пересечения

Представленная ширина проезжих частей плана РП позволяет организовать движение на Горизонтальной и Вертикальной улице в восемь рядов. Поэтому на равнозначном 8-полосном пересечении в прямом и обратном направлении выделяют по четыре полосы, где под правые и левые повороты отведены по одной полосе шириной 2,75 м, а для движения прямо две полосы шириной 3 м каждая. Улицы пересекаются под прямым углом, каждая улица канализирована (имеет разметку). Приняты условия: перекресток расположен на горизонтальном участке дороги со средним движением; в потоке есть легковой и маршрутный транспорт; грузовой, автобусы и троллейбусы отсутствуют.

В общем случае дополнительными и важными исходными данными для разработки СОД регулируемого пересечения (перекрестка), расчета длительности цикла регулирования и элементов цикла являются результаты собственных обследований разработчиками его планировочных и транспортных характеристик.

К планировочным характеристикам ОРП относятся:

- ширина проезжих частей (23 м);
- ширина полос движения (3 м – в прямом направлении, 2,75 м – для поворотных направлений, последний допускается – как исключение [87, 172]);
- расположение технических средств регулирования (см. рисунок 1.5);
- число полос движения (четыре – в прямом - и в обратном направлениях);
- радиусы закруглений тротуаров (5 м).

К транспортным характеристикам перекрестка относятся результаты обследования транспортных и пешеходных потоков на заданном регулируемом пересечении, по изложенным ранее методикам (раздела 1.4).

Конечные результаты должны оформляться компьютерной графикой в виде картограмм из таблицы 1.1 обследования (в виде картограммы интенсивности транспортных и пешеходных потоков рисунок 1.6):

- состав транспортных потоков (только легковые);

- распределение транспортных и пешеходных потоков по направлениям и полосам (согласно рисунков 1.5 и 1.6);
- пропускная способность полос движения ( $M_{Hjj\text{прям}} = 1850$  ед./ч согласно таблицы 1.4);
- средняя скорость на подходах к пересечению (перекрестку) (50 км/ч).

Для оценки уровней безопасности движения рассматриваемого одноуровневого регулируемо пересечения следует разработать альтернативные варианты моделей схем организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ). Такая процедура позволит варианты, разработанных моделей СОД с КЗ классифицировать согласно рисунка 3.1 и подсчитать число конфликтных точек, которые являются исходными данными для проведения оценочных расчетов в показателях численных значений конфликтной загрузки  $R_{\text{Гл}}$  и  $R_{\text{Глmax}}$  (безопасности движения – БД) по формулам (2.39) и (2.40). Полученные результаты БД можно сравнивают с заданными заказчиком требованиями нормативной дорожной безопасности (таблица 3.1).

При решении (по тендерным условиям) двухальтернативной задачи разработки моделей СОД с КЗ на РП первоначально следует рассматривать согласно таблицы 3.3 ситуации с допустимым уровнем требований к безопасности движения (ДУТБД), т. е., когда нормативно допустим [88, 122, 157, 170] разъезд транспортных и пешеходных потоков с "просачиванием" в конфликтных точках. Общеизвестно, что основными причинами всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) являются конфликтные точки при ситуациях "просачивания" транспортных средств (ТС) через транспортные- и пешеходные потоки кроме перехода улиц пешеходами и проезда ТС на запрещенные сигналы светофоров, последние здесь не рассматриваются.

При использовании обычного трехсекционного транспортного светофора (типа Т.1) в наиболее распространенном двухтактном регулировании (зеленый – желтый, красный – красный/желтый) трудно обеспечивать необходимую безопасность для пешеходов. При этом автомобилисты ТС, поворачивающие

налево и направо на зеленый сигнал светофора, имеют право делать маневры своих поворотов в режиме "просачивания" через пешеходов, переходящих улицу, но и одновременно должны помнить, что в соответствии с Правилами ДД РФ [165] – должны пропускать пешеходов. При такой организации дорожного движения в действующих моделях СОД с КЗ для пешеходов, переходящих улицу, создаются очень неблагоприятные конфликтно-психологические условия движения.

Для предотвращения таких конфликтов, которые влекут за собой ДТП и гибель людей в дорожном движении, действия его участников рекомендательно регламентированы [84, 85, 87, 111, 132, 142, 143, 170, 190] и рассчитываются по формулам (2.1) – (2.3):

- если интенсивность пешеходного потока не превышает 900 чел./ч, а поворачивающих транспортных потоков (ТП) – не превышает 120 авт./ч, т. е., допускается "просачивание" ТС через пешеходный поток даже на разметке "зебра";
- когда левоповоротный поток, конфликтует со встречным потоком прямого направления, но интенсивность левоповоротного потока не превышает 120 авт./ч, также допускается "просачивание" ТС через встречный ТП.

Следовательно, актуально-действующей проблемой сегодня является разработка методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях (РП) улично-дорожных сетей (УДС) мегаполисов и населенных пунктов РФ. Новизна в решении проблемы обеспечения допустимой безопасности движения на РП УДС лежит в достижении этой цели через разработку специальных альтернативных моделей СОД с КЗ, с использованием которых на РП достигается желаемый результат – проезжать их с заданным уровнем безопасности движения (БД) и оперативно (при целесообразной пропускной способности), не превышая регламент терпеливого ожидания автомобилистов ( $\leq 120$  с) и пешеходов ( $\leq 40$  с) в каждом цикле светофорного регулирования.

Желаемым, предельным вариантом решения такой проблемы является разработка моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД), т. е. с запрещением "просачиваний" ТС на пересечениях между пересекающимися транспортными и пешеходными потоками. Такое решение способно существенно снизить число ДТП при целесообразно-допустимых циклах светофорного регулирования на РП, определяющего его пропускную способность.

Анализ тренажерного комплекса по рисункам 1.5, 1.6 и 4.1 с точки зрения наличия и допустимости конфликтных точек (КТ) для лево- и правоповоротных транспортных потоков позволяет допустить использование по Горизонтальной улице вариации автоматической самоорганизации и адаптации структурной модели СОД с КЗ по критерию минимизации в ней числа КТ. То есть существуют теоретические предпосылки в возможности разрешения такой минимизации числа КТ в моделях СОД с КЗ на РП через управление преобразованием транспортных светофоров Т.1пл (тс3пл и тс4пл) с добавочными секциями в транспортные светофоры (Т.1) без наличия добавочных секций на рисунке 1.5. Такой метод управляемого преобразования инфраструктуры [134, 135, 138, 143] является инновационным и дает возможность функциональной блок-схеме САУ БДД транспортных и пешеходных потоков на РП (рисунок 1.1) формировать модификацию модели СОД с КЗ для разъезда транспортно-пешеходных потоков в рамках пофазного I-го метода управления с допустимым уровнем требований к дорожной безопасности (ДУТДБ). Он позволяет решать задачу 1) (см. таблицу 3.3) на РП для Горизонтальной улицы в виде варианта фазового разъезда в модели СОД с КЗ при допустимых интенсивностях ТП и ПП с конфликтными точками, представленного на рисунке 4.2 вариантом фазового разъезда в модели СОД с КЗ для Горизонтальной улицы при допустимых интенсивностях ТП и ПП с конфликтными точками, когда допустимая интенсивность левоповорачивающих ТС в опасных конфликтных точках на "просачивание"  $N_n \leq 120$  авт./ч.

Из анализа рисунка 4.2 следует, что кроме конфликтных точек между транспортными потоками различных направлений имеют место и конфликты транспортных потоков с пешеходными потоками, что очень нежелательно. При поворотах ТС направо или налево, осуществляемых одновременно или поочередно, транспорт пересекает пешеходные переходы, где в обоих направлениях разрешено движение пешеходам. При этом у водителей ТС существует соблазн просачиваться в моменты появляющихся разрывов в пешеходных потоках.

Устранить "просачивание" на РП можно только в том случае, если создать специальные фазы для пешеходов, не совпадающие с поворотами транспорта и убрать конфликтующие транспортные потоки между собой – путем разделения их во времени. Например, дать прямым направлениям транспорта двигаться параллельными курсами с пешеходами, предоставляя поворотным направлениям свою фазу, тем самым исключаются конфликтные точки ТП между собой и транспорта с пешеходами (т. е. самые опасные точки "просачивания" удаляют). Однако остаются еще конфликтные точки на отклонение право - и левоповоротных ТС от прямых ТП, а также взаимного слияния ТП (их на рисунке 4.2 нет) и столкновения ТС от несоблюдения дистанции в одном направлении движения.

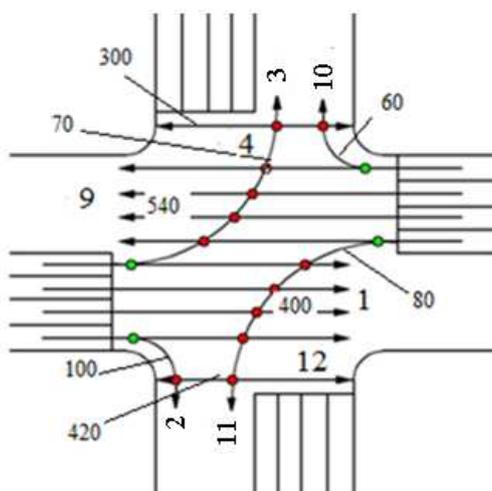


Рисунок 4.2 – Вариант фазового разъезда в модели СОД с КЗ для Горизонтальной улицы при допустимых интенсивностях ТП и ПП с конфликтными точками:

● – на пересечение ("просачивание") и ● – на отклонение

Безопасность точек взаимного слияния регламентируется Правилами ДД РФ, в которых есть требование помеха справа – уступи проезд. Точки взаимного слияния в зоне перекрестка можно ликвидировать разметкой (канализированием) поворотных полос.

Дальнейший анализ тренажерного комплекса по рисункам 1.5, 4.1 и 1.6, с точки зрения наличия и допустимости конфликтных точек для лево- и правоповоротных ТП по Вертикальной улице, дал недопустимость конфликтных маневров с "просачиванием". Поэтому вариант двухфазного разъезда в модели СОД с КЗ при I методе управления (задача 3) – ПУТБД) без конфликтных точек на "просачивание" по Вертикальной улице можно реализовать двухфазным разъездом управления ТПП, представленным на рисунке 4.3.

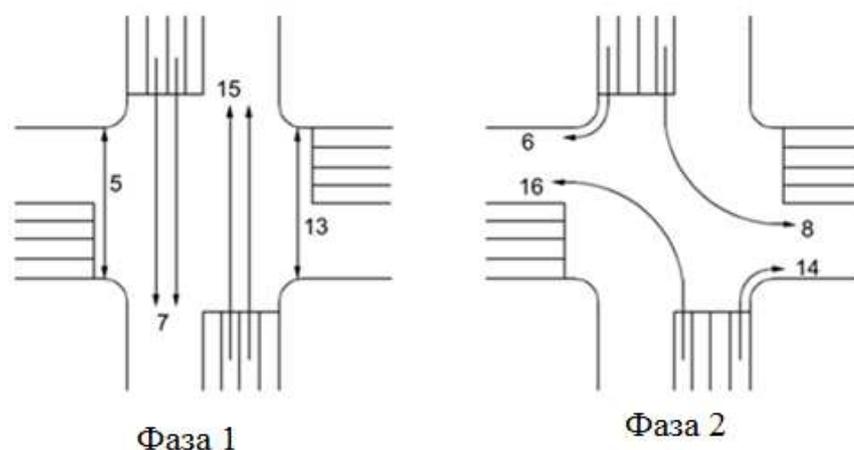


Рисунок 4.3 – Вариант двухфазного разъезда в модели СОД с КЗ при I методе управления без конфликтных точек на "просачивание" по Вертикальной улице

С применением инновационной технологии [134, 135. 138] предоставляется возможность объединять в одном цикле светофорного управления два разных варианта уличных разъездов моделей СОД с КЗ, представленных рисунками 4.2 и 4.3. В результате возникает новый вариант модели СОД с КЗ (см. рисунок 4.4) с комбинированным III-м методом управления [84, 85] движением транспортно-пешеходных потоков, когда решается задача 8) согласно таблицы 3.3.

#### **4.2 Методика оценки транспортной эффективности комбинированного метода управления ТПП на РП с оценкой безопасности движения при "просачивании" транспортных потоков (ТП)**

В РФ сложилась устойчивая традиция, при которой считается (голословно), что на всех одноуровневых регулируемых пересечениях (РП), и практически повсеместно, внедрены модели СОД с КЗ при допустимом уровне БД. А именно: – при разрешенных "просачиваниях" в транспортно-пешеходных потоках (ТПП) и наличии конфликтных маневров транспортных средств с отклонениями и слияниями предполагается, что на РП повсеместно обеспечен допустимый уровень требований к безопасности движения (ДУТБД).

Поскольку действующие нормативы [122, 170] и Правила ДД РФ для таких моделей СОД с КЗ допускают [165] опасные маневры с конфликтными точками между транспортно-пешеходными потоками (ТПП), то уровень безопасности движения (БД) на РП по действующим нормативам и без контроля обеспечен.

В результате таких допущений в России изначально заложена высокая вероятность ДТП на РП со смертельным исходом 22–50 % от статистической годовой аварийности. Предлагаемые автором [13, 142, 143, 145, 147, 152, 154 - 157, 159 - 161, 163, 164] в диссертационной работе модели СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП с промежуточным- и повышенным уровнями требований к безопасности движения (ПрУТБД и ПУТБД) должны способствовать эволюционному, поэтапному переходу в своем пределе к инновационной концепции обеспечения "нулевой смертности" на регулируемых пересечениях [16, 185].

Такая концепция еще на стадии проектирования пересечений для их моделей СОД с КЗ дозирует или не допускает конфликтные точки в транспортно-пешеходных потоках. При этом модификации моделей СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП с ПрУТБД по любому из методов управления (I, II и III из таблицы 3.3) в одном цикле светофорного регулирования являются промежуточным этапом на эволюционном пути достижения концепции "нулевой смертности". Поскольку они относятся к малоконфликтным моделям СОД с КЗ переходного

этапа по уровням нормативных требований (таблицы 3.1), между моделями СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП с ДУТБД и моделями СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП с ПУТБД.

Практическую (для "тендера") постановку задач по разработке Х- или Т-образных РП с их моделями СОД с КЗ рекомендуется ставить на альтернативной основе для двух вариантов, например, разработать согласно таблицы 3.3 задачи 8) и 11).

При решении задачи 8) необходимо решить две разные задачи: – многоконфликтную задачу 1) с ДУТБД и бесконфликтную - 3) с ПУТБД, а затем объединить их в одном цикле светофорного управления.

Для решения задачи 11) необходимо также решить две разные задачи: – многоконфликтную задачу 1) с ДУТБД и бесконфликтную - 6) с ПУТБД, а затем также объединить их в одном цикле светофорного управления.

В такой постановке задачи до настоящего времени в действующей практике России еще не ставились, поэтому и не решались [13, 15, 84, 85, 157, 164].

Поставленная задача 8) разработки модели СОД с КЗ например, для Х-образных РП по **III** методу комбинированного управления решена далее на примере рисунка 4.4 с трехфазным разъездом ТПП в одном цикле светофорного регулирования. Эту задачу в дальнейшем будем называть – задача вариант 8).

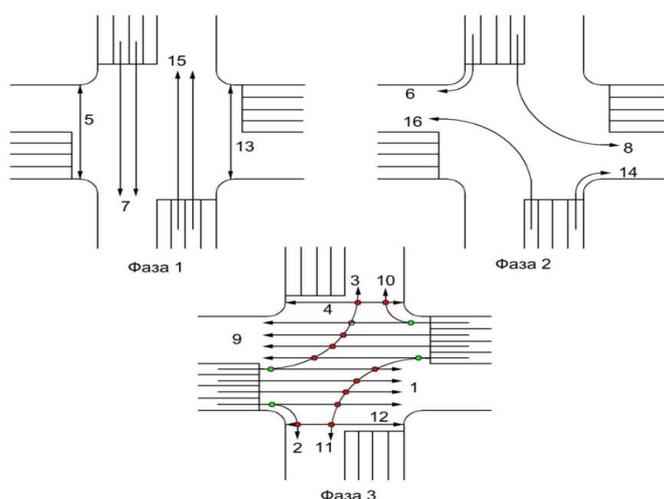


Рисунок 4.4 – Трехфазная модель СОД с КЗ на Х-образном РП при комбинированном **III** методе управления с "просачиванием", где конфликтные точки: ● –

на пересечение ("просачивание") – 12 шт., ● – на ответвление – 4 шт. дают  
уровень БД –  $R_{\text{п}} = 5,7 \text{ед}$ , а  $T_{\text{ц}} = 95 \text{с}$

Выбор варианта задачи 8) был принят не случайно, а после изучения картограммы интенсивности ТПП (рис. 1.6) для Х-образного равнозначного многополосного РП тренажерного комплекса с 8 полосным движением (рисунок 1.5).

План перекрестка с его картограммой ТПП является усложненным вариантом примера одноуровневого регулируемого пересечения со светофорами с пофазным разъездом из учебной литературы [87]. Он способен включать в себя разные варианты по организации дорожного движения, нести максимум учебно-практической нагрузки и наглядности для разработчиков транспортной инженерии.

Из картограммы следует, что интенсивности левоповоротного транспорта 3, 11 (и правоповоротного – 2, 10) имеют допустимые интенсивности (менее 120 авт./ч) движения. При таких значениях интенсивностей транспорта в левоповоротных потоках дают возможность разработки модели СОД с КЗ на РП по рисунку 4.4. В нем только в первых двух фазах решается задача 3) по методу пофазного управления I с ПУТБД без конфликтных точек "просачивания".

В 3-й же фазе цикла управления разъездом решается задача 1) по тому же I-му методу пофазного управления, но с ДУТБД, т. е. с разрешением конфликтных точек на "просачивание" транспорта через встречные ТП и через ПП (см. таблицу 3.3).

Решение задачи по варианту 8) с III методом комбинированного управления по рисунку 4.4 на Х-образном РП требует применения инновационного метода самоорганизации и адаптации модели СОД с КЗ в зависимости от интенсивности левоповоротных ТС. Самоорганизация и адаптация в модели СОД с КЗ происходит на рисунках 4.4 и 1.5 по специальному сценарию.

В первых двух фазах цикла управления светофорной сигнализацией модели СОД с КЗ должны иметь транспортные светофоры  $тс1_{\text{пл}}$  и  $тс2_{\text{пл}}$  (типа

Т.1.пл – ГОСТ Р 52289–2004) с дополнительными секциями, как показано на рисунке 1.5.

В 3-й фазе этого же цикла управления светофоры тс3пл и тс4пл преобразуются в транспортные светофоры тс3 и тс4 без дополнительных секций (в тип Т.1 – ГОСТ Р 52289–2004). При этом синхронно изменяются указания в дорожных знаках движения по полосе 5.15.2, установленных перед РП, а именно: - движение ТС в крайних полосах было раздельное только – "налево" и только – "направо" становится в этих полосах совмещенным – "прямо и налево" и "прямо и направо".

Возможности такой самоорганизации позволяют на тренажерном комплексе перекрестка реализовать комбинированный метод управления **III** по варианту решения задачи 8) в виде трехфазной модели СОД с КЗ при пофазным управлением с "просачиванием", которая представлена на рисунке 4.4. Такая технология является инновационной и запатентована в РФ [134, 135].

Движение на РП в рисунке 1.5 по его модели СОД с КЗ рисунка 4.4 организовано в три фазы следующим образом. В первой фазе (по Вертикальной ул.) движутся только ТП прямого направления 7, 15 и синхронно с ними идут пешеходные потоки 5, 13. Во второй фазе происходит движение всех поворотных ТП 6, 8, 14, 16, выходящих с Вертикальной улицы. В третьей фазе разрешено движение для транспортных 1, 2, 3, 9, 10, 11 и пешеходных потоков 4, 12, следующих по Горизонтальной улице.

На тренажерном комплексе перекрестка (рисунок 1.5) сохранить рекомендуемый (слева направо по часовой стрелке) ранжированный порядок нумерации 16-ти направлений транспортных и пешеходных потоков не удалось. Тренажерный комплекс 8-полосного движения назовем виртуальным потому, что каждая из средних полос прямого движения на нем разделена на две полосы виртуально, т. е., имеет повторяющуюся нумерацию направлений прямого движения 1, 7, 9 и 15. Реальный же тренажерный комплекс, по причине малой затратности, изготовлен с симметричным шестиполосным (три – в прямом и три – в обратном направлении) движением транспорта по каждой улице.

Пофазный разезд транспортных средств является сравнительно простым и традиционно-распространенным методом организации движения на пересечении. При нем в течение одной фазы длительность основных тактов по всем направлениям перекрестка одинакова, что существенно упрощает конструкцию дорожного контроллера и коммутацию светофоров. Поэтому практически пофазный принцип управления реализуется на любых отечественных системных контроллерах в том числе и на УК4.1М. Управление сигнализацией на простых перекрестках имеющих всего до 8-ми направлений движения используются упрощенные локальные дорожные контроллеры типа УК2.6.

Анализ и выбор оптимальных моделей СОД с КЗ по уровням безопасности движения (БД) на альтернативной основе, при заданных интенсивностях потоков движения транспорта и пешеходов согласно рисунка 1.6, для предложенного, усложненного виртуального РП рисунок 1.5 является решением поставленной задачи по варианту 8) методом управления III по таблице 3.3.

Расчет уровней БД по модели СОД с КЗ рисунок 4.4 с III методом комбинированного управления на X-обратном РП с "просачиванием" произведен с использованием формул (2.39) и (2.40) соответственно для оценок  $R_{Гл}$ ,  $R_{Глmax}$ .

Расчет оценки уровня дорожной безопасности по конфликтной загрузке  $R_{Гл}$  использует интенсивности транспортно-пешеходных потоков, образующих конфликтные точки (КТ), а также учитывает число и виды КТ. Расчет оценки БД через  $R_{Гл}$  сделан в программе Excel и представлен в таблице 4.1. Результат  $R_{Гл} = 5,7$  ед. находится в диапазоне пределов  $>3 \leq 8$  ед. и соответствует по таблице 3.1 ПрУТБД. Поэтому согласно таблицы 3.3, первоначально разработанную трехфазную модель СОД с КЗ по рисунку 4.4 для варианта задачи 8) с ДУТБД необходимо перекалвалифицировать. Поскольку оценка БД  $R_{Гл} = 5,7$  ед. – имеет квалификацию для варианта решения задачи 12) с ПрУТБД в том же III методе комбинированного управления на РП.

Максимально возможный уровень оценки БД с результатом  $R_{Глmax} = 6,31$  ед., также требует (согласно таблицы 3.3) перекалфикации варианта задачи 8) в

вариант задачи 12) в границах III-го метода комбинированного управления на РП с ПрУТБД.

Далее необходимо сделать необходимый расчет длительности цикла светофорного регулирования и его элементов, чтобы построить диаграмму светофорной сигнализации для модели СОД с КЗ на X-образном РП рисунка 4.4.

Таблица 4.1 – Расчет оценки БД через  $R_{Пл}$

№ п/п пересеч., слиян., отклонен.	Пересечения		Слияния		Ответвления		Пересечения	Слияния	Ответвления
	$N_{ин}$	$N_{пл}$	$N_{ис}$	$N_{jc}$	$N_{io}$	$N_{jo}$	$\frac{N_{ин}N_{пл}}{(N_{ин} + N_{пл})}$	$\frac{N_{ис}N_{jc}}{(N_{ис} + N_{jc})}$	$\frac{N_{io}N_{jo}}{(N_{io} + N_{jo})}$
1	70	110	0	1	110	60	0,237654	0	0,228374
2	70	170	0	1	90	80	0,206597	0	0,249135
3	70	170	0	1	0	1	0,206597	0	0
4	70	90	0	1	72	70	0,246094	0	0,24995
5	80	70	0	1	100	42	0,248889	0	0,208292
6	80	142	0	1	0	1	0,230501	0	0
7	80	142	0	1	0	1	0,230501	0	0
8	80	42	0	1	0	1	0,225746	0	0
9	70	600	0	1	0	1	0,216942	0	0
10	80	600	0	1	0	1	0,226843	0	0
11	60	600	0	1	0	1	0,204082	0	0
12	100	600	0	1	0	1	0,24	0	0
Уровень ДБ	5,66			наезд сзади	0,75	$\Sigma$	4,62	0,00	0,28
Общий $R_{Пл}$	5,7								

### 4.3 Разработка методики расчета алгоритмов светофорной сигнализации в комбинированном методе на основе метода пофазного управления на РП с "просачиванием" ТП

#### *Расчет потоков насыщения и фазовых коэффициентов*

Поток насыщения – это интенсивность разъезда очереди транспортных средств, ранее остановленных запрещающим сигналом (см. формулу (1.5)) [87, 132, 157]. Поток насыщения можно рассчитать и по эмпирической формуле (1.7), которая связывает этот показатель с шириной проезжей части, используе-

мой для движения транспортных средств в прямых направлениях (7, 15 по рисунку 4.4) по дороге без продольных уклонов.

Для каждого прямого направления (7 и 15) значения потоков насыщения определяют путем умножения значения потока насыщения для каждой полосы движения на количество полос. При ширине полосы движения 3,0 м поток насыщения будет 1850 ед./ч (см. таблицу 1.4). Так как в первой и третьей фазе используется по две полосы для движения в прямом направлении (7, 15 и 9, 1), поток насыщения для каждого направления будет 3700 ед./ч.

Во второй и в третьей фазах осуществляется движение в поворотных направлениях, поэтому поток насыщения для них определяется по формулам (1.8 и 1.9), где радиусы поворота направо  $R = 7$  м, для поворота налево  $R = 20$  м (радиусы поворотов определяют из рисунков 1.5 или 4.1, вычерченных в масштабе).

Значения потоков насыщения для каждого из направлений в соответствующих фазах будут равны:

$$M_{H3(1)} = M_{H3(9)} = 3700 \text{ ед./ч}; \quad M_{H1(7)} = M_{H1(15)} = 3700 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H2(6)} = M_{H2(14)} = 1800 / (1 + 1,525 / 7) = 1478 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H2(8)} = M_{H2(16)} = 1800 / (1 + 1,525 / 20) = 1672 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H3(1-3)} = 3700 \cdot 100 / (70 + 1,75 \cdot 12 + 1,25 \cdot 18) = 3257 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H3(9-11)} = 3700 \cdot 100 / (79 + 1,75 \cdot 11,7 + 1,25 \cdot 8,8) = 3330 \text{ ед./ч},$$

где, индексы направлений в отличие от индексов фаз заключены в скобки.

Фазовые коэффициенты для каждого из направлений движения на перекрестке и конкретной фазы регулирования рассчитывают по формуле (2.3):

$$y_{1(7)} = 850 / 3700 = 0,23; \quad y_{1(15)} = 1130 / 3700 = 0,31;$$

$$y_{2(6)} = 135 / 1478 = 0,09; \quad y_{2(14)} = 330 / 1478 = 0,22;$$

$$y_{2(8)} = 190 / 1672 = 0,11; \quad y_{2(16)} = 400 / 1672 = 0,24;$$

$$y_{3(2)} = 100 / 3257 = 0,03; \quad y_{3(10)} = 60 / 3330 = 0,02;$$

$$y_{3(3)} = 70 / 3257 = 0,02; \quad y_{3(11)} = 80 / 3330 = 0,02;$$

$$y_{3(1)} = 400 / 3257 = 0,12; \quad y_{3(9)} = 540 / 3330 = 0,16,$$

В качестве расчетных (определяющих длительность основного такта) фазовых коэффициентов выбирают наибольшие фазовые коэффициенты в каждой фазе регулирования, т. е.  $y_1 = 0,31$ ,  $y_2 = 0,24$ ,  $y_3 = 0,15$ .

Их сумма будет равна:  $Y = 0,31 + 0,24 + 0,16 = 0,71$ .

Далее определяют длительность промежуточных тактов.

### *Расчет длительности промежуточных тактов*

Промежуточные такты для каждой из фаз рассчитывают по формуле (2.5) при условии: скорости движения прямого направления 50 км/ч, а поворотного 25 км/ч.

С учетом преимущественно легкового движения принимают длину автомобиля  $l_a = 5$  м, а его среднее замедление  $a_r = 4$  м/с.

При определении длины  $l_i$  – ее считают равной дистанции от "стоп – линии" до самой дальней конфликтной точки пересечения с транспортным средством, начинающим движение в следующей фазе. При этом необходимо учитывать, что "стоп – линия" расположена на расстоянии 10 м от пересекаемой проезжей части, а пешеходный переход в 5 м от проезжей части у начала закругления тротуара. Ширина пешеходного перехода в соответствии с нормативными требованиями принята равной 4 м и расстояние от него до стоп – линии 1 м. По плану перекрестка с дальними конфликтными точками (ДКТ) рис. 4.5, определяют местоположение ДКТ пересечения с транспортными средствами, начинающими движение в следующих фазах.

Используя программу AutoCAD находят ДКТ, которые ( $l_i$ ) располагаются на следующих расстояниях от стоп – линии: для первой фазы – 23 м; – для второй фазы – 19 м; – для третьей фазы – 27 м.

По формуле (2.5) определяют длительность промежуточного такта  $t_{п}$  для каждой фазы:

$$t_{п1} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(23 + 5) / 50 = 4 \text{ с}; t_{п2} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(19 + 5) / 25 = 4 \text{ с};$$

$$t_{п3} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(27 + 5) / 50 = 4 \text{ с}.$$

Проверяют, успевают ли пешеходы за период промежуточного такта дойти до середины проезжей части или вернуться на тротуар по формуле (2.6):

$$t_{п1(пш)} = t_{п3(пш)} = 23 / (4 \cdot 1,3) = 4 \text{ с}.$$

Так как  $t_{п1} = t_{п1(пш)}$ , а  $t_{п3} = t_{п3(пш)}$ , то нет необходимости корректировать длительность промежуточных тактов. Следовательно, длительность промежуточного такта для первой, второй и третьей фаз составляет 4 с, а их сумма равна:  $T_{п} = 12 \text{ с}$ .

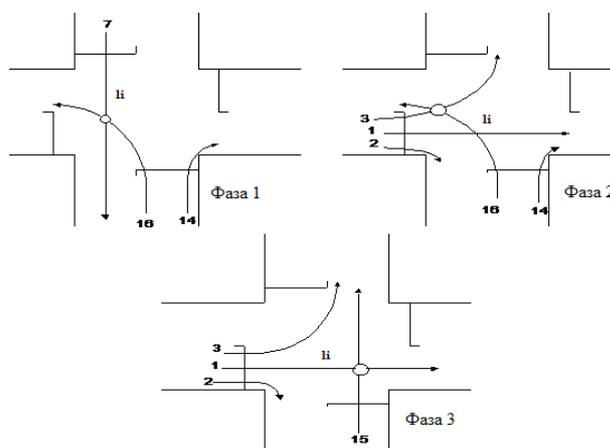


Рисунок 4.5 – План перекрестка с дальними конфликтными точками (ДКТ)

#### *Расчет длительности циклов и основных тактов регулирования*

Для определения длительности цикла воспользуемся общепризнанной в инженерных расчетах формулой Вебстера (2.1), при учете ранее полученных  $T_{п} = 12 \text{ с}$  и  $Y = 0,71$  –  $T_{ц} = (1,5 \cdot 12 + 5) / (1 - 0,71) = 79 \text{ с}$ .

Длительность основных тактов для каждой фазы регулирования определим по формуле (2.2):

$$t_{o1} = (79 - 12)0,31 / 0,71 = 29 \text{ с}; t_{o2} = (79 - 12)0,24 / 0,71 = 23 \text{ с}; t_{o3} = (79 - 12)0,16 / 0,71 = 15 \text{ с}.$$

$$\text{Структура цикла регулирования: } T_{ц} = 79 \text{ с} = 29 + 4 + 23 + 4 + 15 + 4.$$

В первой и в третьей фазе пешеходы переходят проезжую часть шириной 23 м. Время необходимое для их движения определяем по формуле (2.7):

$$t_{\text{мин1}} = t_{\text{мин3}} = 5 + 23 / 1,3 = 23 \text{ с.}$$

В третьей фазе пешеходы не успевают пересечь проезжую часть, поэтому цикл необходимо скорректировать. Определяют новую, скорректированную длительность цикла по формуле (2.10), но для этого сначала определяют значения  $A, B, C$ .

$$A = 1 - (0,31 + 0,24) = 0,45; \quad B = 2,5 \cdot 12 - 12 \cdot 0,55 + 23 + 5 = 51,4; \quad C = (12 + 23)(1,5 \cdot 12 + 5) = 805$$

Тогда новая, скорректированная длительность цикла будет равна:

$$T_{\text{ц}}^* = 51,4 / (2 \cdot 0,45) + \sqrt{51,4^2 / (4 \cdot 0,45^2) - 805 / 0,45} = 95 \text{ с.}$$

Так как по условиям пешеходного движения не уточнялся основной такт 1 и 2 фазы, то найдем их длительность по формуле (2.11).

$$t_{o1}^* = ((95 - 12)95 \cdot 0,31) / (95 - 1,5 \cdot 12 - 5) = 34 \text{ с}; \quad t_{o2}^* = ((95 - 12)95 \cdot 0,24) / (95 - 1,5 \cdot 12 - 5) = 26 \text{ с.}$$

Таким образом, аналитический вид скорректированной структуры длительности цикла светофорного регулирования будет иметь вид:

$$T_{\text{ц}}^* = 95 \text{ с} = 34 + 4 + 26 + 4 + 23 + 4.$$

После расчета параметров светофорной сигнализации следует разработать график циклов светофорного управления для комбинированного **III** метода светофорного управления светофорной сигнализацией по рисунку 4.4. Он основан на пофазном управлении **I** с разрешением в фазе 3 "просачивания" транспорта через встречный транспортный поток (ТП) и через пешеходные потоки (ПП).

При этом он является первым альтернативным вариантом решения задачи 12) (таблицы 3.3) с БД промежуточного уровня требований к безопасности движения (ПрУТБД) для **III** комбинированного метода управления на РП осуществленном на базе традиционного **I** метода пофазного управления через совместное решение задач 2) и 3).

Разработанный график циклической сигнализации для РП с трехфазной моделью СОД с КЗ по рисунку 4.4, представлен на рисунке 4.6. Он выполнен компьютерной графикой (P-CAD 2002) и иллюстрирует результат первого решения альтернативной задачи 12) на принципах **I**-го метода пофазного управления движением с "просачиванием".

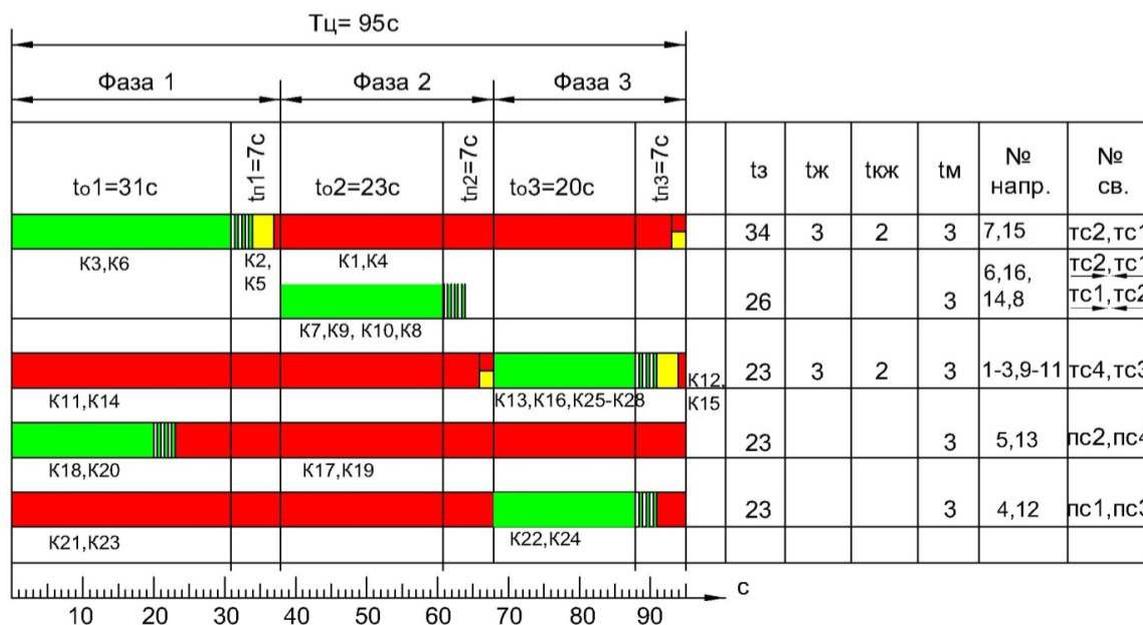


Рисунок 4.6 – График комбинированного III метода светофорной сигнализации для модели СОД с КЗ по рисунку 4.4 с "просачиванием" транспорта через ТП и ПП в 3-й фазе, при  $R_{\text{пт}} = 5,7$  ед., а  $T_{\text{ц}} = 95\text{с}$ .

График демонстрирует циклический алгоритм работы комбинированного III метода управления светофорной сигнализацией с использованием пофазного I метода управления на РП, который допускает "просачивания" транспорта через поток встречного направления транспорта и через пешеходный поток в третьей фазе рисунка 4.4. Структура длительности цикла для трехфазного светофорного регулирования в соответствии формулы (1.1) имеет вид

$$T_{\text{ц}} = 34 + 4 + 26 + 4 + 23 + 4 = 95 \text{ с}.$$

На графике отражен порядок чередования фаз и длительностей сигналов применительно к тренажерному комплексу (рис. 1.5), который имитирует одноуровневое регулируемое пересечение (РП) с решением задачи 12).

На рисунке 4.6 (и далее в рисунках 4.9, 4.11 и 4.13) в крайнем правом столбце (№ св.) графика приводится соответствующая нумерация (см. рисунок 1.5): транспортных светофоров (тс1–тс4); пешеходных светофоров (пс1–пс4); дополнительных секций левого поворота ( $\overleftarrow{\text{тс}}1-\overleftarrow{\text{тс}}4$ ) и правого поворота

( $\overrightarrow{тс1} - \overrightarrow{тс4}$ ) для конкретных направлений (№ нап.), т. е. тех неконфликтных групп, которые на графике приводятся отдельными строкам и по признаку одинакового режима работы. Временные диаграммы цикла сигнальной программы ( $T_{ц} = 95$  с) строятся в произвольном масштабе.

График является общим видом рекомендуемого построения светофорной сигнализации. На приведенном примере рисунка 4.6 в декартовой системе координат по оси «X» в выбранном масштабе отложены временные интервалы (размерность, с) длительностей горения зеленых сигналов в каждой из трех фаз ( $t_{o1} - t_{o3}$ ), без учета трех секунд мигания  $t_m$ .

В столбце  $t_3$  проставляются расчетные значение основного такта (горения зеленого). Поэтому время горения зеленого (без учета мигания) для конкретного, из рассматриваемых направлений движения (№ нап.) с привязкой к номеру фазы следует понимать так:  $t_{o1(7)}, t_{o1(15)}$  и  $t_{o1(5)}, t_{o1(15)}$  – в скобках указываются направления для первой фазы, когда горит зеленый сигнал для направлений 7, 15 – на  $тс1, тс2$  и 5, 13 – на  $пс2, пс4$ ;  $t_{o2(6)}, t_{o2(16)}$  и  $t_{o2(14)}, t_{o2(8)}$  – когда горит зеленый во второй фазе указанным направлениям в скобках для дополнительных секций  $\overrightarrow{тс1}, \overrightarrow{тс2}$  и  $\overleftarrow{тс1}, \overleftarrow{тс2}$ ;  $t_{o3(1)}, t_{o3(2)}, t_{o3(3)}$  и  $t_{o3(9)}, t_{o3(10)}, t_{o3(11)}$  – когда горит зеленый в третьей фазе, указанным направлениям в скобках для всех секций светофоров  $тс4$  и  $тс3$ ;  $t_{o3(4)}, t_{o3(12)}$  – когда горит зеленый в третьей фазе, указанным направлениям в скобках для пешеходных светофоров  $пс1, пс3$ .

По оси «Y» откладываются все существующие на данном перекрестке направления № нап. 1 – 16. В этом примере направления не ранжированы по порядку, а направления пешеходных переходов (№ нап. 5, 13, 4, 12) – вынесены в последние строки диаграммы.

Цикл светофорной сигнализации следует начинать с первой фазы с включения основного (зеленого) сигнала. В верхней части диаграммы производится разбивка цикла ( $T_{ц}$ ) на фазы, основные такты ( $t_{oi}$ ) и промежуточные такты ( $t_{ni}$ ),

с обозначением их длительности (в секундах) согласно временной сетке по оси «X». Для этого проводятся сверху вниз вертикальные линии через точки начала и окончания фаз и промежуточных тактов (ПТ) на временную ось «X».

С правой стороны временной диаграммы напротив каждого направления в таблицу вносятся расчетные длительности горения: зеленого сигнала ( $t_3$ ), желтого сигнала ( $t_{ж}$ ) – «завершения направления», желто-красного ( $t_{к/ж}$ ) – «начало направления», зеленого мигания ( $t_m$ ), № нап. и № св. (номера светофорных секций). Необходимо учесть, что  $t_{01}$ ,  $t_{02}$ ,  $t_{03}$  и т. д., откладываемые на диаграмме по оси «X» для соответствующих фаз 1, 2, 3 и т. д., – есть разность между расчетным временем зеленого сигнала ( $t_3$ ), и временем зеленого мигания ( $t_m$ ), так как  $t_m$  включается в ПТ. Также следует учитывать, что для пешеходных секций началом направления (№ нап.) является зеленый сигнал и завершением мигающий зеленый сигнал, а для дополнительных секций сигнал начала зеленый сигнал, а завершения мигающий зеленый сигнал. На поле каждого направления (№ нап.) под каждым цветом диаграммы обозначены номера каналов (К1 – К24) контроллера, к которым планируется подключать головки светофорных секций конкретных цветов. Например, красные – К1, К4, К17, К23 и т. д., желтые – К2, К5, К12 и К15, зеленые – К3, К6, К9 и т. д. Порядок присвоения номеров каналов (в УК4.1М произвольный) и занесения параметров СОД с КЗ в редакторе "Светофорный пост СВП" (см. раздел 5).

#### **4.4 Разработка методики расчета алгоритмов светофорной сигнализации в комбинированном методе на основе пофазного управления на РП без "просачивания" ТП**

Разработка второй альтернативной модификации в моделях СОД с КЗ (рисунк 4.4) осуществляется при решении задачи 12) без просачивания ТП в комбинированном III методе управления на РП и трансформируется в задачу 3) для I-го метода пофазного управления с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД) согласно таблицы 3.3. При решении задачи

3), в первую очередь, нельзя допускать конфликтные точки пересечений (т. е. просачиваний) правых и левых транспортных поворотов через пешеходные потоки. Для этого надо организовать в I методе управления либо бесконфликтные левоповоротные движения ТП на РП, либо обеспечить допустимую БД для левоповоротных потоков транспорта со встречными ТП с минимальным числом конфликтных точек. Такие решения реализуют на РП концепцию "нулевой смертности" и имеют в пределе оценку безопасности движения (БД) в рамках диапазона  $R_{Пл} \leq 3$  ед. (см. таблицу 3.1).

На рисунке 4.7 представлена четырехфазная модель СОД с КЗ на РП способная решать задачу 3) при  $R_{Пл} \leq 0,75$  ед. пофазным методом управления I без "просачивания" ТП.

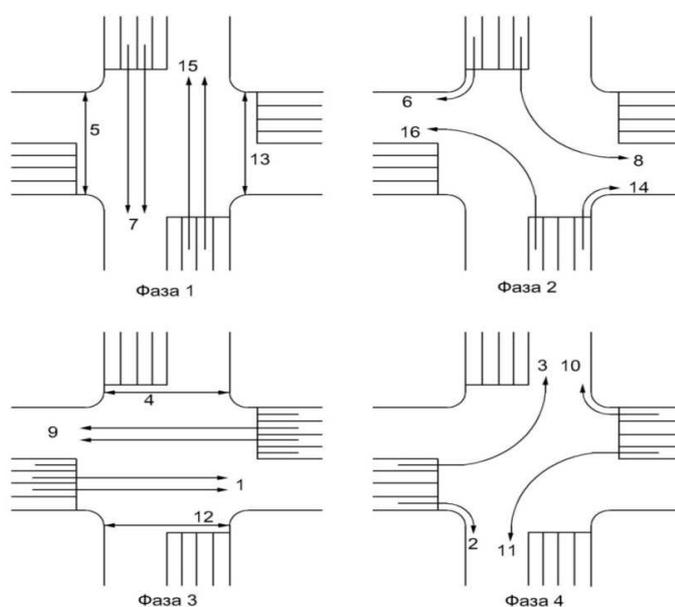


Рисунок 4.7 – Четырехфазная модель СОД с КЗ на РП для пофазного I метода управления движением без "просачивания" ТП, где решается задача 3) с БД –

$$R_{Пл\max} = R_{Пл} \leq 0,75 \text{ ед. и } T_{ц} = 127 \text{ с}$$

Из СОД с КЗ следует, что безопасное разделение (во времени) потоков транспорта и пешеходов на РП осуществляется в четыре фазы без "просачивания". В первой фазе движение транспортных потоков прямого направления 7, 15 и пешеходов 5, 13 идет по Вертикальной улице. Во второй фазе идет движение поворотных потоков 6, 8, 14, 16, выходящих с Вертикальной ул. на Гори-

горизонтальную ул. В третьей фазе идет движение транспортных 1, 9 и пешеходных 4, 12 потоков, следующих по Горизонтальной ул. В четвертой фазе идет движение всех поворотных потоков 2, 3, 10, 11, выходящих с Горизонтальной ул. на Вертикальную ул.

В такой СОД с КЗ обеспечивается бесконфликтный пропуск пешеходов во всех фазах. В фазах 2 и 4 для правых и левых поворотов транспортных средств в одном направлении остаются лишь конфликтные точки на слияние (не показаны). Однако, при таких конфликтных ситуациях на перекрестке, допустимый уровень требований дорожной безопасности обеспечивается "законопослушными" участниками дорожного движения, выполняющими Правила ДД РФ. А именно: – соблюдается дистанция до впереди движущегося транспортного средства, а при перестроениях ТС в одну и ту же полосу движения, водитель имеющий «помеху справа», уступает первоочередность проезда справа для едущего ТС в предполагаемой точке слияния на конфликтной полосе.

Далее проводят расчет транспортной эффективности модели СОД с КЗ на РП для рисунка 4.7 по критерию длительности цикла светофорного регулирования  $T_{ц}$ , численное значение которого не должно превышать 120 с ("терпеливого ожидания" для водителей ТС).

Исходные данные по интенсивности ТПП используются из рисунка 1.6, а последовательность расчета изложенная ниже аналогична расчету раздела 4.3.

#### *Расчет потоков насыщения и фазовых коэффициентов*

Значения потоков насыщения для каждого из направлений в соответствующих фазах будут равны:

$$M_{H1(7)} = M_{H1(15)} = 3700 \text{ ед./ч}; \quad M_{H2(6)} = M_{H2(14)} = 1478 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H2(8)} = M_{H2(16)} = 1672 \text{ ед./ч}; \quad M_{H3(1)} = M_{H3(9)} = 3700 \text{ ед./ч};$$

$$M_{H4(2)} = M_{H4(10)} = 1478 \text{ ед./ч}; \quad M_{H4(3)} = M_{H4(11)} = 1672 \text{ ед./ч}.$$

После определения потоков насыщения рассчитывают фазовые коэффициенты для каждого из направлений движения на перекрестке в данной фазе регулирования.

$$y_{1(7)} = 850 / 3700 = 0,23; \quad y_{1(15)} = 1130 / 3700 = 0,31;$$

$$y_{2(6)} = 135 / 1478 = 0,09; \quad y_{2(14)} = 330 / 1478 = 0,22;$$

$$y_{2(8)} = 190 / 1672 = 0,11; \quad y_{2(16)} = 400 / 1672 = 0,24;$$

$$y_{3(1)} = 400 / 3700 = 0,11; \quad y_{3(9)} = 540 / 3700 = 0,15;$$

$$y_{4(2)} = 100 / 1478 = 0,07; \quad y_{4(10)} = 60 / 1478 = 0,04;$$

$$y_{4(3)} = 70 / 1672 = 0,04; \quad y_{4(11)} = 80 / 1672 = 0,05.$$

В качестве расчетных (определяющих длительность основного такта) фазовых коэффициентов для каждой фазы выбирают наибольшие фазовые коэффициенты, т. е.  $y_1 = 0,31$ ;  $y_2 = 0,24$ ;  $y_3 = 0,15$ ;  $y_4 = 0,07$ .

Их суммарный фазовый коэффициент равен:

$$Y = 0,31 + 0,24 + 0,15 + 0,07 = 0,77.$$

#### *Расчет длительности промежуточных тактов*

По плану перекрестка с дальними конфликтными точками рисунок 4.8 определяют местоположения дальних конфликтных точек (ДКТ) пересечения с транспортными средствами, начинающими движение в следующих фазах.

Используя программу AutoCAD, определяют ДКТ от стоп – линии: для первой фазы – 23 м; – второй – 16 м; – третьей – 23 м; – четвертой – 16 м. По формуле (2.5) определяют длительность промежуточного такта для каждой фазы:

$$t_{п1} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(23 + 5) / 50 = 4 \text{ с}; \quad t_{п2} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(16 + 5) / 25 = 4 \text{ с};$$

$$t_{п3} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(23 + 5) / 50 = 4 \text{ с}; \quad t_{п4} = 25 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(16 + 5) / 25 = 4 \text{ с}.$$

Проверяют, успевают ли пешеходы за период промежуточного такта дойти до середины проезжей части или вернуться на тротуар по формуле (2.6):

$$t_{п1(пш)} = t_{п3(пш)} = 23 / (4 \cdot 1,3) = 4 \text{ с}.$$

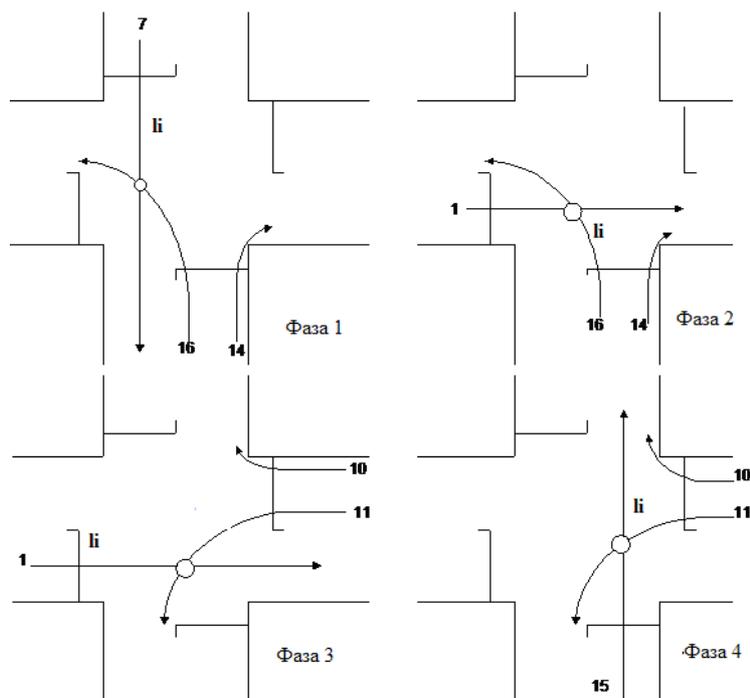


Рисунок 4.8 – План перекрестка с дальними конфликтными точками

Так как  $t_{п1} = t_{п1(пш)}$ , а  $t_{п3} = t_{п3(пш)}$ , то длительность промежуточных тактов не корректируют. Поэтому, длительность промежуточного такта для первой, второй, третьей и четвертой фаз составляет 4 с, а их сумма равна:  $T_{п} = 16$  с .

#### *Определение длительности цикла и основных тактов регулирования*

Для определения длительности цикла используют формулу (2.1):  
 $T_{ц} = (1,5 \cdot 16 + 5) / (1 - 0,77) = 126$  с, так как  $T_{п} = 16$  с и  $Y = 0,77$  .

По формуле (2.2) определяют длительность основных тактов для каждой фазы регулирования:

$$t_{o1} = (126 - 16) 0,31 / 0,77 = 44 \text{ с}; \quad t_{o2} = (126 - 16) 0,24 / 0,77 = 34 \text{ с};$$

$$t_{o3} = (126 - 16) 0,15 / 0,77 = 22 \text{ с}; \quad t_{o4} = (126 - 16) 0,07 / 0,77 = 10 \text{ с}.$$

Вид структуры цикла регулирования:

$$T_{ц} = 126 \text{ с} = 44 + 4 + 34 + 4 + 22 + 4 + 10 + 4.$$

В первой и третьей фазе пешеходы переходят проезжую часть шириной 23 м, время необходимое для их движения  $t_{пш1} = t_{пш3} = 5 + 23 / 1,3 = 23$  с .

В третьей фазе пешеходы не успевают пересечь проезжую часть, поэтому цикл корректируют – добавлением недостающих секунд до необходимых, если добавка не превышает 5 с, принимая  $t_{o3} = t_{пш3} = 23$  с.

После корректировки структура цикла имеет вид:

$$T_{ц} = 127 \text{ с} = 44 + 4 + 34 + 4 + 23 + 4 + 10 + 4.$$

Вывод: имеет место незначительное превышение (на 7 с) интервала «терпеливого ожидания» для водителей ТС, что не желательно и остается на усмотрение заказчика.

Разработанный график циклической сигнализации на РП для пофазного I метода управления светофорной сигнализацией по четырехфазной модели СОД с КЗ рисунок 4.7 без "просачивания" ТП (при БД –  $R_{Гл\max} = R_{Гл} \leq 0,75$  ед. и  $T_{ц} = 127$  с представлен на рисунке 4.9).

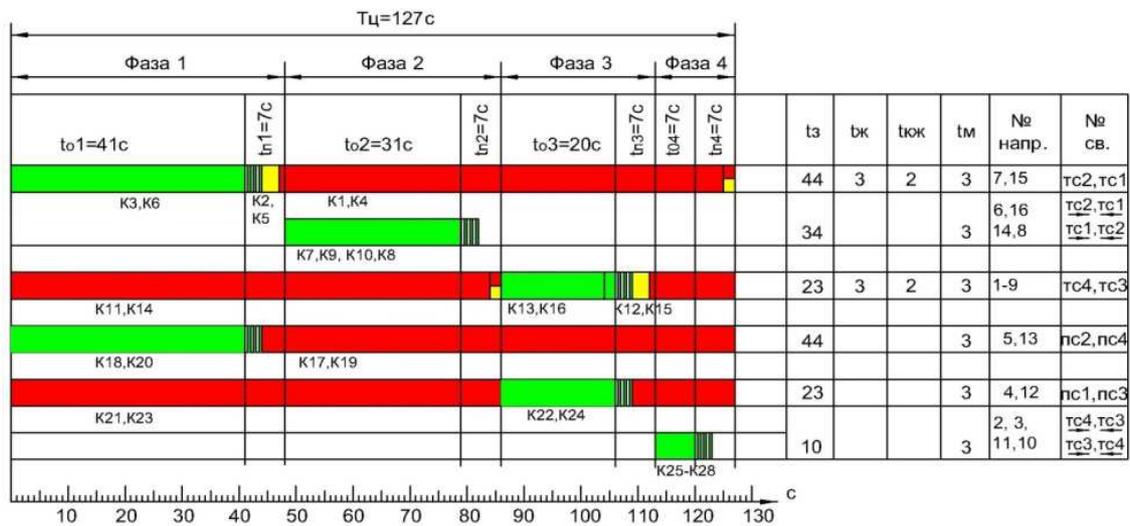


Рисунок 4.9 – График пофазного I метода управления светофорной сигнализацией для модели СОД с КЗ по рис. 4.7 без "просачивания" ТП, при БД –  $R_{Гл\max} =$

$$R_{Гл} \leq 0,75 \text{ ед. и } T_{ц} = 127 \text{ с}$$

Алгоритм светофорной сигнализации для четырехфазной модели СОД с КЗ по рисунку 4.7 с пофазным методом управления I светофорной сигнализацией без просачивания удовлетворяет повышенному уровню требований безопасности движения (ПУТБД) с решением задачи 3) (см. рисунок 3.1).

В алгоритме нет конфликтных точек, кроме как теоретических на слияние

поворотных ТС и на столкновения в пределах РП при не соблюдении дистанции в транспортных потоках, поэтому его БД  $R_{\text{ГПmax}} = R_{\text{ГП}} \leq 0,75$  ед.

График пофазного I-го метода управления светофорной сигнализацией без "просачивания" (рисунок 4.9) иллюстрирует результат решения задачи 12) для второй модификации его модели СОД с КЗ (рисунок 3.3).

На нем показаны порядок чередования и длительность сигналов для регулируемого перекрестка тренажерного комплекса рисунка 1.5 с принятой там нумерацией направлений движений ТПП и светофоров.

#### **4.5 Разработка методики оценки эффективности СОД с КЗ и алгоритмов светофорной сигнализации для метода комбинированного управления движением на РП и основе метода движения по отдельным направлениям с "просачиванием" ТП**

Разработка первой модификации варианта модели СОД с КЗ согласно таблицы 3.3 для комбинированного метода управления III при решении задачи 11) с допустимым уровнем требований к безопасности движения (ДУТБД) осуществляется с использованием I-го метода пофазного управления и II-го метода управления движением по отдельным направлениям с ПУТБД. При таком объединении в одном цикле регулирования необходимы инновационные приемы инфраструктурной самоорганизации на РП [134, 135, 138].

Прием самоорганизации заключается в том, что разрешается "просачивание" транспортных и пешеходных потоков только в той из фаз светофорного цикла, в которой используется I метод пофазного управления. При этом в другой (их) фазе(ах), где используется II метод управления по отдельным направлениям конфликтные "просачивания" (пересечения) не допускаются, а длительность его основного такта в каждом направлении движения ТП определяется их интенсивностью, т. е. не настраивается, как в пофазном методе управления I по максимальной интенсивности движения ТП. Итак, при решении задачи 11) комбинированным III-м методом управления в модели СОД с КЗ на РП требу-

ется в одном цикле регулирования объединить и решить две задачи: – многоконфликтную 1) с ДУТБД и бесконфликтную 6) с ПУТБД согласно таблицы 3.3.

Наличие системных (интеллектуальных) контроллеров (в том числе и отечественных типа УК4.1, УК4.1М), у которых длительность тактов для отдельных направлений может программироваться отдельно, позволяет ликвидировать недостаток пофазного регулирования (программирования только по максимально загруженному направлению) и повышает гибкость процесса управления движением на пересечении(перекрестке). Для менее загруженного направления разрешающий движение сигнал может быть выключен раньше и, следовательно, раньше может начаться движение в направлении, конфликтующим с предыдущим (до выключения).

Следует учитывать, что модели СОД с КЗ основанные на **II** методе управления движением по отдельным направлениям эффективны только для вариантов многополосных РП. На таких РП должно быть три и более полосы движения в прямом и обратном направлениях движения на дороге. На них целесообразно использовать транспортные светофоры с дополнительными право – и левоповоротными секциями.

При разработке и расчете уровня оценки БД и длительности цикла для модели СОД с КЗ с управлением движением по отдельным направлениям с "просачиванием" необходимо использовать, уже известную, трехфазную модель СОД с КЗ с "просачиванием" (рисунок 4.4) и результаты расчета ее длительности цикла и его элементов, полученные в разделе 4.3.

Учитывая вышеизложенное, разрабатывают необходимую модель СОД с КЗ с использованием рисунка 4.4. Прямому направлению 7 дают интервал времени горения зеленого меньше, чем встречному направлению 15, согласно их интенсивностям (см. рисунок 1.5). Учитывая, что интенсивности левоповоротных и правоповоротных потоков по Вертикальной ул. более 120 ед./ч, разъезд транспортных потоков следует организовать с отсечкой (дроблением) первой фазы. Далее трехфазная модель СОД с КЗ по рисунку 4.4 с **III** методом комби-

нированного управления модернизируется в четырехфазную модель СОД с КЗ по рисунку 4.10, т.е. с применением **II** метода управления по отдельным направлениям движения и дроблением фазы 1.

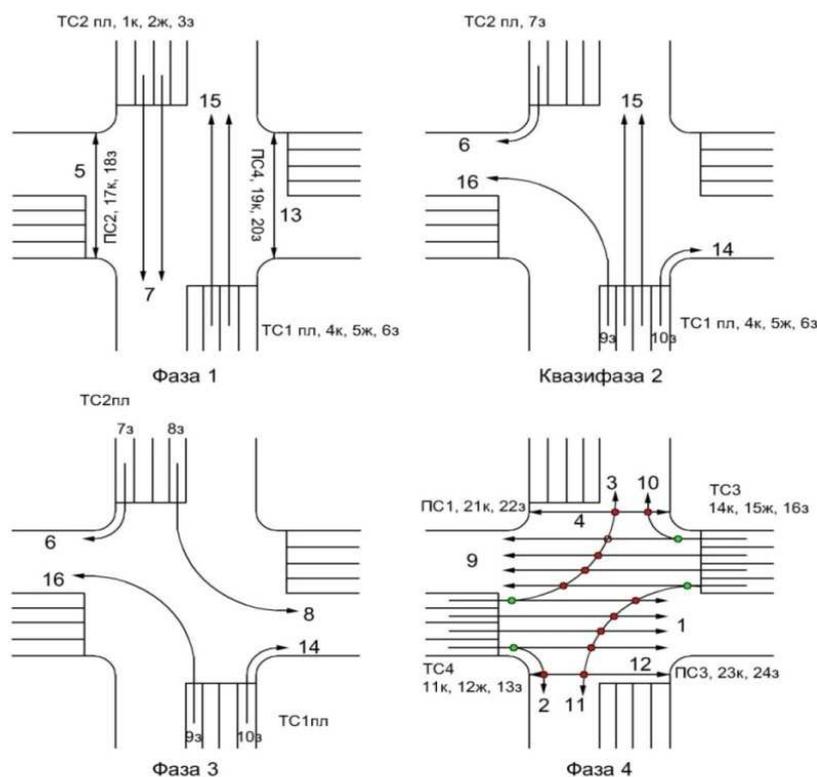


Рисунок 4.10 – Квазичетырехфазная модель СОД с КЗ при комбинированном **III** методе управления с отсечкой и "просачиванием" ТП, где конфликтные точки: ● – на пересечение (просачивание) – 12 шт., ● – на ответвление – 4 шт. дают уровень БД –  $R_{III} = 5.7$  ед., а  $T_{ц} = 88$  с

После дробления (отсечки) [137] первой фазы (рисунок 4.4) осуществлен прием введения – квазифазы 2 с момента окончания движения прямого транспортного потока 7. Такую модель СОД с КЗ по рисунку 4.10 называют – квазичетырехфазной моделью СОД с КЗ. Здесь в одном цикле управления использованы: – **II** метод управления по отдельным направлениям с отсечкой в первых трех фазах, а также – **I** метод пофазного управления с "просачиванием" в четвертой фазе.

На каждом направлении движения транспортных и пешеходных потоков в рисунке 4.10 введены обозначения номера и цвета секций (головок) светофоров

согласно рисунка 1.5. Этот прием направлен на достижение максимума учебно-практической эффективности по критериям полезности и наглядности. Он используется при решении задач экспериментального моделирования работоспособности на тренажерном комплексе [144, 148, 149,] светофорного перекрестка в главе 5.

Проведенные же в приложениях П.1 – П.5 диссертационной работы комплексные исследования оценки эффективности действующих и рекомендуемых моделей СОД с КЗ при разных методах управления (**I, II, III**) разъездами ТПП на Х- и Т-образных регулируемых пересечениях (РП) по критериям безопасности движения (БД) и пропускной способности (ПС) построены на другой упрощенной элементами формализации обозначений входов РП и направлений движения ТПП с разрешенными ПДД РФ маневрами движения (см. рис. 1.7 – 1.13).

На рисунке 4.10 прямым направлением 7 управляют основные секции транспортного светофора ТС2пл с нумерацией основных секций: – 1к (первая головка красная), – 2ж (вторая – желтая), – 3з (третья – зеленая). Поворотными направлениями 6 и 8 управляют дополнительные секции транспортного светофора ТС2пл: – с номером – 7з (правая дополнительная секция – зеленая) управляет 6-м направлением, а – 8з (левая дополнительная секция – зеленая) управляет 8-м направлением движения и т. д., соответственно и согласно рисунка 1.5.

Анализ рисунка 4.10 и картограммы интенсивности движения (рисунок 1.6) указывают на необходимость бесконфликтного пропуска, как пешеходных потоков 5 и 13, так и право – и левоповоротных потоков 6, 14 и 8, 16, из-за их высокой интенсивности.

Право – и левоповоротные потоки 2, 10 и 3, 11 малоинтенсивные. С учетом этого и, принимая во внимание малую интенсивность транспортных 1, 9 и пешеходных 4, 12 потоков, указанные правые 2, 10 и левые повороты 3, 11 могут быть организованы методом "просачивания", т. е. конфликтные точки разрешены с допустимым уровнем требований к безопасности движения (ДУТБД),

так как пешеходные потоки не превышают 900 чел./ч, а поворачивающие транспортные потоки – не превышают 120 авт./ч).

В первой фазе по Вертикальной улице синхронно пропускаются транспортные потоки прямого направления 7, 15 и пешеходные 5, 13. В квазивторой фазе продолжает движение по Вертикальной улице поток прямого направления 15 и начинают движение поворотные потоки 6, 14 и 16, после окончания движения потока 7 и отработки промтакта. В третьей фазе после окончания движения потока 15, так же с учетом отработки для него промтакта, разрешается движение левого поворотного потока 8 и продолжается движение более интенсивных поворотных потоков 16 и 14, выходящих с вертикальной улицы. В четвертой фазе разрешается движение прямых транспортных потоков – направлений 1, 9, а так же поворотных транспортных потоков – направлений 2, 3, 10, 11 и пешеходных потоков – направлений 4, 12, следующих по Горизонтальной улице (с ДУТБД при разрешении "просачивании" ТП).

Поскольку на вертикальной улице поворотные потоки направлений 6, 8, 14, 16 и потоки прямого направления 7, 15 пропускаются в разных фазах, то полосы на подходах к перекрестку необходимо канализировать (специализировать): – левые полосы направлений 8, 16 – специализировать для движения только налево; – средние направления 7 и 15, состоящие из двух полос каждая – только для движения прямо; – правые направления движения 6, 14 – только для движения направо.

Первоначально расчет уровней БД для модели СОД с КЗ рисунка 4.10 по комбинированному **III** методу управления транспортными средствами с "просачиванием" должен производиться с использованием формул (2.39) и (2.40) соответственно – для определения  $R_{\Gamma\Pi}$  и  $R_{\Gamma\Pi\max}$  по аналогии раздела 4.2. Поскольку исходные данные интенсивности транспортно-пешеходных потоков, образующих конфликтные точки их вид и их число на рисунках 4.4 и 4.10 совпадают, то можно использовать результаты для  $R_{\Gamma\Pi} = 5,7$  ед. и  $R_{\Gamma\Pi\max} = 6,31$  ед., полученные в разделе 4.2. Такие результаты согласно таблицы 3.3 лежат в диапазоне

пределов  $> 3 \leq 8$  ед. для решения задачи 15) по БД, что соответствует ПрУТБД, а не ДУТБД, как первоначально считалось для решения задачи 11).

Следовательно, задачу 11) с ДУТБД необходимо переqualифицировать в более высокую степень по БД, т.е. перевести в вариант решенной задачи 15) с ПрУТБД того же комбинированного III-го метода управления на РП. Задача 15) с ПрУТБД основана на объединении задач 2) I-го метода пофазного управления и б) II-го метода управления по отдельным направлениям.

После определения оценки БД производят расчет потоков насыщения и фазовых коэффициентов для каждого направления движения в каждой фазе регулирования рисунка 4.10 аналогично, проведенному расчету для рисунка 4.4.

При использовании отечественного дорожного контроллера УК4.1М или других, обладающих элементами интеллекта, проявляющегося в способности управления движением по отдельным направлениям на перекрестках, можно уменьшить длительность цикла 95с, полученную для модели СОД с КЗ рисунка 4.4 с пофазным I-м методом управления.

Уменьшение цикла светофорного регулирования достигается за счет введенной квазифазы 2 с отсечкой ТП 7 при одновременном выпуске среднеинтенсивного левоповоротного потока направления 16 с правоповоротными потоками направлений 6 (малоинтенсивным) и 14 (среднеинтенсивным). То есть после пропуска менее интенсивного потока прямого направления 7 (относительно высокоинтенсивного встречного потока направления 15) и пешеходных потоков направлений 5, 13, переходящих Горизонтальную улицу (за 23 с).

Для квазичетырехфазной модели СОД с КЗ рисунка 4.10 по формуле (2.2) рассчитывают длительность основных тактов  $t_{oi}$  (разрешающих сигналов) для каждого направления движения. При этом номера фаз (1 – 4) и направлений движения (1 – 16) должны быть обозначены соответствующими индексами. С учетом увеличения числа фаз до четырех (после ввода квазифазы 2) требуется переименовать фазы 2 и 3 (рисунка 4.4) в фазы 3 и 4 (рисунка 4.10) соответственно. Это при расчете значений основных тактов  $t_{oi}$  для направлений 8 и 1, 9,

2, 10, 11, 3 –  $t_{02(8)}$  и  $t_{03(1)}$ ,  $t_{03(9)}$ ,  $t_{03(2)}$ ,  $t_{03(10)}$ ,  $t_{03(11)}$ ,  $t_{03(3)}$  требует провести соответствующие переименования упомянутых фаз – на  $t_{03(8)}$  и  $t_{04(1)}$ ,  $t_{04(9)}$ ,  $t_{04(2)}$ ,  $t_{04(10)}$ ,  $t_{04(11)}$ ,  $t_{04(3)}$ . После переименования – расчетные значения основных тактов для квази-четырёхфазной модели СОД с КЗ (с учетом:  $T_{ц} = 95$  с;  $T_{п} = 16$  с;  $Y = 0,71$ ) примут нижеследующий вид:

$$\begin{aligned}
 t_{01(7)} &= (95 - 16)0,23 / 0,71 = 26 \text{ с}; & t_{01(15)} &= (95 - 16)0,31 / 0,71 = 35 \text{ с}; \\
 t_{03(8)} &= (95 - 16)0,11 / 0,71 = 12 \text{ с}; & t_{02(16)} &= (95 - 16)0,24 / 0,71 = 27 \text{ с}; \\
 t_{02(6)} &= (95 - 16)0,09 / 0,71 = 10 \text{ с}; & t_{02(14)} &= (95 - 16)0,22 / 0,7 = 25 \text{ с}; \\
 t_{04(1)} &= (95 - 16)0,11 / 0,71 = 12 \text{ с}; & t_{04(9)} &= (95 - 16)0,15 / 0,71 = 17 \text{ с}; \\
 t_{04(2)} &= (95 - 16)0,07 / 0,71 = 8 \text{ с}; & t_{04(10)} &= (95 - 16)0,04 / 0,71 = 5 \text{ с}; \\
 t_{04(11)} &= (95 - 16)0,05 / 0,71 = 6 \text{ с}; & t_{04(3)} &= (95 - 16)0,04 / 0,71 = 5 \text{ с}.
 \end{aligned}$$

Имея все параметры  $T_{ц}$ , и его элементов, **структуру режима цикла светфорного регулирования в аналитическом виде написать сразу** в одну строку **нельзя**, как это сделано ранее для модели СОД с КЗ метода **I** с пофазным управлением (см. раздел 4.3). Это связано со сложностью промтакта  $t_{п}$  для модели СОД с КЗ при **II** методе управления движением по отдельным направлениям, для которого  $t_{п}$ , как правило, имеющаяся длительность больше 4 с, чем рассчитанная аналитически в разделе 4.3 Промтакт (см. рисунок 5.10), для разработанной квазичетырёхфазной модели СОД с КЗ на базе метода **II** управления по отдельным направлениям с "просачиванием" рисунка 4.10, служить не только целям безопасности разъезда ТС в переходном процессе после момента переключения зеленого сигнала на красный сигнал, но и для увеличения пропускной способности регулируемого пересечения (РП). Например, для направления 15, промтакт служит и для увеличения пропускной способности перекрестка, так как не влияет на основной сигнал горения зеленого для направления 15, после отсечки ТП 7 и дробления фазы 1.

Понять возможности полезной роли протакта в формировании временно'го интервала длительности цикла  $T_{ц}$  светофорной сигнализации модели СОД с КЗ на базе II-го метода управления по отдельным направлениям с "просачиванием" можно лишь после построения графоаналитическим методом временной диаграммы цикла светофорной сигнализации для СОД с КЗ согласно рисунка 4.10.

*Разработка графоаналитическим методом светофорной сигнализации на РП для комбинированного управления с использованием управления движением по отдельным направлениям с "просачиванием" ТП*

На рисунке 4.11 представлена разработанная временная диаграмма светофорной сигнализации модели СОД с КЗ рисунок 4.10 с комбинированным III методом управления движением по отдельным направлениям с отсечкой и "просачиванием" ТП в 4-й фазе при БД –  $R_{Пл\max} = R_{Пл} = 5,7$  ед. и  $T_{ц} = 88$  с.

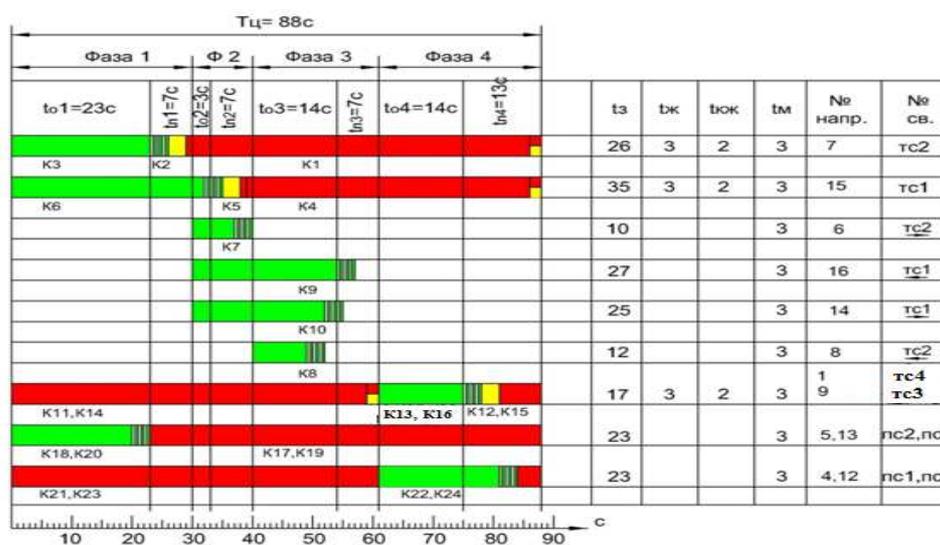


Рисунок 4.11 – Временная диаграмма светофорной сигнализации модели СОД с КЗ рисунок 4.10 с комбинированным III методом управления движением по отдельным направлениям с отсечкой и "просачиванием" ТП в 4-й фазе при БД –

$$R_{Пл\max} = R_{Пл} = 5,7 \text{ ед. и } T_{ц} = 88 \text{ с}$$

Диаграмма рисунка 4.11 иллюстрирует циклическую последовательность и длительность сигналов светофорной сигнализации для каждого такта из четы-

рех фаз рассматриваемого варианта модели СОД с КЗ рисунка 4.10. График на временной диаграмме рисунка 4.11 отражает первый вариант светофорной сигнализации в приложении к тренажерному комплексу (рисунка 1.5). Последний имитирует одноуровневый регулируемый перекресток (РП) с решением задачи 15) на основе объединения и решения двух задач в одном цикле светофорного регулирования согласно таблицы 3.3: – 2) для I-го метода пофазного управления движением с "просачиванием" ТП в 4 фазе и – 6) для II-го метода управления движением по отдельным направлениям в фазах 1 – 3.

Например, в квазифазе 2 рисунка 4.10 начинают движение поворотные потоки 6, 14 и 16 (см. строки № нап. 6, 16, 14 рисунок 4.11), после окончания движения потока 7, с учетом отработки промтакта:  $t_m = 3$  с;  $t_{ж} = 3$  с и красного  $t_k = 1$  с, последний добавляется к желтому до расчетных 4 с, без учета зеленого мигания.

При этом еще продолжает движение по Вертикальной улице поток прямого направления 15. Во второй квазифазе согласно рисунка 4.11 время основного такта увеличено на 1 с, т. е., до  $t_{o2} = 3$  с, согласно принятому в редакторе СВП (SVP) для контроллера УК-4.1М условию, когда  $t_{oi}$  не может быть меньше 3 секунд. После окончания движения потока 15 и отработки промтакта (7с), разрешается движение левого поворотного потока 8 при одновременном продолжении движений интенсивных поворотных потоков 16 и 14, выходящих с вертикальной улицы.

Правоповоротные потоки 6 и 14 можно выпускать еще раньше, чем показано на рис. 4.11, а именно: после истечения расчетных 4 с промтакта, отсчитанных от окончания сигналов мигания  $t_m$  пешеходных потоков, 5, 13, но это уже будет другой вариант модели СОД с КЗ и здесь не рассматривается. Из полученного графика временной диаграммы рисунка 4.11 можно графоаналитическим методом рассчитать по основным  $t_{oi}$  и промежуточным  $t_{ni}$  тактам аналитическую формулу для цикла  $T_{ц}$  светофорной сигнализации, которая используется далее в моделировании модели СОД с КЗ на тренажерном комплексе в

разделе 5. Выбирая и суммируя, взятые из графика рисунка 4.11 отрезки временных длительностей всех основных и промежуточных тактов, получена расчетная длительность цикла модели СОД с КЗ для III-го метода управления на базе II-го метода управления по отдельным направлениям с "просачиванием" ТП –  $T_{\text{ц}} = 88$  с.

Аналитическая структура записи для  $T_{\text{ц}}$  сначала снимается с верхней части графика временной диаграммы светофорной сигнализации модели СОД с КЗ рисунка 4.11 и имеет вид  $T_{\text{ц}} = 23 + 7 + 3 + 7 + 14 + 7 + 14 + 13 = 88$  с, затем с учетом квазифазы 2 ее вид корректируется переносом промежуточного такта из фазы 1 в основной так квазифазы 2 и вид меняется  $T_{\text{ц}} = 23 + 10 + 7 + 14 + 7 + 14 + 13 = 88$  с. При этом независимо от вида записи  $T_{\text{ц}}$ , ее длительность на 7 секунд меньше относительно цикла модели СОД с КЗ при пофазном управлении с "просачиванием" (см. рисунок 4.6), где  $T_{\text{ц}} = 95$  с.

Поскольку из графика временной диаграммы светофорной сигнализации модели СОД с КЗ возможно определять численные значения длительности цикла и его элементов то такой прием следует называть **графоаналитическим методом** определения длительности параметров светофорной сигнализации.

#### **4.6 Разработка методики оценки эффективности СОД с КЗ и алгоритмов светофорной сигнализации для метода комбинированного управления движением на РП на основе метода движения по отдельным направлениям без "просачивания" ТП**

Вторая альтернативная модификация модели СОД с КЗ по рисунку 4.10 при решении задачи 15) с комбинированным III методом управления движением на РП преобразуется в задачу б) II метода управления движением по отдельным направлениям с ПУТБД (по таблице 3.3) – если в ней нет "просачиваний" ТП. Повышенный уровень требований к безопасности движения (ПУТБД) запрещает все "просачивания" (точки пересечения) ТП в фазах светофорного цикла. Поэтому для решения задачи б) воспользуемся уже исследованной четы-

рехфазной моделью СОД с КЗ при решении задачи 3) для пофазного I метода управления движением без "просачивания" ТП (рисунок 4.7) и результатами ее расчетных данных для длительности цикла и основных элементов. При этом сохраним последовательность изложенной методики раздела 4.5 и логики построения рисунков 4.10 и 4.11, приняв их в дальнейшем в качестве шаблона.

При решения задачи 6) для модели СОД с КЗ рисунка 4.7 вводят режим отсечки, прерывая транспортный поток 7, что образует – квазифазу 2 и формирует, представленную на рисунке 4.12 пятифазную модель СОД с КЗ для II метода управления движением по отдельным направлениям без "просачивания" ТП.

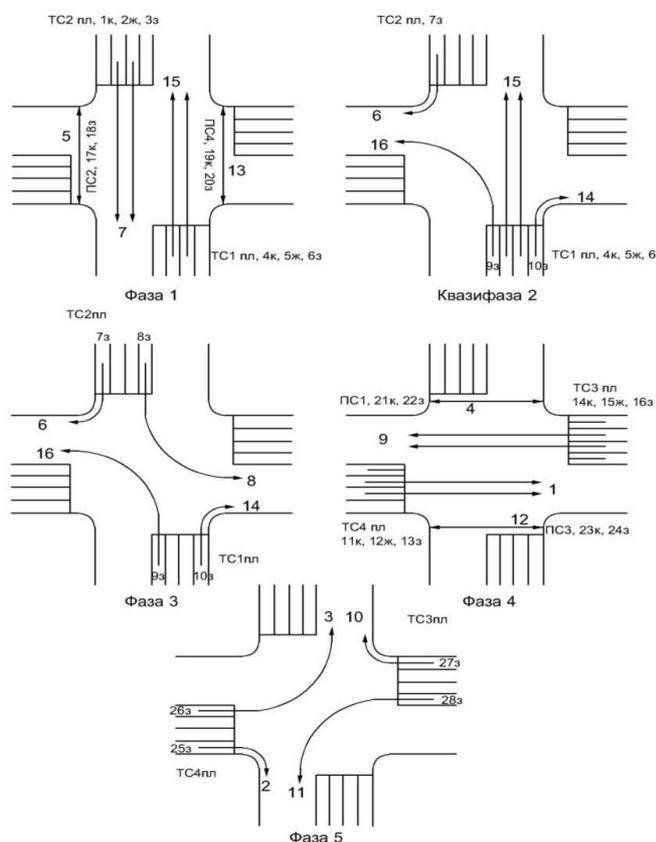


Рисунок 4.12 – Пятифазная модель СОД с КЗ для II метода управления движением по отдельным направлениям без "просачивания" ТП, где решается задача б) при  $R_{\text{плmax}} = R_{\text{пл}} \leq 0,75$  ед. и  $T_{\text{ц}} = 114$  с

Модель СОД с КЗ рисунок 4.12 на РП обеспечивает полную безопасность пешеходов, ликвидируя конфликтные точки пересечения. Она не допускает "просачивания" транспортных средств (ТС) между собой и с потоками пешехо-

дов, реализуя повышенный уровень требований к безопасности движения (ПУТБД). Имеют место лишь конфликтные точки между ТС с самым малым удельным весом в формуле (2.39) – от слияния и от несоблюдения интервала дистанции в движении ТС. Конфликтные точки на слияние, не показанные на рисунке 4.12, в нашем случае – это возможные точки для поворотных ТС в транспортных потоках, желающих одновременно влиться в одну полосу – справа и слева в фазе 3: – 6 с 16; 8 с 14 и в фазе 5: – 3 с 10; 2 с 11.

*Разработка графоаналитическим методом светофорной сигнализации на РП для комбинированного управления с использованием управления движением по отдельным направлениям без "просачивания" ТП*

Для аналитического расчета длительности разрешающих сигналов светофорной сигнализации по рисунку 4.12 используются основные результаты раздела 4.5 для I-го метода пофазного управления без "просачивания" ТП с учетом полученных там: – фазовых коэффициентов ( $y_{ij}$ ); суммы фазовых коэффициентов ( $Y = 0,77$ ); суммы расчетных промтактов ( $T_{\Pi} = 16$  с); и длительности цикла ( $T_{\text{ц}} = 127$  с).

Используя формулу (2.2) рассчитывают длительность разрешающих сигналов СОД с КЗ рисунок 4.12 для каждого направления движения (учтя, что в ней пять фаз – принимают  $T_{\Pi} = 20$  с) и получают нижеследующие значения основных (зеленых) тактов:

$$t_{o1(7)} = (127 - 20)0,23 / 0,77 = 32 \text{ с}; \quad t_{o1(15)} = (127 - 20)0,31 / 0,77 = 43 \text{ с};$$

$$t_{o3(8)} = (127 - 20)0,11 / 0,77 = 15 \text{ с}; \quad t_{o2(16)} = (127 - 20)0,24 / 0,77 = 33 \text{ с};$$

$$t_{o2(6)} = (127 - 20)0,09 / 0,77 = 13 \text{ с}; \quad t_{o2(14)} = (127 - 20)0,22 / 0,77 = 31 \text{ с};$$

$$t_{o4(1)} = (127 - 20)0,11 / 0,77 = 15 \text{ с}; \quad t_{o4(9)} = (127 - 20)0,15 / 0,77 = 21 \text{ с};$$

$$t_{o5(2)} = (127 - 20)0,07 / 0,77 = 10 \text{ с}; \quad t_{o5(10)} = (127 - 20)0,04 / 0,77 = 6 \text{ с};$$

$$t_{o5(11)} = (127 - 20)0,05 / 0,77 = 7 \text{ с}; \quad t_{o5(3)} = (127 - 20)0,04 / 0,77 = 6 \text{ с}.$$

Расчет времени основных тактов произведен аналогично расчету подраздела 4.7, но с учетом изменения нумерации  $t_{o4(2)}, t_{o4(10)}, t_{o4(11)}, t_{o4(3)}$  четвертой фазы на 5-ю фазу в направлениях 2, 10, 11, 3 на соответствующие  $t_{o5(2)}, t_{o5(10)}, t_{o5(11)}, t_{o5(3)}$ . Чтобы определить и записать в одну строку аналитическое выражение структуры светофорного цикла регулирования для модели СОД с КЗ на РП при II методе управлением движением по отдельным направлениям на регулируемом пересечении без "просачивания" нехватает только пяти величин "реальных" численных значений протактов. Для этого, используя рассчитанные выше значения времени  $t_{oi}$  основных тактов в каждой из 5-ти фаз, необходимо любым методом компьютерной графики построить временную диаграмму светофорной сигнализации СОД с КЗ для II метода управления движением по отдельным направлениям с отсечкой и без просачивания ТП, представленную рисунком 4.13.

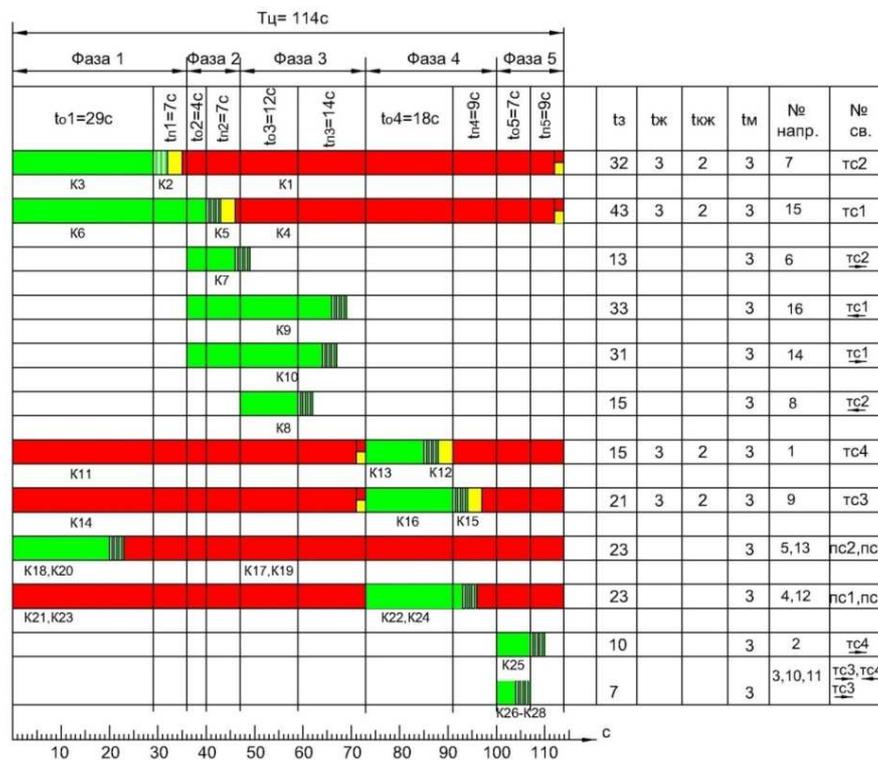


Рисунок 4.13 – Временная диаграмма светофорной сигнализации СОД с КЗ рисунок 4.12 для II метода управления движением по отдельным направлениям с отсечкой без "просачивания" ТП при  $R_{Пл} \leq 0,75$  ед. и  $T_{ц} = 114$  с

На основе графоаналитического метода определения длительности светофорной сигнализации и его элементов можно из верхней строки графика рисунка 4.13 получить данные длительности основных  $t_{oi}$  и промежуточных  $t_{pi}$  тактов для аналитической записи структуры цикла  $T_{ц} = 114$  с. Ее вид такой:  $T_{ц} = 29 + 7 + 4 + 7 + 15 + 11 + 18 + 9 + 7 + 7 = 114$  с. Вид записи с учетом квазифазы 2 изменится и для фазы 1:  $T_{ц} = 29 + 11 + 7 + 15 + 11 + 18 + 9 + 7 + 7 = 114$  с.

Цикл ( $T_{ц} = 114$  с) светофорной сигнализации модели СОД с КЗ для варианта **II** метода управления движением по отдельным направлениям без "просачивания" ТП получился короче на 13 секунд относительно СОД с КЗ для **I** метода пофазного управления светофорной сигнализации без просачивания ТП ( $T_{ц} = 127$  с) рисунка 4.9.

По соображениям обеспечения безопасности [11, 17] движения, т. е. для устранения возможности образования цепных ДТП при разезде очереди на перекрестке, длительности основных тактов, рассчитанные в разделах 4.5 ( $t_{o4(3)} = 5$  с;  $t_{o4(10)} = 5$  с;  $t_{o4(11)} = 6$  с) и 4.6 ( $t_{o5(10)} = 6$  с;  $t_{o5(3)} = 6$  с), необходимо увеличивать до минимально допустимых 7 с. Здесь это сделано на рисунке 4.13 механическим увеличением интервала времени  $t_{oi(j)}$  горения зеленого (до 7 с), что в нижней строке временной диаграммы для № напр. 3, 10, 11 и отражено.

Из четырех, разработанных в главе 4 модификаций моделей СОД с КЗ для моделирования на тренажерном комплексе использованы только первые модификации комбинированного **III** метода управления движением: – модель СОД с КЗ рисунок 4.4, решающей задачу 12) на базе пофазного управления движением с "просачиванием" ( $R_{гн} = 5,7$  ед. и  $T_{ц} = 95$  с) и модель СОД с КЗ рисунок 4.10, решающая задачу 15) при управлении по отдельным направлениям движения с "просачиванием" ( $R_{гн} = 5,7$  ед. и  $T_{ц} = 88$  с). Для краткости будем их называть в главе 5 соответственно СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б*.

### Выводы к разделу 4

В главе 4 проведены комплексные исследования эффективности комбинированного **III**-го метода управления движением в разнообразных моделях СОД с КЗ на РП в вариантах классификационного множества (рисунок 3.1, таблица 3.3) использования традиционных **I**-го и **II**-го методов управления по критериям авторских оценок БД и пропускной способности (ПС).

Для расчета ПС по **III**-му методу управления движением в моделях СОД с КЗ на основе **I**-го и **II**-го или только **II**-го методов управления после оценки БД, используя известный [87, 132, 210] аналитический метод расчета для **I**-го пофазного метода управления движением следует проводить графоаналитическим методом [157, 164] еще и расчет длительности цикла и его элементов с "просачиванием" и без "просачивания" ТП в следующей последовательности:

1. На основе квазичетырехфазной модели СОД с КЗ при комбинированном **III**-м методе управления (на базе **I** и **II** методов управления) с отсечкой и "просачиванием" ТП рисунок 4.10 решена задача 15) с БД –  $R_{\text{Пл}} = 5.7$  ед. и  $T_{\text{ц}} = 88$  с. На основе пятифазной модели СОД с КЗ для **II**-го метода управления движением по отдельным направлениям с отсечкой без "просачивания" ТП рисунок 4.12 решена задача 6) с БД –  $R_{\text{Плmax}} = R_{\text{Пл}} \leq 0,75$  ед. и  $T_{\text{ц}} = 114$  с, а также разработаны технологии (см. подразделы 4.8 и 4.10) для создания их диаграмм светофорной сигнализации;

2. Из временных диаграмм рисунков 4.11 и 4.13 считываются, графоаналитическим методом соответствующие длительности циклов светофорной сигнализации и его элементов с учетом записи квазифаз 2 и фаз 1. Аналитическая запись длительности циклов с четырехфазным управлением имеет вид:  $T_{\text{ц}} = 23 + 10 + 7 + 14 + 7 + 14 + 13 = 88$  с, а с пятифазным управлением такова:  $T_{\text{ц}} = 29 + 11 + 7 + 15 + 11 + 18 + 9 + 7 + 7 = 114$  с.

## ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТПП НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ МЕГАПОЛИСОВ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИХ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НА ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ

### 5.1 Разработка технологии моделирования СОД с КЗ на тренажерном комплексе с помощью универсальных программ

Процесс моделирования двух различных модификаций моделей СОД с КЗ на ЭВМ проведен в отличии от известных приемов [152] на примере использования технологии универсальных программ моделирования СОД с КЗ на тренажерном комплексе с применением дорожного контроллера массового отечественного производства УК4.1М.

Эта технология позволяет обеспечить настройку (привязку) дорожного контроллера на конкретное регулируемое пересечение (РП), в соответствии с разработанной для него модели схемы организации движения с конфликтной загрузкой (СОД с КЗ) и графика светофорной сигнализации. При этом используется универсальная технология "Светофорный пост СВП", оснащенная светофорами представляет собой универсальной инструмент моделирования работоспособности любой СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП по контролю пропускной способности (ПС) при поддержания расчетных значений оценки безопасности движения (БД). Моделирование РП по этой технологии (далее *svr\_vin*) использует: – первые модификации вариантов моделей: – СОД с КЗ типа *a* (рисунок 4.4) и СОД с КЗ типа *б* (рисунок 4.10) с решением для них задач классификации 12) и 15).

Тренажерный комплекс, представленный на рисунке 5.1 способен имитировать четырехполосный Х-образный РП по рисунку 1.5. На тренажере проведены нижеследующие исследования по эффективности методов управления для вариантам моделей СОД с КЗ типа *a* и *б* с разной пропускной способностью, обеспечивающих поддержание одинаковой БД  $R_{\text{н}} = 5,7$  ед.:

1. При моделировании решения задачи 12) в модели СОД с КЗ по **III**-му методу комбинированного управления, созданному на базе объединения задач 2) и 3), использующего только **I**-й метод пофазного управления, необходимо проверить его пропускную способность (ПС) через контроль длительности цикла светофорной сигнализации ( $T_{\text{ц}} = 95 \text{ с}$ ) и его основных элементов;

2. При моделировании задачи 15) в модели СОД с КЗ по **III**-му методу комбинированного управления движением, созданному на базе объединения **I**-го метода пофазного управления движением – задача 2) и **II**-го метода управления движением по отдельным направлениям – задача б), необходимо проверить ПС через контроль длительности цикла светофорной сигнализации ( $T_{\text{ц}} = 88 \text{ с}$ ) и его основных элементов.

Контроль моделирования пропускной способности в каждой модели СОД с КЗ типа *a* и *б* проведен визуальным наблюдением режимов работы светофорной сигнализации и порядка чередования их тактов, длительности сигналов во всех фазах одного цикла регулирования на полунатурном имитаторе РП при использовании инженерного пульта, входящего с дорожным контроллером УК-4.1М в комплект тренажерного комплекса рисунок 5.1.

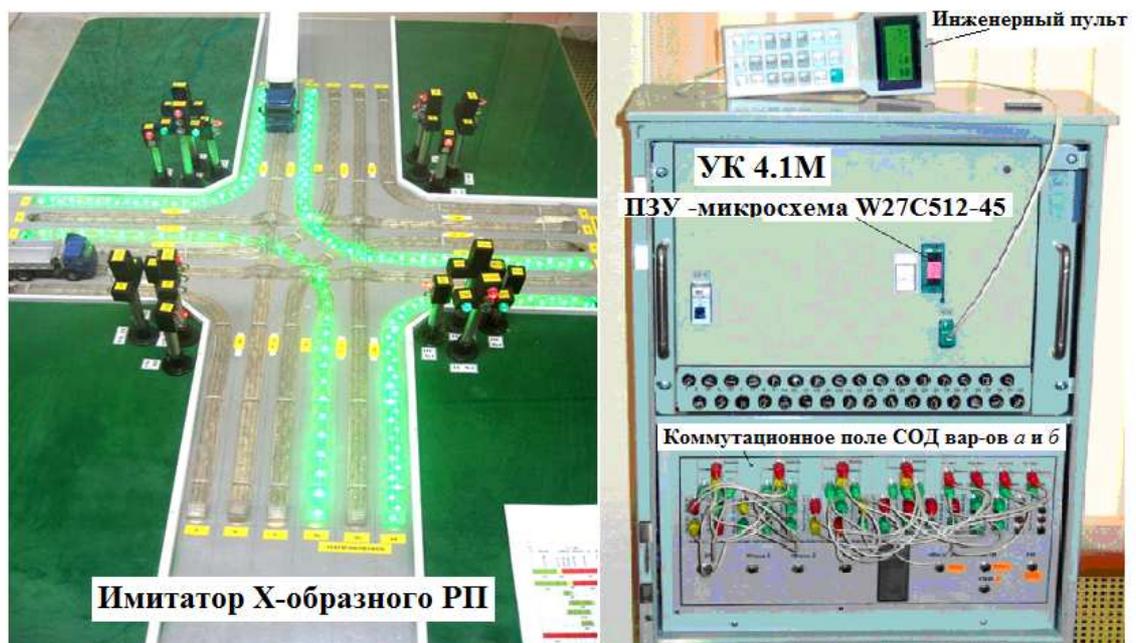


Рисунок 5.1 – Тренажерный комплекс с имитатором X-образного РП, дорожным контроллером УК-4.1М и инженерным пультом

Предварительный процесс взаимодействия выбранных моделей СОД с КЗ типа *a* и *б* с программой "Светофорный пост" осуществляется посредством стандартного оконного интерфейса:

Окно "Параметры" на рисунках 5.2 и 5.3 служит для ввода основных параметров по варианту далее СОД с КЗ *a* и СОД с КЗ *б* соответственно:

В дальнейшем под вариантом СОД с КЗ *a* будем (согласно – наименования рабочего файла: `c:\svr_win\project\АРМ СОД пофаз...`) – понимать СОД для пофазного управления с "просачиванием", а под вариантом СОД с КЗ *б* (согласно – файла: `c:\svr_win\project\АРМ СОД по направл...`) – СОД для управления по отдельным направлениям с "просачиванием".

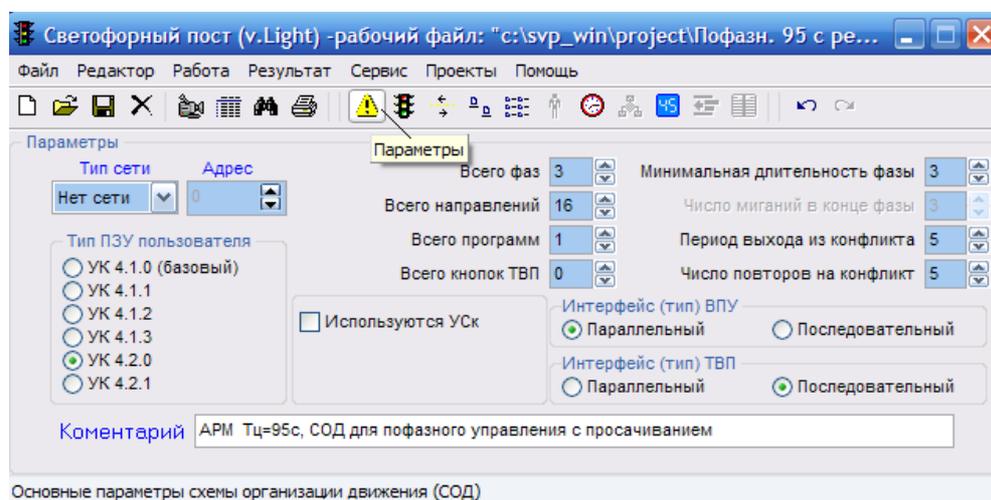


Рисунок 5.2 – Окно "Параметры" по варианту СОД с КЗ *a*

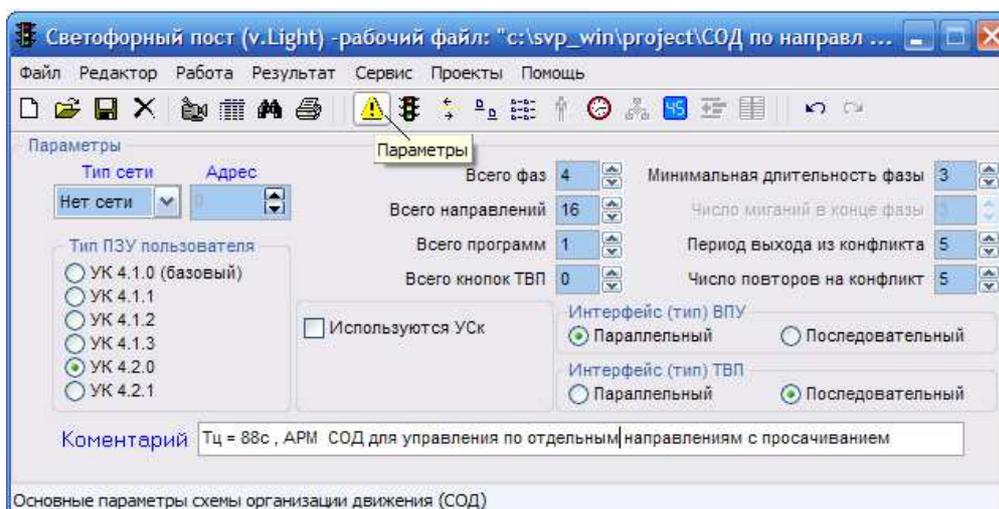


Рисунок 5.3 – Окно "Параметры" по варианту СОД с КЗ *б*

Основными вводимыми параметрами окна «Параметры» являются:

- всего фаз СОД. Диапазон допустимых значений 1 – 16;
- всего направлений СОД. Диапазон допустимых значений 1 – 16;
- всего программ СОД. Диапазон допустимых значений 1 – 16;
- всего кнопок ТВП. Диапазон допустимых значений 1 – 4;
- минимальная длительность фазы – минимальное время, в течение которого фаза находится во включенном состоянии. Данный параметр означает следующее: если включена какая-либо фаза, то переход на новую фазу произойдет только после того, как текущая фаза отработает минимальную длительность. Этот параметр общий для всех фаз и равен 3 с. Диапазон допустимых значений 0 – 255, с;
- число миганий в конце фазы – число миганий ламп зеленого сигнала при переходе с одной фазы на другую. Данный параметр является общим для всех фаз равен 3 с и не доступен для программирования.
- период выхода из конфликта – при обнаружении конфликта «красного» или "зеленого" контроллер переводит светофорный объект соответственно в режим желтого мигания (ЖМ) или отключение светофора (ОС). Конфликт "красного" подразумевает, что произошло перегорание двух красных светофорных секций далее ламп одновременно – основной и дублирующей в рассматриваемом направлении, что чревато аварией, так как водитель считает, что светофор не работает и ориентируется по знакам и правилам дорожного движения. Конфликт "зеленого" еще опасней, так как в этом случае могут гореть зеленые сигналы в конфликтных направлениях, разрешая ДТП. По истечении определенного времени (обычно задают 5 с) – "период выхода из конфликта", контроллер самостоятельно производит периодическую прозвонку силовых цепей и, если конфликт устранен, то контроллер переводит светофорный объект в обычный режим работы. Период выхода из конфликта измеряется в ед. (1 ед. = 0,5 с). Допустимые значения 10 – 255;

- число повторов на конфликт (обычно задают 5с) – количество непрерывно повторяемых конфликтных ситуаций на светофорном объекте, после которых контроллер переходит на режим работы отключенный светофор (ОС) или желтое мигание (ЖМ). Данный параметр задает чувствительность к конфликтным ситуациям. Допустимые значения 1 – 10;

- тип выносного пульта управления (ВПУ) или табло вызова пешеходов (ТВП) бывает – параллельный, когда подключение ВПУ или ТВП к контроллеру УК-4.1.М производится по параллельному интерфейсу и последовательный, когда подключение к контроллеру ВПУ или ТВП идет по последовательному интерфейсу (примеры рисунков 5.2 и 5.3 – ВПУ параллельный, а ТВП последовательный);

- указатель скорости УСк, для контроллера, включенного в автоматизированную систему управления дорожным движением (АСУ ДД);

- сетевые параметры (определяют параметры работы контроллера в сети):

- нет сети (задан на примере), когда контроллер работает локально в системе автоматического управления безопасностью дорожного движения (САУ БДД);

- работа в телемеханической системе координированного управления (ТСКУ);

- СТАРТ – работа в системе СТАРТ;

- ведущий – работа в бесцентровой системе, как ведущий (координатор);

- ведомый – работа в бесцентровой системе, как ведомый.

В бесцентровой системе (упрощенный вариант АСУ ДД, где связь проводная – выход предыдущего контроллера соединен с входом последующего в линейной цепочке магистральной АСУ ДД) – используются контроллеры УК2.6.

В системных АСУ ДД (СТАРТ, ТСКУ и др.) используются УК4.1 (УК4.1М).

Окно "Цвета и установки", выделенное на рисунках 5.4 и 5.5, служит для присвоения каналам (силовым ключам – их 32 шт.) цветов: красного, желтого или зеленого цвета, для рассматриваемых примеров вариантов моделей СОД с КЗ *a* и СОД с КЗ *б* – идентичны.

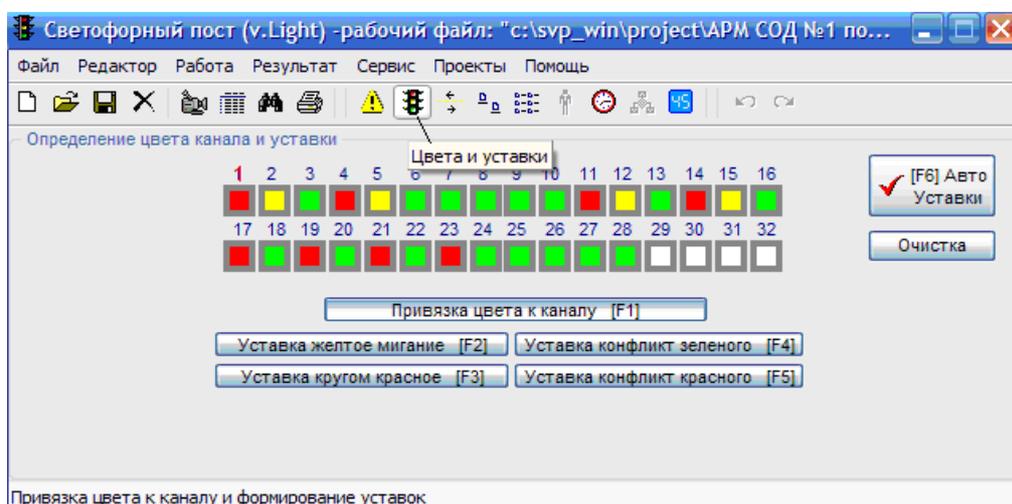


Рисунок 5.4 – Окно "Цвета и установки" по варианту СОД с КЗ *a*

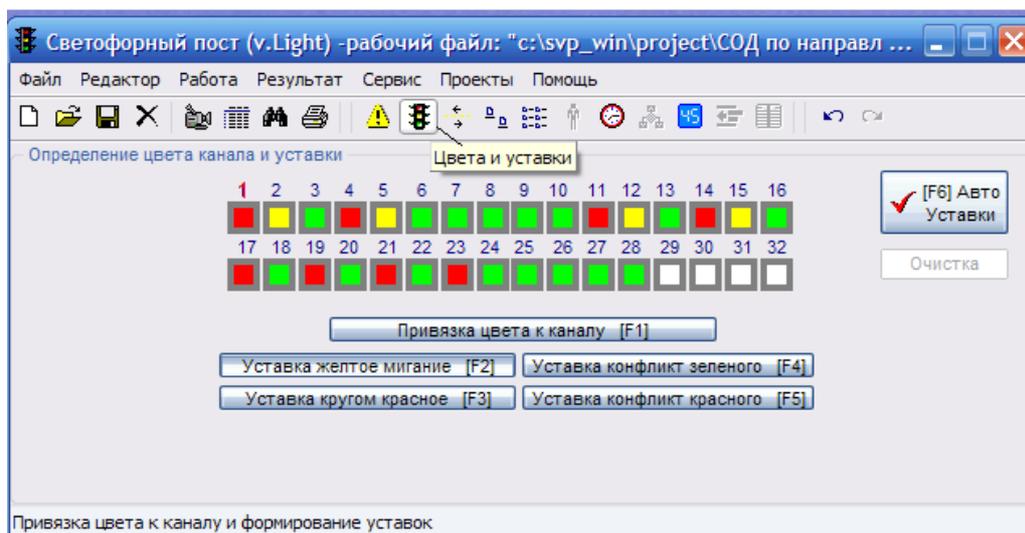
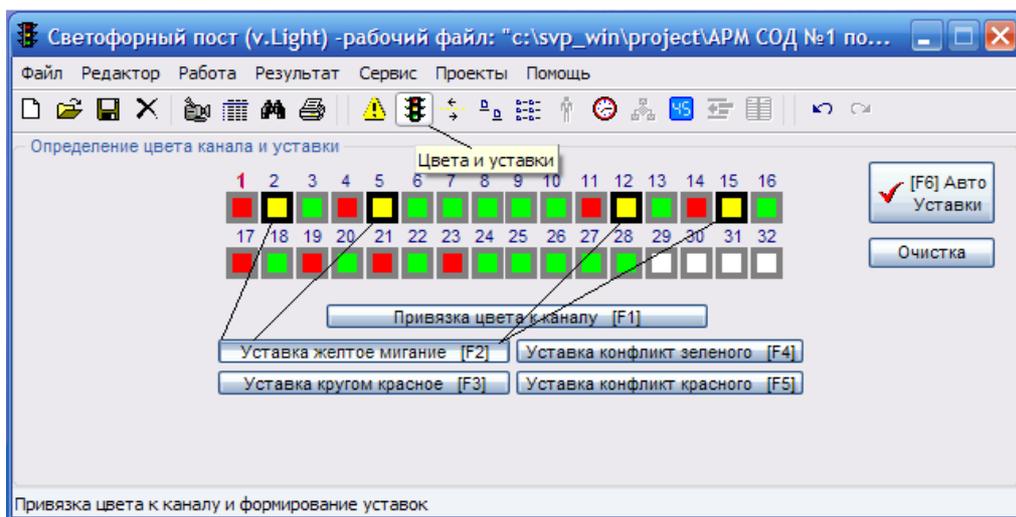


Рисунок 5.5 – Окно "Цвета и установки" по варианту СОД с КЗ *б*

Установка "Желтое мигание" (включена на рисунке 5.6), установка "Кругом красное", установка "Конфликт зеленого" (включена на рисунке 5.7) для рассматриваемых примеров вариантов СОД с КЗ *a* и СОД с КЗ *б* будут идентичны. Установка "Конфликт красного" – если канал включен в установку, то это отображается аналогично рисункам 5.6 и 5.7 с жирным квадратиком в соответствующей позиции, но красного цвета.



Рисуно 5.6 – Установка "Желтое мигание"

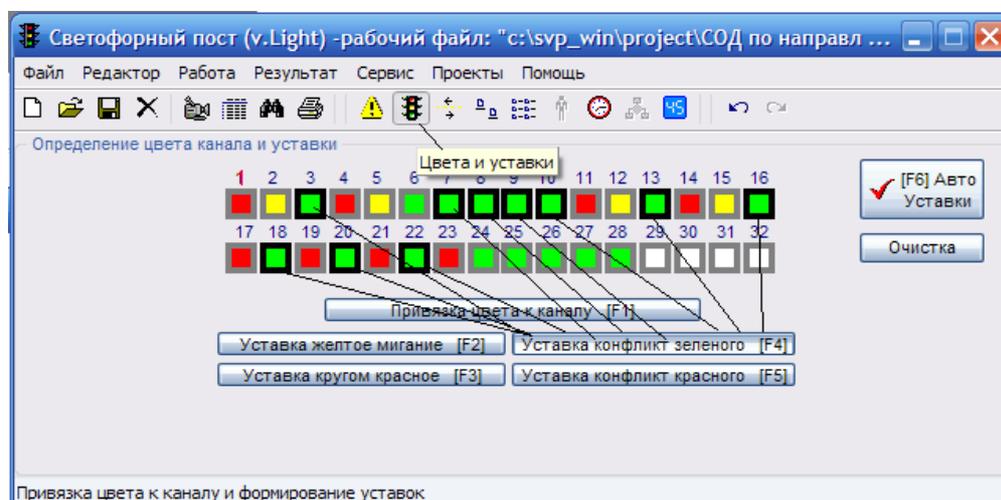


Рисунок 5.7 – Установка "Конфликт зеленого"

Окно "Направления", представленное рисунками 5.8 и 5.9 служит для задания направлений рассматриваемых вариантов СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б*. На них представлены примеры ввода данных для первого и четырнадцатого направлений соответственно. Каждое направление характеризуется 6 параметрами:

- установка "начало фазы" – это установка, которая предшествует включению зеленых каналов по данному направлению, т. е. это установка, где включены красные и желтые каналы данного направления;
- установка "зеленые" – это установка, в которой включены зеленые каналы данного направления, т. е. это установка, разрешающая движение по данному направлению;

- установка "красные" – это установка, в которой включены красные каналы данного направления, т. е. это установка, запрещающая движение по данному направлению;

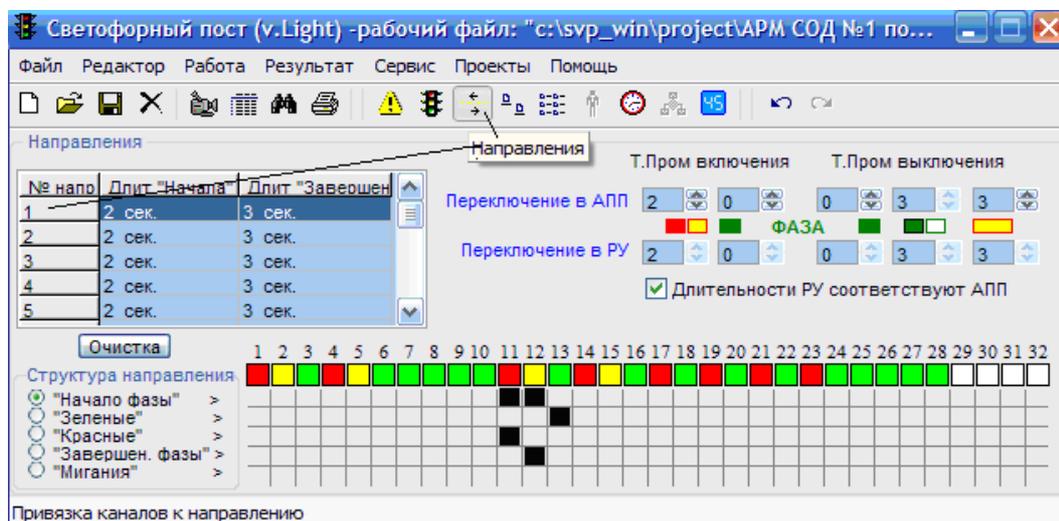


Рисунок 5.8 – Окно "Направления" по варианту СОД с КЗ а

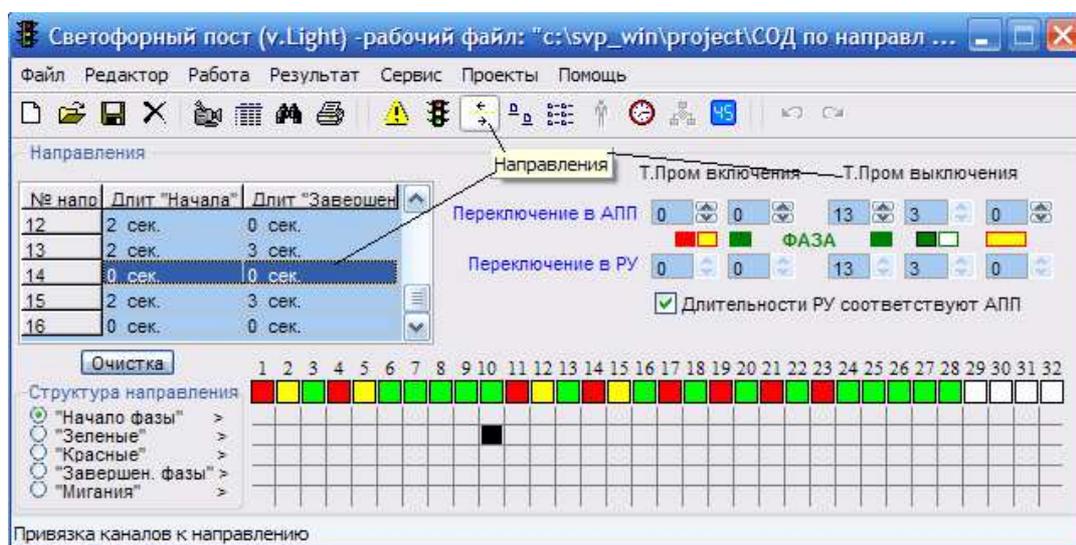


Рисунок 5.9 – Окно "Направления" по варианту СОД с КЗ б

- установка "завершен. фазы" – это установка, которая включается после выключения зеленых каналов по данному направлению, т. е. это установка, где включены желтые каналы данного направления;
- установка «мигания» – в этой установке указываются каналы, которые будут мигать с частотой 2 Гц в течении всего времени включения данного направления;

- длительность "начало фазы";
- длительность "завершение фазы";
- дополнительный зеленый после зеленого (для версии v4.1.1 и выше);
- дополнительный зеленый после красного (для версии v4.1.1 и выше);
- число миганий зеленого (только для версии v4.1.1 и выше).

Для лучшего восприятия, описанных выше постулатов формирования сложных промежуточных тактов, на рисунке 5.10 представлен пример возможной организации структуры промтакта в общем виде с версией постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) – пользователя v4.1.1. Последняя может использоваться в примере варианта СОД с КЗ б при работе в окне "Направления" рисунок 5.9 с направлением – 14.

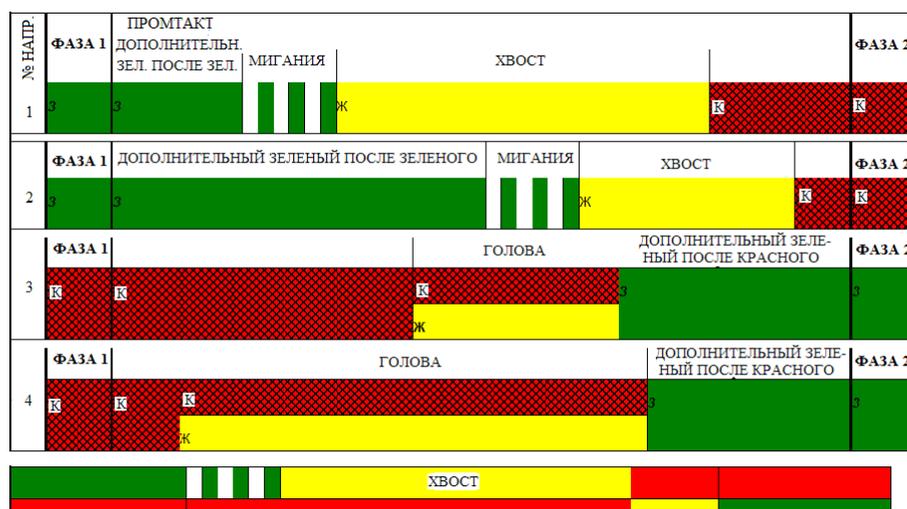


Рисунок 5.10 – Структура промтакта версия ПЗУ – пользователя v4.1.1

В работе при решении любых задач из руководства пользователя на светофорный пост СВП (SVP) от разработчика УК4.1 использованы нижеследующие основные терминологические понятия в регламентах разработки моделей СОД с КЗ для РП и моделировании на тренажерном комплексе:

1. *Направление* – это движение транспорта, разрешенное одним зелёным сигналом светофорной секции (основной, дополнительной или пешеходной).
2. *Фаза* – это набор разрешённых сигналов и промежуточных тактов в данном направлении и промежутке времени. Этот промежуток времени является длительностью фазы.

3. *Промежуточный такт* (ПТ) – это корректный интервал времени, необходимый для освобождения пересечения (перекрёстка) от транспортных средств (ТС), въехавших на перекрёсток при смене фаз. ПТ (промтакт) является соединительным звеном между завершающейся и начинающейся фазой. ПТ имеет сложную структуру. В общем случае ПТ для завершающейся фазы может иметь вид – дополнительный зелёный; мигающий зелёный; жёлтый; красный, а для начинающейся фазы – красный; красный с жёлтым; дополнительный зелёный согласно рисунка 5.10. В предельном, простом случае – ПТ для завершающейся фазы это только "жёлтый" (2 – 3 с), а для начинающейся фазы только "красный" с "жёлтым" (1 – 2 с).

4. Тренажерный комплекс рисунок 5.1 это вариант полунатурного иммитатора многополосного РП с рисунком 1.5. Он используется для разработки и моделирования СОД с КЗ на Х- и Т-образных РП с заданном уровнем требований к безопасности движения и целесообразной пропускной способностью на альтернативной основе, выбранных из таблицы 3.3 и рисунка 3.1. Например, при решении задач 12) и 15) кроме обеспечения главного показателя уровня БД тренажер дает возможность оптимального выбора наиболее эффективной модели СОД с КЗ по пропускной способности, интервалам терпеливого ожидания водителей и пешеходов, а также по минимуму материальных затрат.

5. Структура цикла регулирования в модели СОД с КЗ, это полученные в результате собственных инженерных расчетов длительность цикла и его элементов, характеризующая пропускную способность РП .

6. Временная диаграмма цикла работы сигнальной программы модели СОД с КЗ на РП, это начерченная в любом графическом редакторе циклическая последовательность светофорной сигнализации.

7. Программа – это цикл повторяющихся друг за другом тактов (фаз). Цикл может состоять из двух и более фаз.

8. Режим – это разновидность работы дорожного контроллера:

- автоматический режим, когда управление дорожным контроллером на РП идет от автоматического переключателя программ (АПП) в САУ БДД, или от центрального пункта управления (ЦПУ);
- диспетчерский режим – это ручное управление (РУ);
- конфликтный режим это состояние на РП, при возникновении которого – происходит переключение дорожного контроллера в желтое мигание – ЖМ или в ОС – отключение светофора.

Суточный график – это работа контроллера в календарной автоматике. Он программируется через привязку окно "Фазы и зеленые улицы" согласно рисунков 5.11 и 5.12, где каждая фаза характеризуется, для рассматриваемых вариантов СОД, следующими параметрами:

- номер фазы № 1 – для рисунка 5.11 и № 4 – для рисунка 5.12;
- длительность промтакта (промежуточного такта) после фазы;
- набор направлений, из которых состоит фаза (Фаза 1 состоит из 5, 7, 13, 15 направлений, а Фаза 4 – 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12).

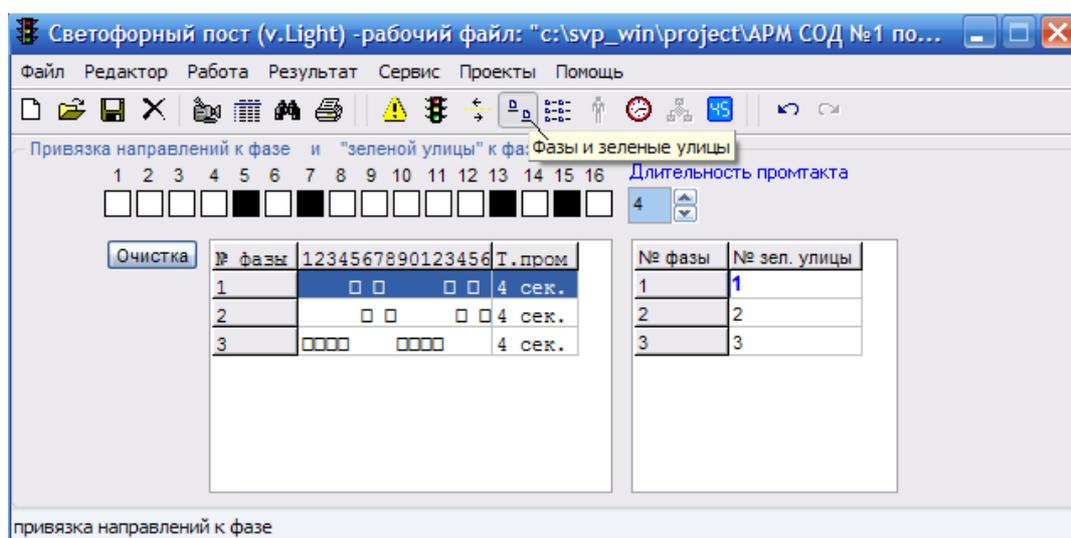


Рисунок 5.11 – Окно "Фазы и зеленые улицы" по варианту СОД с КЗ а

Фаза может состоять из одного и более направлений. Если направление входит в состав фазы, то это значит, что в данной фазе включены зеленые каналы данного направления (установка "зеленые"). Если направление не входит в

состав фазы, то в данной фазе включены красные каналы данного направления (установка "красные").

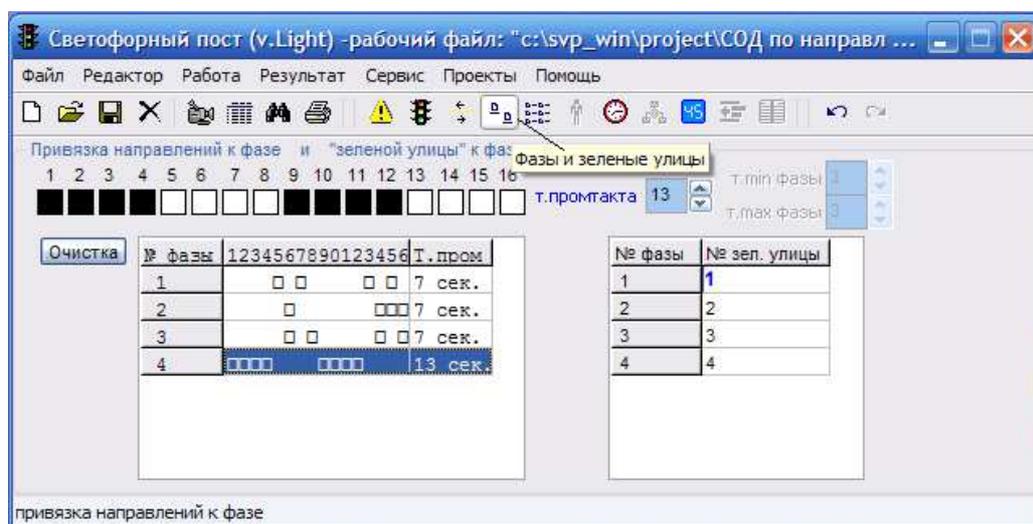


Рисунок 5.12 – Окно "Фазы и зеленые улицы" по варианту СОД с КЗ б

Каждой зеленой улице должна соответствовать какая-либо фаза. Номер зеленой улицы может и не совпадать с номером фазы. Число зеленых улиц не может превышать число фаз. Колонка "№ Зеленой улицы" – недоступна для редактирования.

Окно "Программы" (рисунки 5.13 и 5.14) служит для формирования программ из имеющихся фаз, рассматриваемых вариантов моделей СОД с КЗ.

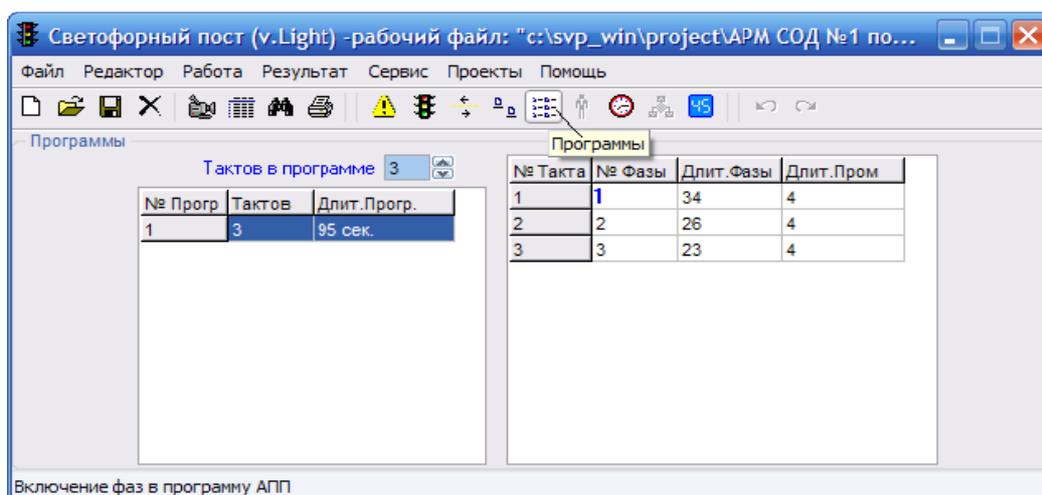


Рисунок 5.13 – Окно "Программы" по варианту СОД с КЗ а

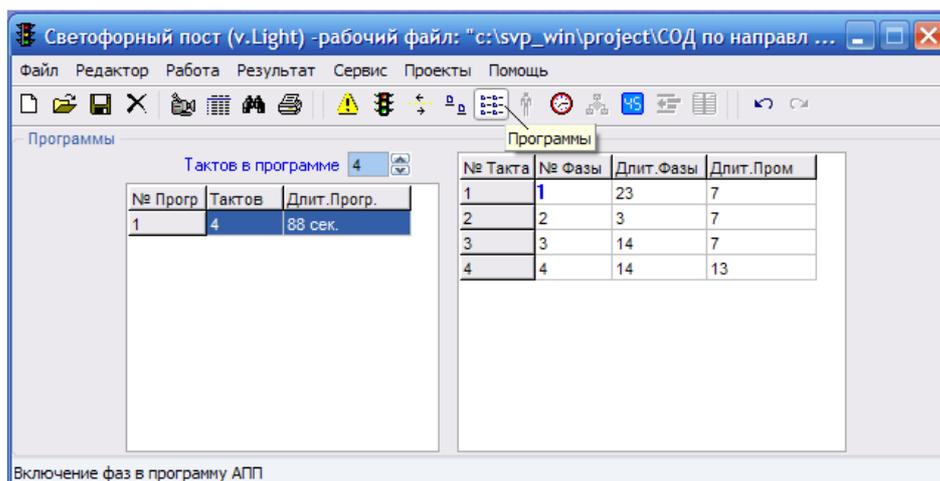


Рисунок 5.14 – Окно "Программы" по варианту СОД с КЗ б

Тактов в программе – число тактов в программе, выбранные в списке.

Программы – список имеющихся программ.

"Такты программы", непосредственно формируется программа из имеющихся фаз. Данная таблица состоит из следующих колонок:

- "№ Такта", недоступен для редактирования.
- "№ Фазы", номер фазы может и не совпадать с номером такта.
- "Длительность фазы", может принимать значения 0 – 195 ед.
- "Длительность промтакта", может принимать значения 0 – 60 ед.

Окно "Табло вызова пешехода" (рисунок 5.15) служит для программирования кнопок табло вызова пешехода (ТВП).

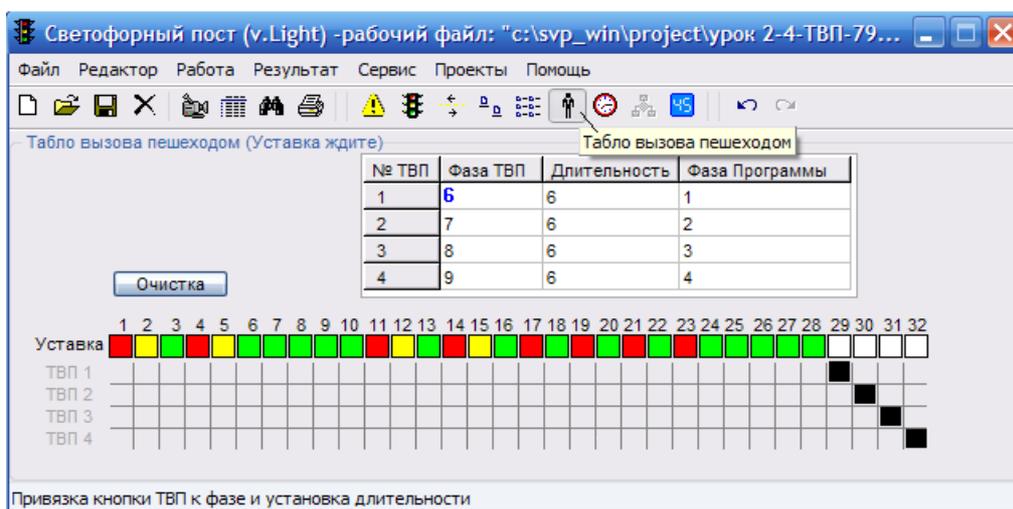


Рисунок 5.15 – Окно "Табло вызова пешехода"

Приведенный рисунок 5.15 не соответствует ни варианту СОД с КЗ *а*, ни варианту СОД с КЗ *б*, так как в рассматриваемых вариантах в окне "Параметры" (рисунок 5.2 и рисунок 5.3) в установке "Всего кнопок ТВП" проставлена цифра 0, т. е. ТВП – нет. Поэтому в качестве наглядного примера взят рисунок 5.15 с другой СОД с КЗ, где можно запрограммировать использование 4-х кнопок ТВП.

Каждая кнопка ТВП характеризуется 3 параметрами:

- номер фазы – номер фазы ТВП для указанной кнопки;
- длительность фазы ТВП – допустимые значения 0 – 255 ед.;
- установка "ждите" – переход в режим формирования установки "ждите".

Данная установка включается при нажатии пешеходом на кнопку ТВП.

Окно "Суточный график" (рисунок 5.16) по вариантам *а* и *б* служит для формирования суточного графика – работа на основе имеющихся программ и состояний: отключенный светофор (ОС), желтое мигание (ЖМ), кругом красное (КК) и для задания режима работы контроллера в момент включения.

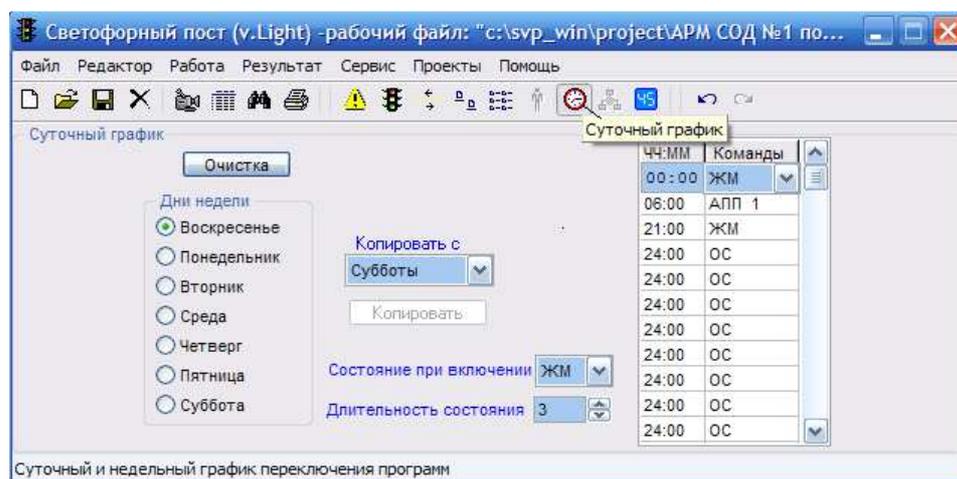


Рисунок 5.16 – Окно "Суточный график" вариантов СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б*

Представленный рисунок 5.16 объединен для вариантов СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б*, так как в простейшем случае имеет одинаковые программы АПП1 для всех дней недели.

"Состояние при включении" – задает одно из возможных состояний контроллера при включении: ОС, ЖМ, КК, АПП (в нашем случае – ЖМ).

"Длительность состояния" – длительность состояния включения в секундах (в примере задана – 3 с). По окончании данной длительности контроллер переходит в состояние АПП1.

"Суточный график" – служит для формирования суточного графика работа на основе имеющихся программ и состояний: отключенный светофор (ОС), желтое мигание (ЖМ), кругом красное (КК).

Суточный график формируется для каждого дня недели отдельно.

Всего в течение дня возможно 16 переключений с точностью до минуты.

Окно "Координатор" (рисунок 5.17) служит для формирования планов координации ведущего контроллера.

Рисунок 5.17 приведен в качестве наглядного примера с другой моделью СОД с КЗ, для которой в окне "Параметры" запрограммировано использование "типа сети" (в окне – "нет сети" рисунок 5.2) – Координатор.

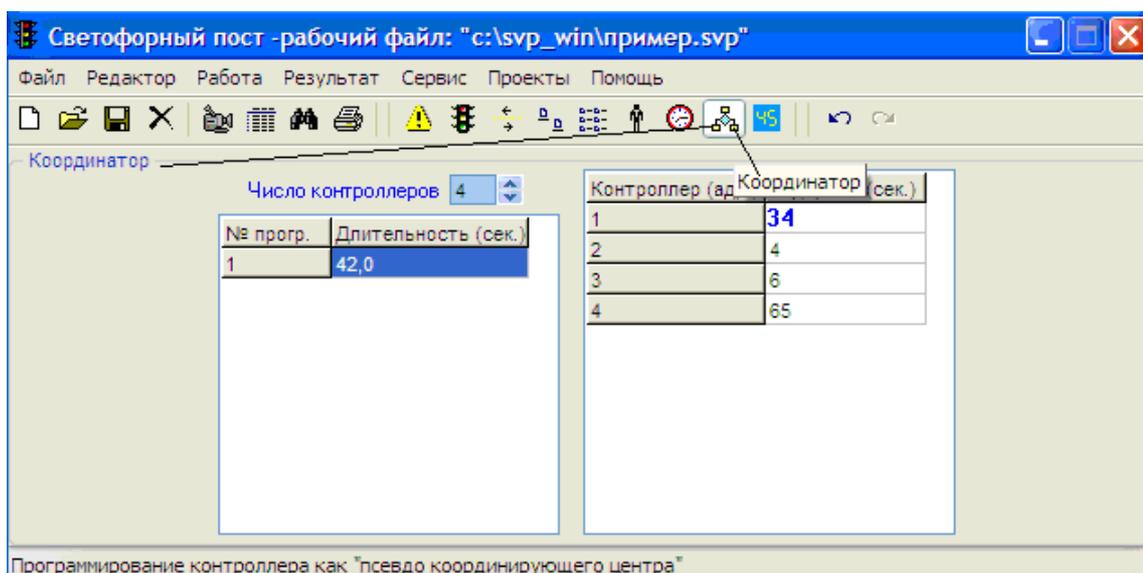


Рисунок 5.17 – Окно "Координатор"

Число контроллеров, участвующих в координировании, может принимать значения 1 – 32.

Таблица "План координации" состоит из следующих колонок:

- "№ контроллера", который недоступен для редактирования;
- "Длительность включения", может принимать значения 0 – 255 с.

Каждая программа АПП должна иметь свой план координации.

Окно «Имитация» (рисунки 5.18 и 5.19) служит для просмотра и имитации (моделирования) работы контроллера по моделям СОД с КЗ для вариантов СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б*.

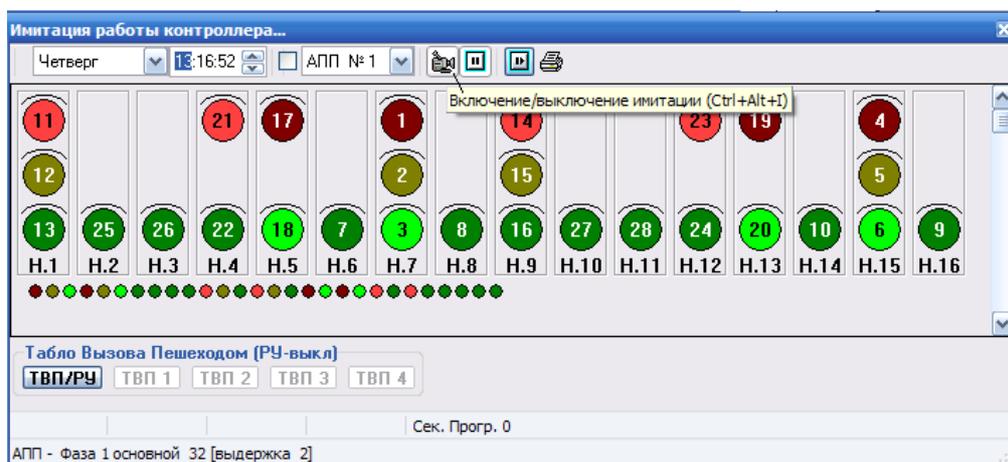


Рисунок 5.18 – Окно "Имитация" по варианту СОД с КЗ *а*

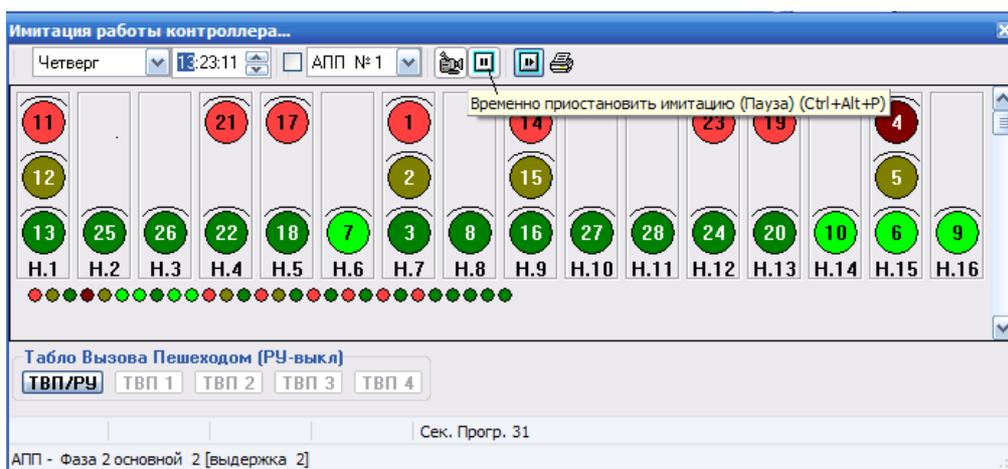


Рисунок 5.19 – Окно "Имитация" по варианту СОД с КЗ *б*

Во время активизации окна, каналы отображаются в виде круглых ламп (имитируют светофорные секции по № 1 – 32), которые автоматически группируются по направлениям с указанными номерами направления Н.1 – Н.16. Лампы окрашиваются в соответствующие цвета и имеют номера соответствующих каналов. Например, на рисунке 5.19: – Н.6 это направление – 6, канала – 7, где зеленый сигнал включен и т. д.

Имитация работы контроллера начинается после нажатия кнопки расположенной на панели управления или комбинацией клавиш –  $\text{ё}[\text{Ctrl}] + [\text{Alt}] [\text{I}]$ .

Щелчок левой кнопки "мыши", когда указатель находится над конкретным каналом («лампой»), – циклически переключает состояние канала в следующей последовательности: Обрыв > Замыкание > Нормальное состояние.

Пример включения режима ручного управления представлен на рисунке 5.20 "Вызов фазы № 2" по варианту СОД с КЗ б.

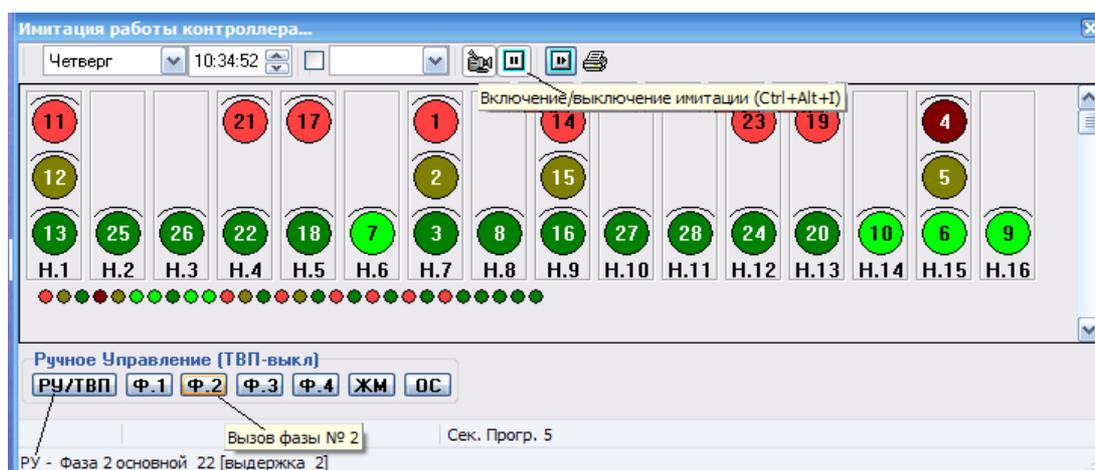


Рисунок 5.20 – "Вызов фазы №2" по варианту СОД с КЗ б

После завершения имитации (моделирования конкретного СОД рисунков 5.18, 5.19 по варианту СОД с КЗ а или СОД с КЗ б – запускают окно «Компиляция» рисунки 5.21 и 5.22 по созданным проектным моделям СОД с КЗ в вариантах СОД с КЗ а и СОД с КЗ б для преобразования файлов моделей СОД с КЗ из формата базы данных (DBF) в файлы двоичного формата (HEX).

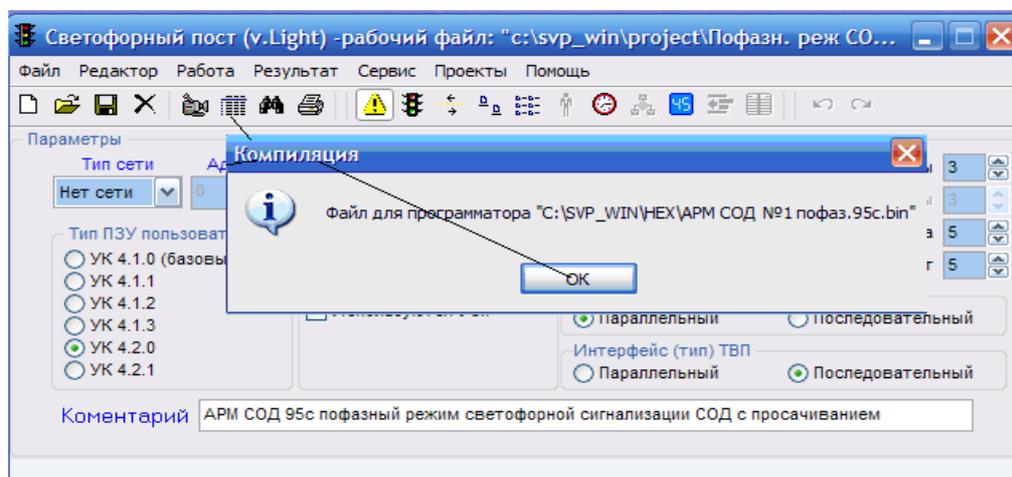


Рисунок 5.21 – Окно "Компиляция" по варианту СОД с КЗ а

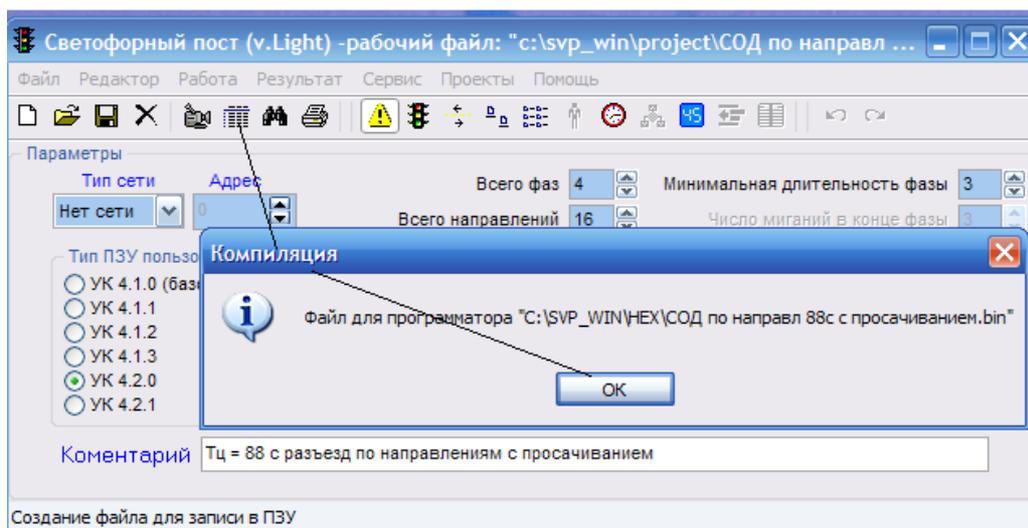


Рисунок 5.22 – Окно "Компиляция" по варианту СОД с КЗ б

Компилированные файлы вариантов СОД с КЗ а и СОД с КЗ б используется для программирования ПЗУ (постоянного запоминающего устройства) контроллера УК.1М, например, с помощью программатора MEMprog рисунок 5.23 или Notebook.



Рисунок 5.23 – Программатор MEMprog

Программатором MEMprog (рисунок 5.23) через компьютерную программу PG4UW – universal control program for Elnec programmers. 2.11a/02.2005, под управлением которой он работает, производится поочередная запись моделей СОД с КЗ (варианта СОД с КЗ а или СОД с КЗ б) в различные микросхемы W27C512-45. Эти микросхемы маркируют и, вставляя их по очереди в "кроватьку" (с нулевым усилием прижатия), вынесенную на лицевую панель (ПЗУ – микросхема W27C512-45) дорожного контроллера УК-4.1М производят моделирование СОД с КЗ а с пофазным управлением движения или СОД с КЗ б с управлением движения по отдельным направлениям.

Дорожный контроллер тренажерного комплекса рисунок 5.1 оснащен разработанным коммутационным полем, представленным на рисунке 5.24 для набора моделей СОД с КЗ в вариантах СОД с КЗ *а* или СОД с КЗ *б*. Каждому гнезду этого коммутационного поля можно сделать практическую привязку цветности канала контроллера, то есть цветности светофорных головок для регулируемого пересечения тренажерного комплекса.

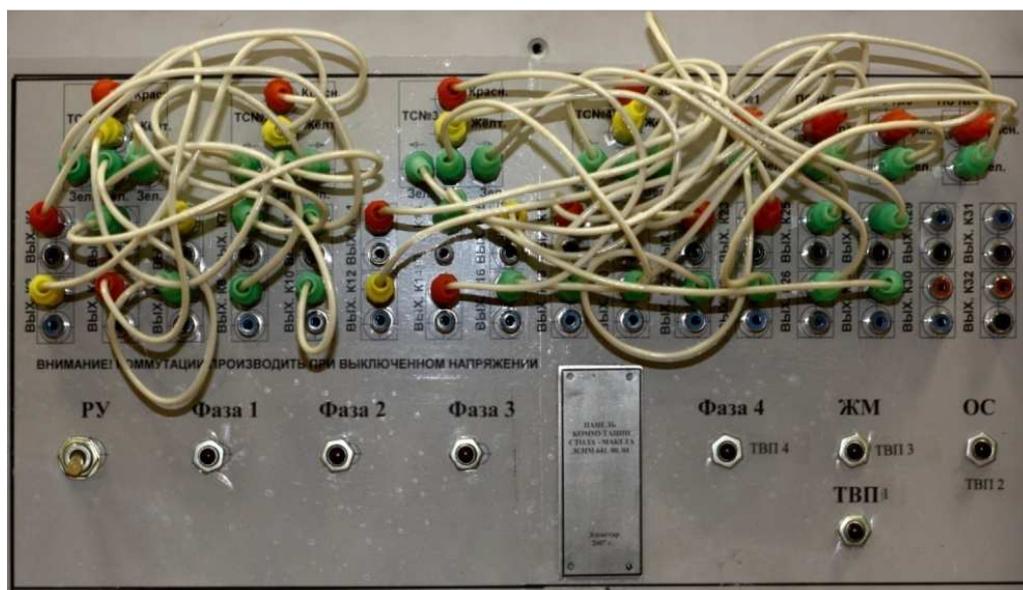


Рисунок 5.24 – Пример разработанного коммутационного поля для набора моделей СОД с КЗ в вариантах СОД с КЗ *а* или СОД с КЗ *б*

В случае разработки моделей СОД с КЗ отличающихся от рассмотренных вариантов СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б* (например, по нумерации направлений, размещению, видам светофоров и т. д.), то есть, не привязанных к плану Х-образного регулируемого перекрестка тренажерного комплекса рисунка 1.5, коммутационное поле будет другим. Его надо будет перекоммутировать по другому.

Соединительно-разъединительные манипуляции с каналами (вых. К1 – К32) и светофорными головками тренажерного комплекса (тс1 – тс4, пс1 – пс4) на коммутационном поле лицевой панели контроллера УК4.1М (рисунки 5.1, 5.24) производят проводниками, но при отключении контроллера от сети питания.

Практическая проверка пропускной способности РП, разработанных моделей СОД с КЗ для вариантов СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б*, производится на тренажерном комплексе визуальной проверкой циклической очередности включений необходимых длительностей фаз и тактов светофорной сигнализации. Это и является заключительным этапом решения задачи, экспериментальной оценки работоспособности моделей СОД с КЗ регулируемых пересечений на тренажерном комплексе.

## **5.2 Разработка методики экспериментальной оценки эффективности СОД с КЗ регулируемых пересечений на тренажерном комплексе**

Оценка работоспособности моделей СОД с КЗ на регулируемом пересечении (перекрестке) тренажерного комплекса [144] производится экспериментально после установки запрограммированной микросхемы ПЗУ (по «ключу») в "кроватьку" контроллера УК-4.1М тренажерного комплекса (рисунок 5.1) и включения тумблера питания этого контроллера.

При включении контроллера сразу же начинается режим трехразового желтого мигания ЖМ основных транспортных секций на тренажерном комплексе. С включением дорожного контроллера, состояние силовых ключей принимает произвольное значение (некоторые включены, некоторые выключены). Поэтому сразу после включения дорожный контроллер (УК4.1М) выключает все силовые ключи, что визуально может наблюдаться, как кратковременный проблеск секций одиночных светодиодов, имитирующих светофоры.

Дорожный контроллер начинает отработку светофорной сигнализации по программе модификации модели СОД с КЗ для варианта СОД с КЗ *а* или СОД с КЗ *б* с трехфазным – или с четырехфазным управлением с "просачиванием" (см. рисунок 4.6 с  $T_{\text{ц}} = 95 \text{ с}$  или рис. 4.11 с  $T_{\text{ц}} = 88 \text{ с}$  – оба с оценкой БД  $R_{\text{тн}} = 5,7 \text{ ед}$ ). Светофорная сигнализация в первой фазе для обоих вариантов СОД с КЗ *а* и СОД с КЗ *б* внешне одинакова, поэтому она приведена одним однотипным видом ри-

сунок 5.25 регулируемого пересечения (рядом стоящий контроллер тренажерного комплекса на рисунках 5.25 и 5.26 не показан).

#### Вертикальная ул.

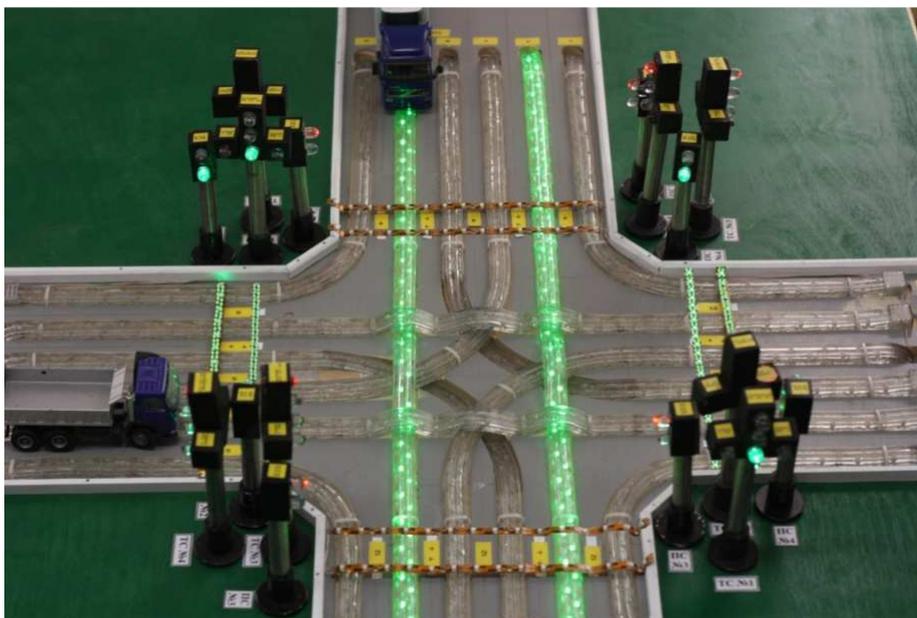


Рисунок 5.25 – Первая фаза для вариантов СОД с КЗ а и СОД с КЗ б

При одновременном рассмотрении рисунка 4.4 и рисунка 4.10, на которых изображены соответственно: – трехфазная СОД с КЗ а при пофазном управлении с "просачиванием" и квазичетырехфазная СОД с КЗ б при управлении по отдельным направлениям с "просачиванием" – следует, что в первой фазе осуществляется пропуск потоков прямого направления – 7, 15 следующих по Вертикальной ул. и пешеходных потоков – 5, 13, пересекающих Горизонтальную ул. На тренажерном комплексе регулируемого пересечения рисунка 5.25 эти направления продемонстрированы светящимися зелеными полосами движения и горением основных зеленых сигналов на транспортных светофорах тс1пл, тс2пл и пешеходных светофорах пс2 и пс4 согласно их нумерации на рисунке 1.5.

На светофорах конфликтующих направлений – тс3пл, тс4пл и пс4, пс12 горят сигналы красного цвета.

Режимы светофорной сигнализации во второй фазе продемонстрированы

на рисунке 5.26 – для СОД с КЗ *б* при управлении по отдельным направлениям и на рисунке 5.27 – для СОД с КЗ *а* при пофазном управлении.



Рисунок 5.26 – Вторая фаза для СОД с КЗ *б*

Вторая фаза СОД с КЗ *б* при управлении по отдельным направлениям (рисунок 5.26) демонстрирует, как по вертикальной ул. прервалось прямое движение направления 7 (горит красная секция тс2пл), включились правая и левая секции (тс1пл) для направлений 16, 14, продолжает движение транспортный поток направления 15 (горит зеленая секция тс1пл) и включилась правая секция (тс2пл) для направления 6 (см. рисунок 4.10). При этом у всех пешеходных светофоров пс1 – пс4 горят красные секции.

Вторая фаза СОД с КЗ *а* при пофазном управлении (рисунок 5.27) демонстрирует пропуск потоков в направлениях 8, 16 и 6, 14, которые поворачивают налево и направо с Вертикальной ул. на Горизонтальную ул.



Рисунок 5.27 – Вторая фаза для СОД с КЗ варианта СОД с КЗ *а*

На тренажерном комплексе регулируемого пересечения эти направления показаны светящимися зелеными полосками и горением зеленых сигналов на дополнительных секциях транспортных светофоров тс1пл, тс2пл. При этом на всех пешеходных светофорах пс1 – пс4, а также на светофорах тс3пл, тс4пл горят сигналы красного цвета, что и демонстрирует горящее красным цветом (цифра 30 и пешеход) табло времени обратного отсчета для ожидания пешеходам.

Временные интервалы горения описанных фаз на рисунках 5.26 и 5.27 необходимо отслеживать по индикации на инженерном пульте рисунка 5.1, они должны соответствовать временным длительностям индикации на графиках диаграмм рисунков 4.11 и 4.6 соответственно. Если длительность фаз и пром-тактов на инженерном пульте соответствуют указанным на графиках диаграмм, а так же последовательность переключений с фазы на фазу происходит корректно, то проверка работоспособности считается законченной и с положительным результатом.

По аналогии с вышеизложенным производится визуальная проверка работоспособности в третьей и четвертой фазах по рисунку 5.28 (типовой для СОД с КЗ варианта *а* и *б*) и в третьей фазе по рисунку 5.29 (для СОД варианта *б*).

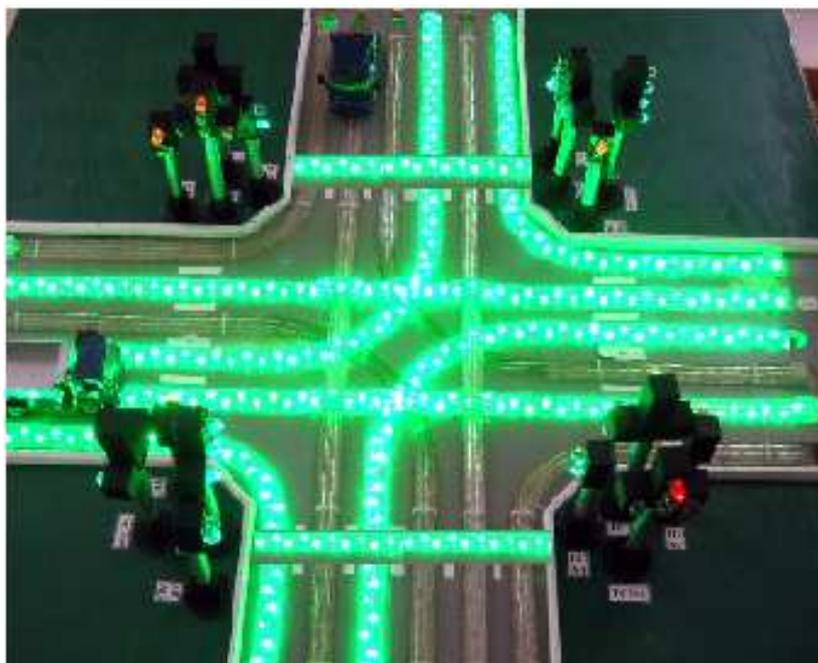


Рисунок 5.28 – Третья и четвертая фазы для СОД с КЗ вариантов *а* и *б*

Причем, процесс демонстрации СОД с КЗ варианта *a* и СОД с КЗ варианта *б* требует поочередной переустановки в "кроватку" ПЗУ рисунок 5.1 микросхемы W27C512-45 с записанной в нее конкретной программой СОД с КЗ по варианту *a* или *б* и перезапуска контроллера.

В третьей и четвертой фазах по рисунку 5.28 продемонстрированы традиционные маневры разъездов (см. рисунки 4.4 и 4.10). Где для левых и правых транспортных потоков 3, 11 и 2, 10 надо просачиваться через прямые транспортные потоки направлений 1, 9, движущихся по Горизонтальной улице и далее предстоит пересекать, приоритетные по правилам дорожного движения пешеходные потоки 4, 12, пересекающие Вертикальную улицу.

На тренажерном комплексе регулируемого пересечения эти направления показаны светящимися зелеными полосками с горящими зелеными сигналами секций транспортных светофоров тс4, тс3 (они предположительно должны быть без дополнительных секций согласно алгоритму работы рисунок 1.6) и зеленых секций пешеходных светофоров пс1 и пс3. При этом на светофорах тс1пл, тс2пл, пс2 и пс4 при правильной работе будут гореть сигналы красного цвета.



Рисунок 5.29 – Третья фаза для СОД с КЗ варианта СОД с КЗ *б*

В третьей фазе рисунок 5.29 согласно СОД с КЗ *б* при управлении движением по отдельным направлениям с "просачиванием" (см. рисунки 4.10 и 4.11)

проиллюстрирован фрагмент, где после прерывания движения по прямому направлению 15 (горит красная основная секция тс1пл) по Вертикальной ул., включается левая секция тс2л с дублером по направлению 8. При этом продолжают движение транспортные потоки по направлениям 6, 14, 16, когда горят зеленые на всех дополнительных секциях тс1пл, тс2пл. По внешнему виду рисунки 5.29 и 5.27 одинаковы, но длительности основных элементов светофорной сигнализации у них разная. У всех пешеходных светофоров пс1 – пс4 в третьей фазе СОД с КЗ типа *б* и во второй фазе СОД с КЗ типа *а* горят красные секции.

Временные интервалы горения описанных фаз и переключений (по рисункам 5.28 и 5.29) так же необходимо отслеживать по индикации на инженерном пульте рисунок 5.1. Они должны соответствовать временным диаграммам рисунков 4.6 и 4.11 соответственно.

Практически общая проверка для варианта СОД с КЗ *а* в 3-х фазах считается законченной. Для варианта СОД с КЗ *б* необходима еще проверка работоспособности в четвертой фазе, которая аналогична третьей фазе варианта СОД с КЗ *а* (рисунок 5.28) с допустимым уровнем требований к безопасности движения  $R_{\text{тп}}=5,7_{\text{ед}}$ . Оба типа СОД с КЗ осуществляют пропуск транспортных и пешеходных потоков с частичным конфликтом. Однако временные интервалы их светофорной сигнализации различны (см рисунки 4.6 и 4.11). Поэтому требуется их проверять на соответствие правильности функционирования в цикле соответствующих фаз по временным интервалам индикации.

## Выводы по главе 5

В главе 5 на полунатуральном тренажерном комплексе трехполосного X-образного регулируемого пересечения (РП) с использованием программы "Светофорный пост" проведены моделирование и экспериментальные оценки правильности функционирования двух характерных вариантов в разных модификациях. А именно: – для комбинированного III-го метода управления движением в моделях СОД с КЗ, согласно классификации рисунка 3.1 и таблицы 3.3, которые обеспечивают равные оценки промежуточного уровня требований к безопасности движения (ПрУТБД) и позволяют заключить:

1. Первый вариант, на базе модели СОД с КЗ рисунок 4.4 решает задачу 12) на базе пофазного I-го метода управления движением ( $R_{\text{П}} = 5,7 \text{ ед}$  и  $T_{\text{ц}} = 95 \text{ с}$ ), а второй вариант основанный на модели СОД с КЗ рисунок 4.10, решает задачу 15) на базе II-го метода управления по отдельным направлениям движения ( $R_{\text{П}} = 5,7 \text{ ед}$  и  $T_{\text{ц}} = 88 \text{ с}$ ). Оба варианта разрешают "просачивание" в потоках "транспорт-транспорт" и "транспорт-пешеход" в последних фазах 3-й и 4-й для своих циклов светофорного регулирования, обеспечивая равную оценку УТБД  $R_{\text{П}} = 5,7 \text{ ед}$ ;

2. Визуальный контроль числа фаз по рисункам 5.25 – 5.29, длительности фаз и циклов на инженерном пульте рисунок 5.1 демонстрирует правильную последовательность работоспособности первого варианта для трехфазного цикла регулирования, который имеет  $T_{\text{ц}} = 95 \text{ с}$ , а также для второго варианта с четырехфазным циклом –  $T_{\text{ц}} = 88 \text{ с}$ . Следовательно, второй вариант модели СОД с КЗ более эффективен по пропускной способности и должен быть рекомендован "заказчику" к внедрению на альтернативной основе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По концепции демографической политики Российской Федерации одним из главных ее направлений на период до 2025 года являются стабилизация численности населения к 2015 г. на уровне 142 – 143 млн и снижение, прежде всего, высокой смертности мужчин в трудоспособном возрасте от внешних причин, в том числе, в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [76].

Согласно прогнозам российских экспертов [8] – автомобилизация в России к 2020 гг. достигнет уровня 450 – 500 транспортных средств на 1 000 жителей. Это приведет к неизбежному росту уже существующей сегодня перегруженности всех видов одноуровневых регулируемых и нерегулируемых светофорами пересечений (перекрестков) и повысит вероятность гибели людей на них – особенно в мегаполисах и городах Российской Федерации.

В работе исследована и научно обоснована актуальная для России хозяйственная проблема разработки и реализации методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов, включая и чрезвычайные события [138, 156]. Создание такой методологии заключается в нахождении баланса транспортной эффективности между ее основными оценками уровня требований к безопасности движения (УТБД) и пропускной способности на одноуровневых регулируемых пересечениях (РП). Малозатратные и быстрореализуемые решения в таком балансе, можно достичь при разработке инновационных методов светофорного управления в моделях схем организации движения (СОД), с цифровой оценкой их УТБД по действующим нормативам через конфликтную загрузку (КЗ) регулируемых пересечений. Такой прием дает возможность реализовать на РП модели СОД с КЗ при любых, необходимых заказчику уровнях УТБД вплоть до уровня концепции "нулевой смертности" на пересечениях.

Сегодня правовые основы обеспечения безопасности дорожного движения на всей территории Российской Федерации определены [189] действующим за-

коном «О безопасности дорожного движения» №196-ФЗ от 10.12.1995 года в Ст.2.

Скандинавская концепция «нулевой смертности» на дорогах – идеология последних лет, в указанной статье закона отражена, как деятельность по предупреждению причин возникновения тяжких ДТП на дорогах РФ.

В русле современной концепции Скандинавских стран и Федерального закона №196-ФЗ по теме диссертационной работы решены задачи:

1. Разработки методов повышения уровня безопасности движения на регулируемых пересечениях и функциональных блок-схем подсистем контроля и оценки интенсивности движения транспортных потоков их реализующие, предназначенных для оснащения обратных связей действующих систем автоматического управления дорожным движением на регулируемых пересечениях.

2. Синтеза методов диагностической и уточненной оценки безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей (УДС) мегаполисов, необходимые для эффективного управления уровнями обеспечиваемой безопасности движения в транспортно-пешеходных потоках.

3. Разработки классификации СОД с КЗ для Х- и Т-образных РП по методам управления и уровням требований к безопасности движения, определяющей ограниченный набор для постановки и решения задач управления.

4. Разработки методики оценки уровней требований к безопасности движения (УТБД) и пропускной способности (ПС) разнополосных Х- и Т-образных РП по различным вариантам СОД с КЗ и видам маневрирования транспортных средств.

5. Разработки методики оценки УТБД на разнополосных Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях (НП) по различным СОД с КЗ.

6. Разработки методики экспериментальной оценки транспортной эффективности СОД с КЗ для их различных РП по пропускной способности и безопасности движения на полунатурном тренажерном комплексе РП.

7. Разработки методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов, как системно

связанной совокупности частных методик, объединенных общей целью научно обоснованных технических и технологических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в хозяйственное развитие страны.

Решение перечисленных выше задач в приложении к концепции «нулевой смертности» на одноуровневых пересечениях имеет цель, сначала, используя синтезированные формулы решения задачи 2 – оценить каждое разрабатываемое или модернизируемое РП в терминах «допустимый», «промежуточный», «повышенный» или «недопустимый» уровень требований к безопасности движения по нормативной базе. Затем, используя классификацию 3 и алгоритмы методик 4, 5 разработать под требования заказчика, как минимум два альтернативных варианта моделей СОД с КЗ с заданными оценками УТБД для их РП в соответствии с критериями "допустимого", "полного" или "частичного" отсутствия конфликтных точек в транспортно-пешеходных потоках.

На базе исследований статистического материала по ДТП на УДС Санкт-Петербурга за период шесть лет (2007 – 2012 г.г.) выявлено, что на дорожно-транспортные происшествия (ДТП) приходится около 524 чел./год с летальным исходом и с ранениями 9 666 чел./год. На все РП, использующие сегодня в основном двухфазные модели СОД с КЗ (при длительностях светофорного цикла регулирования в пределах  $120 \text{ с} \geq T_{\text{ц}} > 50 \text{ с}$ ), согласно Госконтракта №НИР-29 от 10.09.2014 г. относят до 22 % ДТП со смертельным исходом, т. е. до 115 чел./год, а с ранениями до 39 % ДТП, т. е. до 3 700 чел./год.

Социально-экономический ущерб от гибели и ранений на РП в мегаполисе Санкт-Петербурга составляет соответственно: 115 чел. x 9,3 млн руб.=1 069,5 млн руб. и 3 700 чел. x 0,6 млн руб.=2 220 млн руб.

Задача снижения на 28,82 % числа ДТП на УДС в РФ со смертельным исходом относительно базового 2012 года намечена в Федеральной целевой программе (ФЦП) «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 гг.». Ее решение, например, в Санкт-Петербурге только на РП сохранит жизнь 28 человек ( $445 \times 22 \% \times 28,82 \%$ ) за весь период выполнения ФЦП.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК****Список использованных источников**

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справочник / пер. с англ. – М.: Транспорт. – 1981. – 591 с.
2. Андреева Н.А., Березин А.С., Косолапов А.В., Зырянов В.В. Результаты транспортного обследования дорожной сети кемеровской области / Н.А. Андреева и [др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2003. – №3(34). – С. 57-59.
3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учеб. для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт. – 1993. – 271 с.
4. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – М.: транспорт. – 1979. – 407 с.
5. Бахирев И.А., Михайлов А.Ю. Оценка условий движения на городских улицах / И.А.Бахирев, А.Ю. Михайлов Градостроительство. – 2015. – № 4. – С. 63-68.
6. Безопасность дорожного движения – концепция нулевой смертности / Государственное Дорожное Управление Швеции. – Стокгольм.: Издательство CONFETTI, апрель 2006. – 20 с.
7. Булавина Л. В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов: учеб.-метод. пособие к практическим занятиям и дипломному проектированию по курсам: «Городской транспорт», «Городские улицы и дороги» /Л. В. Булавина. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ. – 2009. – 50 с.
8. Буслаев А. П. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения / А. П. Буслаев [и др.]. Под ред. чл.-корр. РАН В. М. Приходько. – М.: Мир – 2003, – 368 с.
9. Ваксман С. А. Проблемы развития и организации функционирования транспортных систем городов // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы VIII Междунар. науч.- практ. конф. – Екатеринбург: АМБ – 2002. – С. 10-15.

10. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. – М.: Теория будущего – 2011. – 576 с.
11. ГОСТ Р 52289–2004. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств / Введ. 2006-01-01. – М.: Стандартинформ. – 2005. – 100 с.
12. Государственный доклад о состоянии безопасности дорожного движения в Российской Федерации в 2000г. – Режим доступа: [http://www.mintrans.ru/prensa/DAT\\_Bezopasnost\\_DD.htm](http://www.mintrans.ru/prensa/DAT_Bezopasnost_DD.htm)
13. Григорьева В.С., Плотников А.М. Малозатратные средства повышения дорожной безопасности на одноуровневых регулируемых перекрестках / В.С. Григорьева, А.М. Плотников. Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 3. – С. 19-23.
14. Доклад ВОЗ О состоянии безопасности дорожного движения в мире 2013. Поддержать десятилетие действий. – [http://apps.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2013/report/summary\\_ru/pdf](http://apps.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/report/summary_ru/pdf)
15. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. Пер. с англ. – М.: Транспорт.– 1972. – 424 с.
16. Европейский доклад о состоянии безопасности дорожного движения. – ВОЗ, пер. с англ. – 2009. – 161 с.
17. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза /. С.А. Евтюков, Я.В. Васильев – СПб.: издательство ДНК. – 2008. – 392 с.
18. Жанказиев С.В. Методологические принципы построения телематической системы косвенного управления транспортными потоками / С.В. Жанказиев // Вестник МАДИ. – 2010. – №3. С. 28-46.
19. Жанказиев С.В., Воробьев А.И. Обоснование определения зоны оптимальной установки для интеллектуальной транспортной системы / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Вестник МАДИ. – 2010. – №2. – С. 85-100.

20. Жанказиев С.В. Оценка систем проецирования информации на ветровое стекло автомобиля / С.В. Жанказиев // Автотранспортное предприятие. – 2014. – №11. – С. 41-43.

21. Жанказиев С.В., Ахмедов Т.Н. Этапы построения автоматизированной телематической системы мониторинга технического состояния транспортных средств / С.В. Жанказиев, Т.Н. Ахмедов // Вестник МАДИ. – 2010. – №3. – С. 26-32.

22. Жанказиев С.В., Власов В.М. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем / С.В. Жанказиев, В.М. Власов // Автотранспортное предприятие. – 2010. – №7. – С. 2-11.

23. Жанказиев С.В., Власов В.М., Иванов А.М. Научные подходы к формированию концепции построения ИТС в России / С.В. Жанказиев, В.М. Власов, А.М. Иванов // Автотранспортное предприятие. – 2010. – №4. – С. 2-9.

24. Жанказиев С.В., Воробьев А.И. Создание нейронной экспертной сети оценки пригодности участка дороги для установки динамического информационного табло / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Автотранспортное предприятие. – 2010. – №11. – С. 37-40.

25. Жанказиев С.В., Воробьев А.И. Определение оптимального расстояния от разветвления улично-дорожной сети до установки информационных объектов телематической системы маршрутного ориентирования / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Вестник МАДИ. – 2010. – №2 (21). – С. 107-114.

26. Жанказиев С.В., Халилев Р.Ф. Становление жизненного цикла локального проекта интеллектуальной транспортной системы / С.В. Жанказиев, Р.Ф. Халилев // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №11. – С. 84-88.

27. Жанказиев С.В., Игнатъев С.П. Принципы разработки телематической системы мониторинга технического состояния автомобилей / С.В. Жанказиев, С.П. Игнатъев // Вестник МАДИ. – 2011. – №3. – С. 22-28.

28. Жанказиев С.В., Львова А.Б., Польшун М.Б., Ефименко Д.Б., Ожерельев М.Ю. Особенности мониторинга интервалов движения пассажирского транспорта / С.В. Жанказиев, и [др.] // В мире научных открытий. – 2012. – №2.6(26). – С. 115-123.

29. Жанказиев С.В., Медведев В.Е., Соломатин А.В., Варламов О.О., Ивахненко А.М. Решение задачи регулирования дорожного движения на основе автоматизированной системы управления / С.В. Жанказиев и [др.] // В мире научных открытий. – 2012. – №2.6(26). – С. 124-129.

30. Жанказиев С.В., Пржибыл П., Шадрин А.В. Динамическое предоставление приоритета проезда для средств общественного транспорта / С.В. Жанказиев, П. Пржибыл, А.В. Шадрин // Автотранспортное предприятие. – 2011. – №7. – С. 24-28.

31. Жанказиев С.В., Тур А.А. Практика применения дорожных информационных табло в мире / С.В. Жанказиев, А.А. Тур // Вестник МАДИ. – 2011. – №2. – С. 64-69.

32. Жанказиев С.В., Тур А.А., Халилев Р.Ф. Интеллектуальные дороги – современный взгляд / С.В. Жанказиев, А.А. Тур, Р.Ф. Халилев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2010. – №2. – С. 1-7.

33. Жанказиев С.В., Устинов А.Н., Курьянова О.Е. Подходы к созданию подсистемы управления выездным транзитом объектов транспортного приращения в задачах интегрированной АСУДД / С.В. Жанказиев, А.Н. Устинов, О.Е. Курьянова // Вестник МАДИ. – 2013. – №2. – С. 87-91.

34. Жанказиев С.В., Халилев Р.Ф. Принципы формирования архитектуры локального проекта интеллектуальной транспортной системы / С.В. Жанказиев, Р.Ф. Халилев // В мире научных открытий. – 2012. – №12(36). – С. 105-111.

35. Жанказиев С.В., Халилев Р.Ф. Становление жизненного цикла локального проекта интеллектуальной транспортной системы / С.В. Жанказиев, Р.Ф. Халилев // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №11. – С. 31-33.

36. Живоглядов В. Г., Бахтина О. Н. Особенности движения транспортных потоков в городе в условиях проведения крупномасштабных спортивных мероприятий / В.Г. Живоглядов, О.Н. Бахтина // Наука и техника в дорожной отрасли – 2015, № 4. – С. 4-6.
37. Живоглядов В.Г., Бахтина О.Н. Теоретические принципы возникновения и упреждения заторовых состояний на автодорогах / В.Г. Живоглядов, О.Н. Бахтина // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2004. №3. - С. 103-105.
38. Зырянов В. В., Кериди П. Г. Применение микромоделирования для прогнозирования развития инфраструктуры и управления дорожным движением / В. В. Зырянов, П. Г. Кериди // Дороги России XXI века. – №3. – . 37 – 40.
39. Зырянов В. В., Кочерга В. Г. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения / В. В. Зырянов, В. Г. Кочерга // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – №1. – С. 28 – 33.
40. Зырянов В.В. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения / В. В. Зырянов // Транспорт Российской Федерации. – 2011. № 1 (32). – С. 54-59.
41. Зырянов В.В. Анализ условий применения моделей дорожного движения / В.В. Зырянов // В сборнике: ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ Межвузовский сборник научных трудов. А. Д. Шляпин (отв. ред.). – Москва. – 2004. – С. 27-29.
42. Зырянов В.В. Методы выявления инцидентов в дорожном движении / В.В. Зырянов // Научное обозрение. – 2014. – №10-3. – С. 807-810.
43. Зырянов В.В. Методы моделирования скачкообразного изменения характеристик транспортных потоков: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / В.В. Зырянов. – Москва. – 1992. – 34 с.
44. Зырянов В.В. Методы определения минимально необходимого уровня насыщения улично-дорожной сети пробными автомобилями / В.В. Зырянов // Научное обозрение. – 2014. – № 11-3. – С. 949-952.

45. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования / В.В. Зырянов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 25. – №2(25). – С. 132.
46. Зырянов В.В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий / В.В. Зырянов // Инженерный вестник Дона. – 2011. – Т. 18. – №4. – С. 548-551.
47. Зырянов В.В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2011 – Т. 18. – № 4. – С. 548-551.
48. Зырянов В.В. Особенности применения основной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне / В.В. Зырянов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т.7. – №21(124). – С. 71-74.
49. Зырянов В.В. Подготовка специалистов по интеллектуальным транспортным системам / В.В.Зырянов // В сборнике: Безопасность, дорога, дети: практика, опыт, перспективы и технологии материалы форума. г. Ростов-на-Дону. – 2015. – С. 192-196.
50. Зырянов В.В. Распределение интервалов между пробными автомобилями / В.В. Зырянов // Научное обозрение. – 2014.– №10-2. – С. 572-575.
51. Зырянов В.В. Совершенствование критериев оценки условий движения на городских магистралях: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / В.В. Зырянов. – Москва. – 1982. – 154 с.
52. Зырянов В.В., Веремеенко Е.Г. Развитие рынка автомобильных перевозок в России / В.В. Зырянов, Е.Г. Веремеенко // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 23. – №4-2(23). – С. 152.
53. Зырянов В.В., Кериди П.Г. Применение микромоделирования для прогнозирования развития транспортной инфраструктуры и управления дорожным движением / В.В. Зырянов, П.Г. Кериди // Дороги России XXI века. – 2009. – № 3. – С. 37.
54. Зырянов В.В., Кериди П.Г., Миротин Л.Б., Голеницкий Ю.В. Моделирование транспортных потоков как метод логистического управления транс-

портными процессами мегаполисов и способ рационального планирования дорожной сети в городах / В.В. Зырянов и [др.] // Вестник транспорта. – 2008. – №1. – С. 37-44.

55. Зырянов В.В., Кочерга В.Г. Применение моделирования для оценки проектов транспортной инфраструктуры / В.В. Зырянов, В.Г. Кочерга // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. – 2012. – №3. – С. 7-12.

56. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения / В.В. Зырянов, В.Г. Кочерга, М.Н. Поздняков // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – №1 (32). – С. 54-59.

57. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Феофилова А.А. Применение моделей выбора маршрута движения при прогнозировании распределения транспортных потоков на проектируемой дорожной сети / В.В. Зырянов, В.Г. Кочерга, А.А.Феофилова // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. – 2013.– №4(63). –С. 33-40.

58. Зырянов В.В., Криволапова О.Ю. Моделирование и анализ спроса на объекты совершенствования транспортной сети / В.В. Зырянов, О.Ю. Криволапова // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 22. – №4-1(22). – С. 117.

59. Зырянов В.В., Мирончук А.А. Приоритетное движение общественного транспорта: развитие методов организации / В.В. Зырянов, А.А. Мирончук // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3-4 (40-41). – С. 22-25.

60. Зырянов В.В., Миронюк В.П., Шабанов А.В. Методы формирования региональных транспортно-логистических систем: учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности 240100 "Орг. перевозок и упр. на трансп." / В. В. Зырянов, В. П. Миронюк, А. В. Шабанов. – М-во образования и науки Рос. Федерации, Рост. гос. строит. ун-т. [Ростов н/Д], 2004. – 174 с.

61. Зырянов В.В., Санамов Р.Г., Голеницкий Ю.В. Опыт развития пассажирского транспорта в Ростове-на-Дону: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям направления подгот. дипломир. специалистов

653400 - Орг. перевозок и упр. на трансп. / В.В. Зырянов, Р.Г. Санамов, Ю.В. Голеницкий. – Ростов н/Д, 2003. – 144 с.

62. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю. Опыт оптимизации маршрутных сетей общественного транспорта в городах южного федерального округа / В.В. Зырянов, Е.Ю. Семчугова // В сборнике: Безопасность, дорога, дети: практика, опыт, перспективы и технологии материалы форума. г. Ростов-на-Дону. – 2015. – С. 121-124.

63. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Литвина А.А. Повышение эффективности управления городским пассажирским транспортом Ростова-на-Дону / В.В. Зырянов, Е.Ю. Семчугова, А.А. Литвина // Вестник Саратовского государственного университета. – 2013. – Т.2.– №2(71). – С. 347-351.

64. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Скрынник А.М. Применение информационных технологий при повышении мобильности и обеспечении транспортной безопасности / Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Скрынник А.М. // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 22. – № 4-1(22). – С. 118.

65. Зырянов В.В., Хайхян Е.М. Зырянов В.В., Хайхян Е.М. Транспортное обеспечение логистических систем / В.В. Зырянов, Е.М. Хайхян // Интернет-журнал Науковедение. – 2012. – №4(13). – С. 162.

66. Зырянов В.В., Шабанов А.В. Построение региональных логистических систем общественного транспорта на уровнях крупного города и области / В.В. Зырянов, А.В. Шабанов // депонированная рукопись – №1776-В2002 – 18.10.2002.

67. Зырянов В.В. Особенности применения основной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 7. № 21 (124). С. 71-74.

68. Зырянов В.В. Приоритетное движение общественного транспорта: развитие методов организации // Транспорт Российской Федерации. 2012. № 3-4 (40-41). С. 22-25.

69. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах Москва: Транспорт, 1985. – 94 с.

70. Капитанов, В.Т. Расчет параметров светофорного регулирования [Текст]: учеб. пособие / В.Т. Капитанов. – М.: ВНИИБД МВД СССР. – 1981. – 95 с.
71. Кисляков В.М., Филиппов В.В., Школяренко И.А. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов / В.М. Кисляков, В.В. Филиппов, И.А. Школяренко. – М.: Транспорт. – 1979. – 200 с.
72. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт. – 1997. – 231 с.
73. Клинковштейн, Г. И. Организация дорожного движения [Текст]: учеб. для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт. – 2001. – 247 с.
74. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения: учебное пособие / В. И. Коноплянко. – М.: Высшая школа. – 2007. – 383 с.
75. Коноплянко В.И., Гуджоян О.П., Зырянов В.В. Организация и безопасность движения. безопасность движения транспортных средств: учеб. пособие для самостоят. работы студентов специальностей 240100 "Орг. перевозок и упр. на трансп.", 240400 "Орг. и безопасность дор. движения" / В.И. Коноплянко, и [др.]. – М-во образования Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Кузбас. гос. техн. ун-т". Кемерово. – 2003. – 90 с.
76. Концепция демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года/ Утверждена Указом Президента РФ от 9 октября 2007 г. N 1351. Электронный фонд система ГАРАНТ:<http://base.garant.ru/191961/#ixzz3ixXAQUzz>
77. Кочерга В.Г., Зырянов В.В. Исследование транспортных потоков с помощью динамической пространственно-временной сетевой модели / В.Г. Кочерга, В.В. Зырянов // Строительство. – 2000. – Т. 2000. – С. 15.
78. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Хачатурян А.В. Планирование и организация грузовых автомобильных перевозок на улично-дорожной сети мегаполисов

/ В.Г. Кочерга, В.В. Зырянов, А.В. Хачатурян // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 20. – № 2. – С. 737-741.

79. Кравченко П.А. Автошколы как инструмент профессионального образования и мотивации молодежи для задач обеспечения безопасности дорожного движения / П.А. Кравченко // Транспорт Российской Федерации. – 2014. – № 5 (54). – С. 47-52.

80. Кравченко П.А. О качестве профессиональной подготовки водителей транспортных средств/ П.А. Кравченко // Безопасность дорожного движения. Сборник научных трудов. – 2013. – № 13. –С. 38-46.

81. Кравченко П.А. О нормативах качества законодательных актов, регулирующих деятельность в сфере обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации / П.А. Кравченко // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 4 (47).– С. 20-23.

82. Кравченко П.А. Организация и безопасность дорожного движения в больших городах / П.А. Кравченко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. –№ 1 (64). – С. 1-2.

83. Кравченко П.А., Олещенко Е.М. Инновационные элементы в региональных программах обеспечения БДД / П.А.Кравченко, Е.М. Олещенко // Транспорт РФ. – 2012. – №3(39). – С.45-51.

84. Кравченко П.А., Плотников А.М. Комбинированное управление движением на многополосных регулируемых перекрестках, минимизирующее уровень дорожной опасности / П.А. Кравченко, А.М. Плотников // Вестник гражданских инженеров. – СПб. – 2012. – № 6(35). – С. 139–142.

85. Кравченко П.А., Плотников А.М. Комбинированное управление движением на многополосных перекрестках, минимизирующее уровень дорожной безопасности / П.А. Кравченко, А.М. Плотников // Сб. докл. X междунар. науч.-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: Ресурс и возможности»; СПбГАСУ. – СПб. – 2012. – с. 145-147.

86. Кравченко П.А., Федоров В.А. Кардинальное совершенствование законодательного обеспечения деятельности по предупреждению причин возникновения ДТП в России / П.А. Кравченко, В.А. Федоров // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 1 (44). – С. 8-13.

87. Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б. Технические средства организации дорожного движения: учеб. для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига». – 2005. – 279 с.

88. Кременец Ю. А., Печерский М. П. Технические средства регулирования дорожного движения: учеб. для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский. – М.: Транспорт. – 1981. – 252 с.

89. Кризис безопасности / Ю. Ветров // АвтоРевю. – 2014. – №3 – С. 58-59.

90. Курганов В.М., Зырянов В.В., Корчагин В.А., Миротин Л.Б., Ларин О.Н., Лёвин Б.А., Некрасов А.Г., Соколов Б.А и др. Инновационные процессы логистического менеджмента в интеллектуальных транспортных системах: монография в 4 т. / Под общ. ред. проф. Б.А.Лёвина и проф. Л.Б.Миротина. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 1552 с.

91. Курганов В.М., Грязнов М.В. Управление надежностью транспортных систем и процессов автомобильных перевозок. Монография / В.М. Курганов, М.В. Грязнов. – Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2013. – 318 с.

92. Курганов В.М. Макроэкономическая оценка транспортного потенциала. Законы логистики и статистические закономерности. Монография / В.М. Курганов. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013 – 68 с.

93. Курганов В.М., Грязнов М.В. Обеспечение надежности в системе управления перевозками и производством на автомобильном транспорте. Монография / В.М. Курганов, М.В. Грязнов. – Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2012. – 128 с.

94. Курганов В.М., Куликов Ю.И., Пугачев И.Н., Шпаков В.Н., Миротин Л.Б. и др. Организация управления автомобильным транспортом: Монография /

В.М. Курганов, Ю.И.Куликов, И.Н.Пугачев, В.Н.Шпаков, Л.Б.Миротин и др. – Владивосток, Дальнаука, 2011. – 400 с.

95. Курганов В.М. Ограничения моделей оптимизации поведения участников дорожного движения/ В.М. Курганов // Вестник ТвГУ. Серия: экономика и управление. – 2016. – №1– С. 213-222.

96. Курганов В.М. Транспортные системы и комплексы в ретроспективе развития / В.М. Курганов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 1 (47). С. 41-47.

97. Курганов В.М., Дорофеев А. Н. Информационные системы для автомобильных перевозок/ В.М. Курганов, А. Н. Дорофеев // Мир транспорта, т. 13, № 3, 2015. – С. 156-171.

98. Курганов В.М., Грязнов М.В. Структурное резервирование на автомобильном транспорте / В.М. Курганов, // Мир транспорта, № 5 (54), 2014. – С. 6-21.

99. Курганов В.М., Грязнов М.В., Франюк Р.А. Оптимизация надежности перевозок метизной продукции на экспорт / В.М. Курганов, М.В. Грязнов, Р.А. Франюк // Бюллетень транспортной информации, №5 (215), май 2013. С. 20-28.

100. Курганов В.М. Эффективность логистики и конкурентоспособность России / В.М. Курганов // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – №1.– С. 19-23.

101. Курганов, В.М. Управление цепями поставок и логистика / В.М. Курганов // Вестник ТвГУ. Серия: экономика и управление. – 2013. – №19– С. 203-210.

102. Курганов В.М. Управление затратами на транспортировку в логистической цепи / В.М. Курганов // Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2012. – №1 – С. 85-87.

103. Курганов В.М. Информационно-правовое обеспечение транспортировки грузов / В.М. Курганов // Грузовое и пассажирское автохозяйство, №8, 2012. - С. 24- 28.

104. Курганов В.М. Экономические аспекты анализа моделей управления надежностью транспортных систем / В.М. Курганов // Вестник Тверского государственного университета, №2, 2012 (Сер. “Экономика и управление”, вып. 13, 2012). – С. 112-119.

105. Курганов В.М. Законы управления затратами в цепи поставок / В.М. Курганов // Вестник ТвГУ. Серия: экономика и управление. – 2011. – №9. – С. 13-20.

106. Курганов В.М., Грязнов М.В. Параметры надежности транспортных систем / В.М. Курганов, М.В. Грязнов // Бюллетень транспортной информации, №11 (185), ноябрь 2010. С. 34-36.

107. Курганов В.М. Управление эффективностью и надежностью функционирования систем доставки / В.М. Курганов // Грузовое и пассажирское автохозяйство, №6, 2009. - С. 8-13.

108. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Головных И. М. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие / А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Иркутск: ИрГТУ. – 2007. – 208 с.

109. Левашев А. Г., Шаров М. И., Михайлов А. Ю. К вопросу об оценке качества транспортного обслуживания в городах / А. Г. Левашев, М. И. Шаров, А.Ю. Михайлов // Современные проблемы транспортного комплекса России. Магнитогорск – 2013. – № 3. – С 45-53.

110. Левашов А.Г., Михайлов А.Ю. Основные параметры пропускной способности регулируемых пересечений / А. Левашов, А. Ю. Михайлов // Сб. обзорной информации: Транспорт. Наука, техника, управление. М.: – ВИНТИ. – 2004. – № 3. – С. 14-196.

111. Лобанов Е. М., Сильянов В. В., Ситников Ю. М. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В. В. Сильянов, Ю. М. Ситников. – М.: "Транспорт", 1975. – 72 с.

112. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов / Е. М. Лобанов. – М.: Транзит, 1990. – 24 с.

113. Математика: учеб. для вузов / Е. И. Гужвенко, Ю. А. Заяц, Л. Б. Михеева, Н. П. Приходько; под ред. Ю. А. Заяц. М-во обороны РФ, Рязанский военный автомобильный институт. – Рязань. – 2010. – 638 с.

114. Миротин Л.Б., Гудков В.А., Зырянов В.В., Некрасов А.Г., Балалаев А.С., Ларин О.Н., Покровский А.К., Беляев В.М., Вельможин А.В., Машевец Н.Ю., Гронин Д.П., Ширяев С.А., Кериди П.Г., Меланич Е.В. под ред. Л.Б. Миротина. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах / Л.Б. Миротин и [др.] под ред. Л.Б. Миротина. Москва. – 2010. – 704 с.

115. Миротин Л.Б., Зырянов В.В., Шабанов А.В. Специфика логистического подхода в организации и управлении общественным пассажирским транспортом / Л.Б. Миротин, В.В. Зырянов, А.В. Шабанов // Транспорт. Экспедирование и логистика. – 2003. – № 6. – С. 12.

116. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов/ А.Ю.Михайлов, И.М. Головных – Новосибирск: Наука. – 2004. – 267 с.

117. Мусин В. И., Загидуллин Р.Р. Исследование условий движения транспорта, обслуживающего крупномасштабное спортивное мероприятие, при движении по выделенной полосе для маршрутных транспортных средств / В. И. Мусин, Р.Р. Загидуллин // IV Международная научно-практическая конференция. Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: Интеллектуальные транспортные системы. Казань. – 2016. – С. 371-377.

118. Мэтсон Т. М., Смит У. С., Харт Ф.В. Организация движения / Т. М. Мэтсон, У. С. Смит, Ф.В. Харт. – М.: Автотрансиздат. – 1963. – 463 с.

119. Науменко Е.Ю., Зырянов В.В. Организация парковочного пространства в общей системе дорожного движения в городах / Е.Ю. Науменко, В.В.Зырянов // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015.– №2. – С. 19-25.

120. Наумова Н.А., Зырянов В.В. Метод динамического расчета матрицы корреспонденций / Н.А.Наумова, В.В.Зырянов // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – №2-21. – С. 4622-4624.

121. ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог / Федер. дор. агентство (Росавтодор). – М. – 2012. – 32 с.

122. ОДМ 218.4.005–2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах / Федер. дор. агенство (Росавтодор). – М. – 2011. – 264 с.

123. ОДМ 218.6.003–2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах // Федер. дор. агентство (Росавтодор). – М. – 2013. – 69 с.

124. ОДМ 218.6.010-2013. Методические рекомендации по организации аудита безопасности дорожного движения при проектировании и эксплуатации автомобильных дорог / Федер. дор. агентство (Росавтодор). – М. – 2013. – 32 с.

125. Олещенко Е.М. Варианты прогнозируемого развития системы обеспечения безопасности дорожного движения мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) / Е.М. Олещенко // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 3. – С. 123.

126. Олещенко Е.М. Проблемы развития системы ОБДД на примере Санкт-Петербурга / Е.М. Олещенко // *Мир дорог*. – 2012. – № 64. – С. 50-54.

127. Олещенко Е.М., Добромиров В.Н. Модель прогнозируемого развития системы обеспечения безопасности дорожного движения мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) MODEL of the Projected Development of Road Safety in Megapolis (on the Example of Saint-Petersburg) / Е.М. Олещенко, В.Н. Добромиров // *WORLD APPLIED SCIENCES JOURNAL*. – 2013 – Vol. 23. – № 13. – p. 84-88.

128. Олещенко Е.М., Добромиров В.Н., Войтко А.М. Анализ эффективности мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения в Санкт-Петербурге в 2009-2012 годах / Е.М. Олещенко, В.Н. Добромиров, А.М. Войтко. // *Современные проблемы науки и образования*» – 2012. – № 3, – С. 145.

129. Олещенко Е.М., Доронин М.Н. Зимнее содержание автомобильных дорог как фактор безопасности дорожного движения / Е.М. Олещенко, М.Н. Доронин // Мир дорог. – 2010. – № 51. – С. 50-52.

130. Олещенко Е.М., Кравченко П.А. Концепция полной наблюдаемости систем предупреждения дорожно-транспортного травматизма / Е.М. Олещенко, П.А. Кравченко // Транспорт Российской Федерации. Спецвыпуск. – 2015. – С. 25-31.

131. Олещенко Е.М., Кравченко П.А. Подсистема обеспечения безопасности дорожного движения в структуре государственной системы обеспечения транспортной безопасности / Е.М. Олещенко, П.А. Кравченко // "Транспортная безопасность и технологии" – 2011. – № 4 (27). – С. 58-61.

132. Организация дорожного движения в городах: метод. пособие / под общ. ред. Ю.Д. Шелкова; Научно-исследовательский центр ГАИ МВД России. – М.– 1995. – 143 с.

133. Организация Объединенных наций. Статистика дорожно-транспортных происшествий в Европе и Северной Америки, Нью Йорк 2002 г.

134. Патент на изобретение № 2469410 РФ. Система управления движением на многополосных перекрестках / А. М. Плотников, П.А. Кравченко, Р.М. Архестов, А.В. Андреев. – М. – 2012.

135. Патент на изобретение № 2486599 РФ. Способ регулирования транспортных потоков на перекрестке / А. М. Плотников, П.А. Кравченко, М.А. Плотников. – М. А. – 2013.

136. Патент на полезную модель № 111330 РФ. Система управления движением на многополосных перекрестках / А.М. Плотников, П.А. Кравченко, Р. М. Архестов, А.В. Андреев. – М. – 2011.

137. Патент на полезную модель № 114203 РФ. Система управления транспортными и пешеходными потоками через перекресток / А.М. Плотников, П.А. Кравченко, Р.М., А. В. Архестов, В.С. Григорьева. – М. – 2012.

138. ПАТЕНТ на полезную модель №159669 РФ. Система автоматического управления дорожным движением на одноуровневом регулируемом перекрестке / А.М. Плотников. – М. – 2016.

139. Печерский М.П. Кибернетика и регулирование уличного движения / М. П. Печерский, Б.Г. Хорович. – М. – «Знание». – 1971. – 48 с.

140. Печерский М.П., Хорович В.Г. Автоматизированные системы управления дорожным движением / М.П. Печерский, В.Г. Хорович. – М. – Транспорт. – 1979. – 153 с.

141. Печерский М.П., Хорович Б. Г. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / М.П. Печерский, В.Г. Хорович. - М. – Транспорт. – 1979. – 176 с.

142. Плотников А. М. Методика повышения эффективности управления дорожным движением на одноуровневых перекрестках с «неуравновешенным» по интенсивности движением встречных транспортных потоков / А.М. Плотников // Сб. докл. X междунар. науч.-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: Ресурс и возможности». СПбГАСУ. – СПб. – 2012. – С. 230-235.

143. Плотников А. М. Повышение эффективности управления дорожным движением на регулируемых перекрестках / В.С. Григорьева // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 3. – С. 5–8.

144. Плотников А. М. Тренажерный комплекс для моделирования, исследования и оптимизации схем организации дорожного движения на регулируемых перекрестках с изменяющейся (перенастраиваемой) конфигурацией / А.М. Плотников // Сб. докл. VIII междунар. науч.-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах»; СПбГАСУ. – СПб. – 2008. – С. 324-325.

145. Плотников А.М. Алгоритмы и технические средства повышения безопасности движения на регулируемых перекрестках / А.М. Плотников // Транспортная безопасность и технологии. – 2012. – № 4(31). – С. 113-116.

146. Плотников А.М. Алгоритмы и технические средства повышения безопасности движения на регулируемых перекрестках [Электронный ресурс] / А.М. Плотников // Второй междунар. форум «Транспортная инфраструктура России – инновационный путь развития». – 2011. – режим доступа [www.pibd.ru](http://www.pibd.ru) – пароль 02112011.

147. Плотников А.М. Алгоритмы и технические средства повышения безопасности движения на регулируемых перекрестках / А.М. Плотников. Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 5(36). – С. 28-30.

148. Плотников А.М. Дорожные перекрестки: база конструктивных параметров и моделей управления дорожным движением / А.М. Плотников // Сб. докладов и статей целевой конф. «Технологии и эффективность систем управления обеспечением безопасности дорожного движения». СПбГАСУ. – СПб., 2008. – С. 94-102.

149. Плотников А.М. Комплекс проектов схем организации движения (СОД) для типовых дорожных перекрестков / А.М. Плотников // Сб. докладов и статей целевой конф. «Системы организации и управления безопасностью движения». СПбГАСУ. – СПб. – 2008. – С. 55-60.

150. Плотников А.М. Методология оценки безопасности дорожного движения на регулируемых пересечениях [Текст] / А.М. Плотников // Вестник гражданских инженеров. – СПб., – 2016.– №3(56). – С.227-232.

151. Плотников А.М. Модели и методы управления безопасностью дорожного движения на одноуровневых регулируемых перекрестках / А. М. Плотников // Сб. электронных версий докладов 7-ой Российско-Германской конференции по безопасности дорожного движения; СПбГАСУ. – 2014. – Режим доступа <[obdd2008@mail.ru](mailto:obdd2008@mail.ru)>

152. Плотников А.М. Модели и методы управления безопасностью дорожного движения на одноуровневых регулируемых перекрестках [Текст] / А.М. Плотников // СПбГАСУ: Сборник докладов одиннадцатой межд. научно-практич. конф. «Организация и безопасность дорож. движения в крупных городах. – СПб. – 2014. – С.194-206.

153. Плотников А.М. О неиспользуемом ресурсе модернизации технологий проектирования регулируемых перекрестков / А.М. Плотников // Безопасность дорож. движения: сбор. науч. тр. ФКУ НИЦ БДД МВД России. – 2012. – Вып. 12. – С. 106-113.

154. Плотников А.М. О приложении концепции «нулевой смертности» на дорогах к задачам разработки схем организации движения на регулируемых перекрестках / А. М. Плотников. Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 2(27). – С. 26-29.

155. Плотников А.М. Оценка ресурса безопасности дорожного движения на регулируемых перекрестках с надземными переходами / В.С. Григорьева, А.М. Плотников, А.В. Андреев. Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 1(38). – С. 58-61.

156. Плотников А.М. Оценка ресурса безопасности дорожного движения на регулируемых перекрестках с надземными переходами [Электронный ресурс] / А.М. Плотников // Всероссийская конференция «Актуальные проблемы проектирования автомобильных дорог и искусственных сооружений». – 2012. – Режим доступа <http://dorvest.ru/conference/archiv.html>

157. Плотников А.М. Разработка схем организации движения транспортных и пешеходных потоков на регулируемых перекрестках: учеб. пособие для вузов / А. М. Плотников. – СПб.: Нестор-История. – 2010. – 110 с.

158. Плотников А.М. Система автоматического управления движением на регулируемых пересечениях в чрезвычайных ситуациях / А.М. Плотников // Вестник гражданских инженеров. – СПб. – 2015. – №6(53). – С.195-198.

159. Плотников А.М. Технические средства управления дорожным движением в Санкт-Петербурге: состояние и задачи модернизации / А.М. Плотников // Л.: Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса России. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Автомобильно-дорожного института Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. – 1997 (Ч. 2). – С. 49-53.

160. Плотников А.М. Управление дорожным движением на регулируемых пересечениях в одном уровне / А.М. Плотников // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 1. – С. 7-9.

161. Плотников А.М., Архестов Р.М. Системы управления движением транспортными потоками на основе Интернет-технологий / А.М. Плотников, Р.М. Архестов // Сб. докл. VIII междунар. науч.-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах»; СПбГАСУ. – СПб. – 2008. – С. 321-324.

162. Плотников А.М., Григорьева В.С. Повышение эффективности управления дорожным движением на регулируемых перекрестках / А.М. Плотников, В.С. Григорьева // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 3. – С. 5–8.

163. Плотников А.М., Григорьева В.С. Практическая реализация методики повышения эффективности управления дорожным движением на малополосных перекрестках с «неуравновешенным» по интенсивности движением встречных транспортных потоков / А.М. Плотников, В.С. Григорьева // Сб. докл. X междунар. науч.-практич. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: Ресурс и возможности»; СПбГАСУ. – 2012. – С. 236-242.

164. Плотников, А.М. Управление безопасностью дорожного движения на одноуровневых перекрестках Теория и практика. Научное издание. [Текст]: монография / А.М. Плотников. – СПб.: «Экспертные решения». – 2014. – 404 с.

165. Правила дорожного движения Российской Федерации, утвержденные Постановлением Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. №1090 в редакции Постановления Правительства РФ от 06.09.2014 г. №907.

166. Пржибыл П., Свитек М. Телематика на транспорте: пер. с чеш. / П. Пржибыл, М. Свитек; под ред. проф. В.В. Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ). – 2004. – 540 с.

167. Проектирование автомобильных дорог и управление их состоянием. Учебное пособие. Том 5. Анализ и управление безопасностью дорожного дви-

жения / под ред. В.В. Ушакова, В.В. Сильянова, Ю.П. Шкицкого. – М.: МАДИ. – 2014. – 562 с.

168. Пропускная способность автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.В. Сильянов, Ю.М. Ситников, Л.Н. Сапегин. – М.: Транспорт. – 1970. – 152 с.

169. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: учебное пособие / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. - М.: Издательский центр «Академия». – 2009. – 272 с.

170. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах [Электронный ресурс]: ОДМ 218.4.005-2010: утв. распоряжением Минтранса РФ от 24.06.2002 г. № ОС-557-р: взамен ВСН 25-86; ввод в действие с 24.06.02 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084056>.

171. Руководство для проектирования дорожных транспортных систем HBS – 2001. – выпуск, версия 2009. – Кёльн – 379 с.

172. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. – М.: Стройиздат. – 1974. – 97 с.

173. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог (вторая редакция) / Федер. дорож. агентство (Росавтодор). – М. – 2008. – 137 с.

174. Рябоконт Ю.А. Практикум по организации движения / Ю.А. Рябоконт. – Омск: Изд-во СибАДИ. – 2003. – 91 с.

175. Самойлов Д.С., Юдин В.А. Организация и безопасность городского движения: учеб. для вузов / Д.С. Самойлов, В.А. Юдин. – М.: «Высшая школа». – 1972. – 256 с.

176. Сборники "Анализ и оценка состояния безопасности дорожного движения в Российской Федерации" – М.: Трансконсалтинг. – 1997-2009. –105 с.

177. Семчугова Е.Ю., Зырянов В.В., Володькин П.П., Денисов Г.Г., Цыплаков В.Ю. Определение весомости показателя надежности транспортных услуг в качестве перевозок / Е.Ю. Семчугова, и [др.] // Интернет-журнал Научное ведение. – 2012. – № 4. – С. 1.

178. Семчугова Е.Ю., Зырянов В.В., Володькин П.П., Денисов Г.Г., Цыплаков В.Ю. Определение весомости показателя надежности транспортных услуг в качестве перевозок / Е.Ю. Семчугова и [др.] // Интернет-журнал Науковедение. – 2012. – №4(13). – С. 195.

179. Сильянов В.В. Теоретические основы повышения пропускной способности автомобильных дорог / В.В. Сильянов. Дис. д ра. техн. наук. – М. –1978. – 447 с.

180. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов – М.: Транспорт. – 1977. – 303 с.

181. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог / В. В. Сильянов. – М.: Транспорт. – 1984. – 287 с.

182. Симуль М. Г. Влияние некоторых факторов на условия движения по городским магистралям / М. Г. Симуль // Материалы 63-й науч.-техн. конф. СибАДИ. – Омск : СибАДИ. – 2009. – Кн. 2. – С. 20-23.

183. Симуль М.Г. Экспериментальное исследование характеристик транспортного потока с учетом пешеходного движения на городских магистралях / М.Г. Симуль // Материалы 64-й науч.-техн. конф. ГОУ СибАДИ в рамках юбилейного международного конгресса «Креативные подходы в образовательной, научной и производственной деятельности», посвященного 80-летию академии. – Омск: СибАДИ. – 2010. – Кн.1. – С.52-55.

184. СП 42.13330.2011. Свод правил. «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89» (утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 № 820) – М.: ОАО "ЦПП". – 2011. – 109 с.

185. Справочник по безопасности дорожного движения / Пер. с норв. под ред. проф. Сильянова В.В. – М.: МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с.

186. Ставничий Ю.А. Транспортные системы городов / Ю.А.Ставничий. – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.

187. Тюрин А.Ю., Зырянов В.В. Совмещенные модели транспортировки и управления запасами в цепях поставок пищевой промышленности / А.Ю. Тю-

рин, В.В. Зырянов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – №2(90). – С. 127-130.

188. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах». Паспорт / Утверждена постановлением Правительства РФ от 03.10.2013 г. № 864.

189. Федеральный закон от 10.12.1995 № 195-ФЗ "О безопасности дорожного движения".

190. Фишельсон М.С. Городские пути сообщения / М.С. Фишельсон. – М.: Высшая школа. – 1967. – 366 с.

191. Форд Л.Р., Фалкерсон Д. Р. Потоки в сетях / Л.Р. Форд, Д. Р. Фалкерсон. Пер. с англ. – М.: "Мир" – 1966.– 277 с.

192. Храпова С.М. Рационализация учета факторов влияния на условие движения автомобилей в зоне транспортных пересечений / С.М. Храпова // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных сооружений: материалы I Всеросс. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, и молодых ученых, 24-26 мая 2006 – Омск, СибАДИ, 2006. – Кн.1. – С. 153-159.

193. Храпова С.М., Рябоконт Ю.А. К вопросу оценки загрузки элементов городской транспортной сети / С.М. Храпова, Ю.А. Рябоконт // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 3. – С. 49-50.

194. Храпова С.М., Рябоконт Ю.А. О результатах исследования влияния дорожных факторов на изменение условий движения / С.М. Храпова, Ю.А. Рябоконт // Вестник ИрГТУ.– 2009. - №1 (37). – С. 70-74.

195. Цыпкин А. Г., Цыпкин Г. Г. Математические формулы. Алгебра, геометрия. Математический анализ: справочник / А. Г. Цыпкин, Г. Г. Цыпкин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры. – 1985. – 128 с.

196. Цыпкин Г.Г. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография / Цыпкин Г.Г. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. – 2011. – 175 с.

197. Шабанов А.В., Зырянов В.В. Особенности логистического управления системой общественного транспорта / А.В Шабанов., В.В. Зырянов // Известия

высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Общественные науки. – 2001. – № 1. – С. 76.

198. Эльвик Рунэ. Справочник по безопасности дорожного движения: пер. с норвеж. / Рунэ Эльвик, Аннэ Мюсен Боргер, Труле Ваа ; под ред. В. В. Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ). – 2001. – 754 с.

199. Якимов М.Р. Транспортные системы крупных городов / М.Р. Якимов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. – 2008. – 184 с.

200. Яма безопасности / АвтоРевю.– 2014. – № 4. – С. 12.

201. A method of computing the traffic flow distribution density in the network with new flow-forming objects being put into operation. *Naumova N.A., Zyryanov V.V.* Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Scopus. 2015. Т. 78. № 1. С. 76-83.

202. Bielefeldt C., Busch F. MOTION-a new on-line traffic signal network control system. Road Traffic Monitoring and Control, Seventh International Conference on London.1994. – pp. 55-59

203. Highway Capacity Manual 2000. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D. C., USA, 2000, – 1134 p.

204. Hunt P.B., Robertson D.I., Bretherton R.D., Winton R.I. SCOOT – A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals. Report TRRL 1014 Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, U.K., 1981.

205. Improving urban public transport operation: experience of Rostov-on-Don (Russia) *Zyryanov V., Sanamov R.* International Journal of Transport Economics. 2009. Т. 36. № 1. С. 83-96.

206. K. Daniel, E. Jakob, B. Michael and B. Laura Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban Mobility. International Journal On Advances in Systems and Measurements, 5 (3&4):128-138, December 2012.

207. Kravchenko P.A., Kapustin A. Method for developing classifications of vehicles' automated power systems based on their generalized mathematical structural models / P.A. Kravchenko, A. Kapustin // World Applied Sciences Journal. – 2013. – vol. 23. – № 13. – С. 172-177.

208. S. Lin and Y. Xi. An efficient model for urban traffic network control. In Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, pages 14066–14071, Seoul, Korea, July 2008.

209. Transport planning and simulation for FIFA world cup 2018 in Rostov-on-Don (Russia) *Zyryanov V.* In Proceedings of the 19th Intelligent Transport Systems World Congress, ITS 2012 Scopus 2012. C. EU-00676.

210. Webster F. V., “Traffic signal settings,” Road Research Technical Paper no. 39, Great Britain Road Research Laboratory, London, UK, 1958. View at Google Scholar

211. Plotnikov A., Kravchenko P., Kotikov Y (2016) Classification Investigations of Traffic Management Schemes Having Conflict Loading at the Signal-Controlled Road Junctions. In Proceedings of the 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities"

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**П.1 Методика оценки уровня требований к безопасности движения  
(УТБД) и пропускной способности (ПС) однополосных Х- образных РП по  
СОД с КЗ при различных методах пофазных разъездов ТПП**

**Содержание**

П.1.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ.....	272
П.1.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при отсечках ТП.....	277
П.1.3 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при отсечках ТП.....	284
П.1.4 Функциональные зависимости (номограмма) оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа конфликтных точек (КТ) для однополосных Х-образных РП по их моделям СОД с КЗ .....	286

### П.1.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых однополосных X-образных РП по моделям СОД с КЗ

В настоящем подразделе П.1.1 приложения П.1 и в последующих до приложения П.5 включительно исследуется класс управляемых светофорами разнополосных моделей СОД с КЗ на X- и T-образных регулируемых пересечениях (РП), которые способны решать задачи классификационного множества 1)–21) по поддержанию заданной безопасности движения при целесообразно-допустимой пропускной способности.

Для класса моделей СОД с КЗ в X- и T-образных РП рисунок 3.1 проведены расчеты оценок уровней дорожной безопасности, причем, одновременно по трем методам – двум известным и авторским при одинаковых исходных интенсивностях транспортно-пешеходных потоков (ТПП):

- в первом методе [112, 122, 170] – по показателю степени опасности пересечения  $K_a$ , расчет которого проведен с использованием формул (2.33–2.38), размерность ед.;
- во втором методе [132] – по показателю оценки уровня конфликтной загрузки (КЗ) одноуровневых перекрестков  $R_{Шел}$ , расчет которого проведен с использованием формулы (2.32), размерность ед.;
- в авторском методе [143, 164] – показатели оценки уровней КЗ одноуровневых перекрестков необходимо определять по двум методам с использованием формулы (2.40) для диагностического аудита  $R_{Il,max}$ , без учета интенсивностей движения ТПП и по формуле (2.39) для уточненного оценочного расчета количественной оценки уровня БД  $R_{Il}$ , с учетом ТПП, размерность ед.

Одновременно для этих же моделей СОД с КЗ рассчитаны длительности циклов светофорной сигнализации  $T_{ц}$  и уровни загрузки  $z$  (пропускной способности РП в двух вариантах) соответственно по формулам (2.1 и 2.25, 2.26). Результаты сведены в таблицы 1.2 конфликтных загрузок и пропускной способности РП.

Полученные результаты сводных таблиц для исследованных классов моделей СОД с КЗ, связанных с числом полос и методами светофорного управления на РП необходимы для целей:

- построения функциональных графических зависимостей  $K_a$ ,  $R_{шел}$ ,  $R_{пл}$ ,  $R_{плmax}$  и  $T_{ц}$  от числа конфликтных точек в моделях СОД с КЗ при разных методах светофорного управления движением (**I** – пофазного управления, **II** – управления по отдельным направлениям и **III** комбинированного управления) в соответствии с решаемыми задачами 1) – 21) классификации рисунка 3.1;
- сравнительного анализа используемых трех методов оценки уровней требований к безопасности движения при разных методах светофорного управления движением на РП, как на сходимость между собой, так и на отражение реальной статистики ДТП по статистике смертельных исходов и тяжелым последствиям на регулируемых пересечениях Санкт-Петербурга и РФ.

Традиционная двухфазно управляемая модель СОД с КЗ для Х-образного однополосного РП представлена на рисунке П.1.1. Она получена из блок-схемы функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в модели САУ БДД для малополосного Х-образного РП рисунок 1.8 при одной полосе движения на каждом входе с добавленными направлениями движения для разворотов 10а', 10б', 10в' и 10г', а также при необходимости отклонений 10а'', 10б'', 10в'' и 10г''. Пиковые значения интенсивности ТП для таблицы П.1.1 взяты из картограммы рисунка 1.13 и являются исходными данными для всех проводимых расчетов с целью получения конечных результатов сводимых в таблицу П.1.2.

Исходные данные, используемые для расчетов уровней БД ( $K_a$ ,  $R_{шел}$ ,  $R_{пл}$ ,  $R_{плmax}$ ), а также длительности циклов светофорной сигнализации  $T_{ц}$  и уровней пропускной загрузки пересечения (перекрестка)  $z$  могут отличаться от исходных значений рисунка 1.13.

Изменения исходных данных связаны с целесообразностью принятия значений допустимых интенсивностей левоповоротных потоков для 10а, 10б, 10в и

10г не более 120 авт./ч., так как эта величина должно проверяться по формуле (2.28) для пофазного метода управления движением на максимально допустимую интенсивность левоповоротного потока при конфликте.

Поэтому – в таблице П.1.1 и далее – в аналогичных таблицах будет принята величина интенсивности интенсивности движения ТП для допустимых левоповоротных транспортных потоков не более 120 ед./ч. Для простоты во всех правоповоротных транспортных средствах 12а, 12б, 12в и 12г, также принята интенсивность, как и для левоповоротных.

При этом, интенсивности прямых ТП (11а, 11б, 11в и 11г), также могут приниматься в пределах средних или близких к насыщению, если необходимо исследовать методы управления с отсечкой, т. е. с прерыванием движения в менее интенсивном прямом встречном транспортном потоке. Следовательно, наличие неуравновешенности ( $\geq 10\%$ ) у встречных прямых ТП имитируется заданными исходными данными для прямых и встречных потоков 11а - 11б и 11в – 11г.

Обобщающие результаты сведены в таблицу П.1.2, где для каждого вида маневра на РП в его модели СОД с КЗ проставляются численные значения параметров уровней БД. Результаты, необходимые для расчета длительности цикла  $T_{ц}$  светофорного регулирования (сигнализации) занесены в таблицы П.1.3 (Интенсивности движения ТП, %) и П.1.4 Потоки насыщения, ед./ч и Фазовые коэффициенты, которые в дальнейшем могут не приводиться если  $T_{ц}$  не изменяется.

Расчеты численных значений величин ( $K_a; R_{уел}; R_{Пл}; R_{Плmax}; T_{ц}; z$ ) для таблиц типа П.1.2 проведены с использованием соответствующих формул (2.38; 2.32; 2.39; 2.40; 2.1; 2.25; 2.26). Размерность значений опасности пересечений ( $K_a$ ) и конфликтной загрузки ( $R_{уел}, R_{Пл}, R_{Плmax}$ ) через уровни БД в ед., – длительности ( $T_{ц}$ ) циклов в с, – резерва ( $z$ ) пропускной способности в долях от единицы. Резерв пропускной способности рассчитан в двух вариантах №1 и №2 для таблицы П.1.5 – по формулам (2.25) и (2.26).

Например, – в типовых таблицах П.1.5 для вариантов №1 и №2 значения  $z$  проставляются с интервалами их разброса. В соответствующих строках "Маневры на РП" типовых таблиц П.1.2 – используется при исследованиях разрешенный ПДД РФ и практически реализуемый набор нижеследующих вариантов маневрирования транспортных средств на регулируемом пересечении:

1. Все маневры разрешены; 2. Нет только разворотов;
3. Нет только ПП; 4. Нет разворотов и ПП;
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП;
6. По п.5 нет разворотов;
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения;
8. По п.7 нет разворотов; 9. По п.7 нет ПП.

При этом виды маневров 4, 5 и 9 в наборе вариантов особенно актуальны, так как демонстрируют степень влияния на оценки уровней требований к БД и пропускную способность на пересечениях (перекрестках) при выполнении условий – "не допускать пересечения транспортных и пешеходных потоков в одной фазе светофорного цикла регулирования".

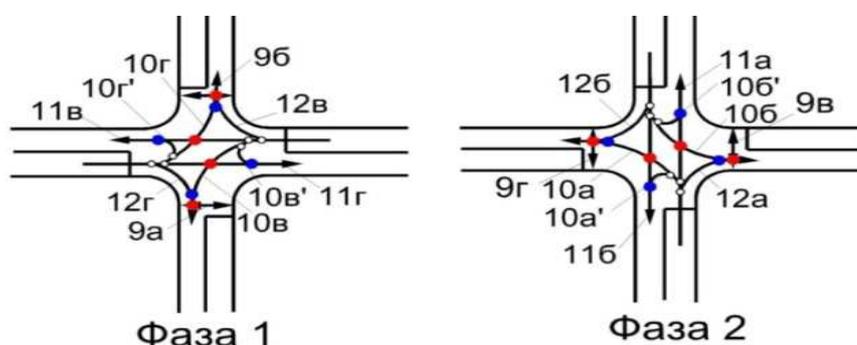


Рисунок П.1.1 – Двухфазное управление в моделях СОД с КЗ при однополосном движении на Х-образном РП с просачиванием ТП со встречными ТП и с ПП,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.1 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	400	11б	400	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.1.2 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{цел}}$	$R_{\text{пл}}$	$R_{\text{плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}, \text{с}$	$z$
1. Все маневры разрешены	13,3	5,9	6,3	3,3	70	0,8-0,82
2. Нет только разворотов	12,4	4,9	5,0	3,1	70	0,8-0,82

При расчете структуры цикла  $T_{\text{ц}}$  светофорной сигнализации и основных его параметров [87, 123, 157] в таблице П.1.3 скомпонованы численные значения  $a$ ,  $b$  и  $c$  – отражающие интенсивности движения транспортных потоков (ТП) – в процентах (%). Соответственно для движений: прямо, налево и направо от общей интенсивности в рассматриваемом направлении данной фазы регулирования. В таблице П.1.4 соответственно скомпонованы интенсивности транспортных потоков насыщения по направлениям движения и фазовые коэффициенты, которые получены с использованием данных интенсивности таблицы П.1.1.

Таблица П.1.3 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г		
10а	16,67	10б	16,67	10в	16,67	10г	16,67	$b$
11а	66,67	11б	66,67	11в	66,67	11г	66,67	$a$
12а	16,67	12б	16,67	12в	16,67	12г	16,67	$c$

Таблица П.1.4 – Потоки насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{\text{Нпрям}}$	1837,5		$Y_A$	0,38
$M_{\text{Нл}}=$	1575		$Y_B$	0,38
$M_{\text{Нб}}=$	1575		$Y_B$	0,38
$M_{\text{Нв}}=$	1575		$Y_G$	0,38
$M_{\text{Нг}}=$	1575			

Сумма фазовых коэффициентов:  $\Sigma Y = 0,76$ .

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{ц} = 32 + 3 + 32 + 3 = 70 \text{ с.}$$

Проверка пропускной способности всей полосы ( $N_{п}$ ) и каждого направления движения из одной полосы в двух вариантах расчета № 1 [7] в дальнейшем по Фишельсону и № 2 [121] в дальнейшем по ОДМ с учетом принятия (по рекомендациям раздел 2.1) интервала времени между автомобилями при прохождении стоп-линии на РП ( $t_n=1,3$  с) дает результаты, сведенные в таблицу П.1.5.

Таблица П.1.5 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{п} =$	1186,81								$z$
	747,69	$z_A =$	0,80		$c_A =$	731,43	731,43	$z_A =$	0,82
$N_A =$	747,69	$z_B =$	0,80		$c_B =$	731,43	731,43	$z_B =$	0,82
$N_B =$	747,69	$z_B =$	0,80		$c_B =$	731,43	731,43	$z_B =$	0,82
$N_B =$	747,69	$z_{Г} =$	0,80		$c_{Г} =$	731,43	731,43	$z_{Г} =$	0,82

### П.1.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при отсечках ТП

#### *Отсечка 1 по входу Б в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП*

Организация отсечки [137] в цикле светофорного управления целесообразна, когда на РП используются транспортные светофоры типа Т.1 (по ГОСТ Р 52282–2004) и на одной из пересекающихся улиц (дорог) мегаполиса численные значения интенсивности прямых встречных транспортных потоков отличаются (маятниковостью, т.е. неуравновешенностью) в определенный период времени в пределах 10 % и более. Например, на модели рисунка П.1.2 в фазе 2 транспортный поток по входу А – 11а (400 ед./ч) больше встречного по входу Б – ТП 11б (250 ед./ч, см. таблицу П.1.6 исходных данных). Такое состояние позволяет вводить отсечку ТП 11б после его проезда (т. е. прерывать движение ТП на входе Б – корректным переключением зеленого сигнала в красный). При этом на входе А продолжает гореть зеленый сигнал на период времени квазифазы (т. е. периода времени пока не проедет ТП 11а). Положительный эффект такого алгоритма управления состоит в том, что переход к квазифазе 3 исключает *промежуточный такт* (переходной интервал, см. рисунок 1.14), что и демон-

стрируется при написании структуры длительности светофорного цикла. Термин квазифаза введен и использован автором в [157, 164].

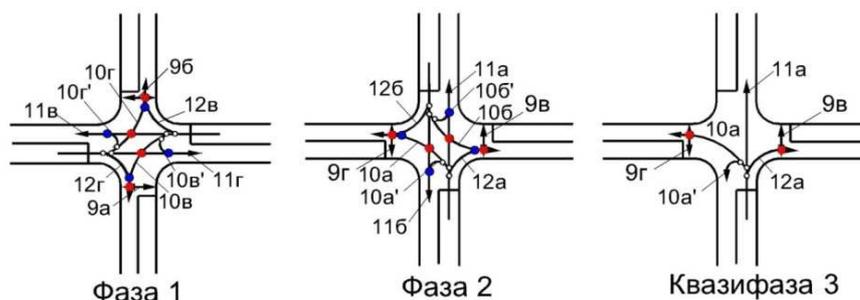


Рисунок П.1.2 – Трехфазное управление в модели СОД с КЗ однополосных Х-образных РП и отсечкой по входу Б в квазифазе 3 с просачиванием ТП через ПП 9в и 9г, при пофазном I методе управления в фазах 1–3 (здесь и далее конфликтные точки в квазифазах при подсчете КЗ не учитываются, поскольку учтены в основных фазах до прерывания ТП), когда интенсивность ТП 11а > 11б (на 37 %) делается отсечка (прерывание ТП 11б), на время отсечки в квазифазе 3 ликвидируются конфликтные пересечения (просачивания) левоповоротного ТП 10а со встречным ТП 11б,  $T_{ц} = 70$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.6 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	400	11б	250	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.1.7 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на ОРП	$R_{цел}$	$R_{пл}$	$R_{плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	13,9	5,2	6,9	3,1	70	0,72–0,8
2. Нет только разворотов	12,7	4,8	5,5	2,7	70	0,72–0,8

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{ц} = 32 + 3 + 25 + 7 + 3 = 70 \text{ с.}$$

Проверка пропускной способности светофорного объекта

Таблица П.1.8 – Пропускная способность РП

Вариант № 1		Вариант № 2							
$N_{\Gamma} =$	1186,81	ф1							
	989,01	ф2					С		
$N_A =$	747,69		$z_A =$	0,80	$c_A =$	731,43	731,43	$z_A =$	0,82
$N_B =$	623,08		$z_B =$	0,72	$c_B =$	571,43	571,43	$z_B =$	0,79
$N_{B'} =$	747,69		$z_{B'} =$	0,80	$c_{B'} =$	731,43	731,43	$z_{B'} =$	0,82
$N_{\Gamma} =$	747,69		$z_{\Gamma} =$	0,80	$c_{\Gamma} =$	731,43	731,43	$z_{\Gamma} =$	0,82

Отсечка 2 по входу Б в квазифазе 3 без «просачивания» ТП через ПП

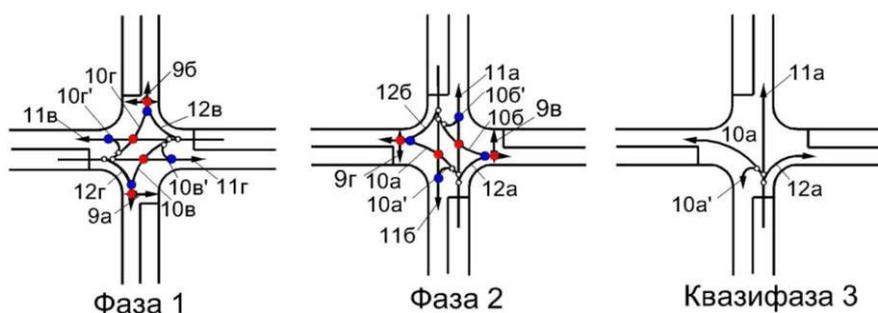


Рисунок П.1.3 – Трехфазное управление в модели СОД с КЗ однополосных Х-образных РП и отсечкой по входу Б в квазифазе 3 без просачивания ТП,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.9 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100	
11а	400	11б	250	11в	400	11г	400	
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100	

Таблица П.1.10 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	13,9	5,1	6,6	3,1	70	0,9
2. Нет только разворотов	12,6	4,6	5,3	2,7	70	0,9

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 32 + 3 + 25 + 7 + 3 = 70 \text{ с.}$$

*Отсечка 3 по входу А в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП*

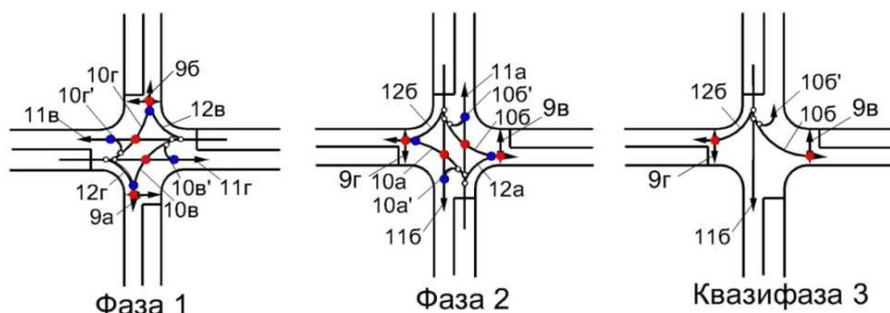


Рисунок П.1.4 – Трехфазное управление в модели СОД с КЗ однополосных Х-образных РП и отсечкой по входу А в квазифазе 3 с просачиванием ТП через ПП 9В и 9Г,  $T_{\text{ц}} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.11 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	250	11б	400	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.1.12 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	13,9	5,2	6,9	3,1	70	0,9
2. Нет только разворотов	12,7	4,8	5,5	2,7	70	0,9

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 32 + 3 + 25 + 7 + 3 = 70 \text{ с.}$$

*Отсечка 4 по входу А в квазифазе 3 без «просачивания» ТП*

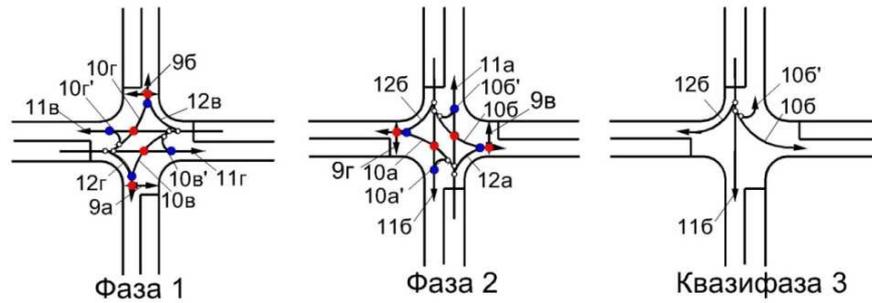


Рисунок П.1.5 – Трехфазное управление в модели СОД с КЗ однополосных Х-образных РП и отсечкой по входу А в квазифазе 3 без просачивания ТП,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.13 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	250	11б	400	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.1.14 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	12,6	4,6	5,3	2,7	70	0,9
2. Нет только разворотов	13,9	5,1	6,6	3,1	70	0,9

Структура длительности светового цикла:

$$T_{ц} = 32 + 3 + 25 + 7 + 3 = 70 \text{ с.}$$

Отсечка 5 по входу В в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП

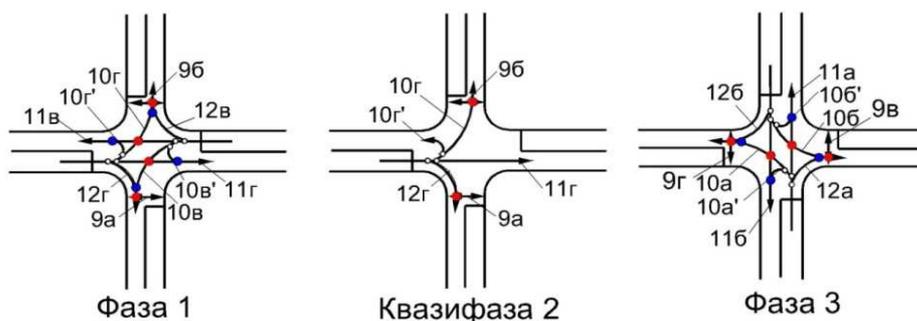


Рис.П.1.6. Трехфазное управление в модели СОД с КЗ однополосных Х-

образных РП и отсечкой по входу В в квазифазе 2 с просачиванием ТП через ПП 9а и 9б,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.15 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	400	11б	400	11в	250	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.1.16 – Конфликтные нагрузки и пропускная способность РП

Маневры на ОРП	$R_{Шел}$	$R_{ГЛ}$	$R_{ГЛmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	13,9	5,2	6,9	3,1	70	0,9
2. Нет только разворотов	12,7	4,8	5,5	2,7	70	0,9

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 32 + 3 = 70 \text{ с.}$$

*Отсечка б по входу В в квазифазе 2 без «просачивания» ТП*

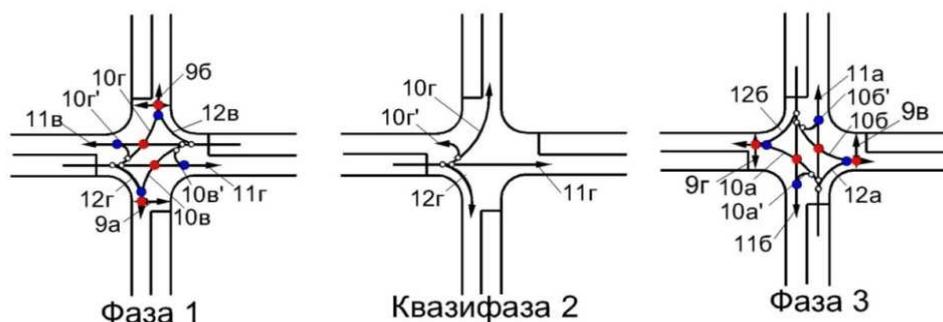


Рисунок П.1.7 – Трехфазное управление в модели СОД с КЗ однополосных Х-образных ОРП и отсечкой по входу В в квазифазе 2 без просачивания ТП,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28;

вариант – 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.17 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100	
11а	400	11б	400	11в	250	11г	400	
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100	

Таблица П.1.18 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	12,6	4,6	5,3	2,7	70	0,9
2. Нет только разворотов	13,9	5,1	6,6	3,1	70	0,9

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 32 + 3 = 70 \text{ с.}$$

*Отсечка 7 по входу Г в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП*

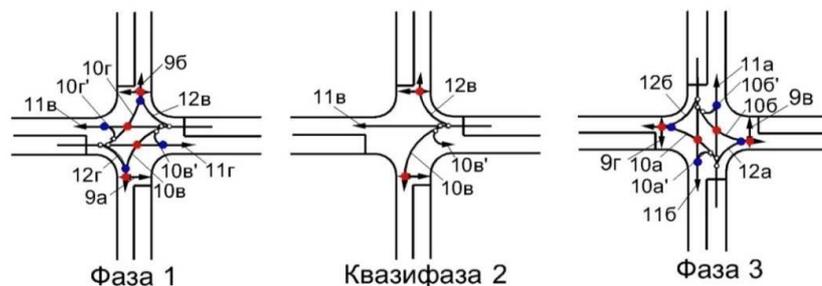


Рис.П.1.8. Трехфазное управление в модели СОД с КЗ однополосных Х-образных РП и отсечкой по входу Г в квазифазе 2 с просачиванием ТП через ПП 9а и 9б,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.19 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100	
11а	400	11б	400	11в	400	11г	250	
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100	

Таблица П.1.20 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	13,9	5,2	6,9	3,1	70	0,9
2. Нет только разворотов	12,7	4,8	5,5	2,7	70	0,9

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 32 + 3 = 70 \text{ с.}$$

**Отсечка 8 по входу Г в квазифазе 2 без «просачивания» ТП** аналогична по расчетным параметрам отсечке рисунка П.1.7, поэтому не приводится.

### П.1.3 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при отсечках ТП

**Отсечка 1 по входам В и Б в квазифазах 2 и 4 с «просачиванием» ТП через ПП**

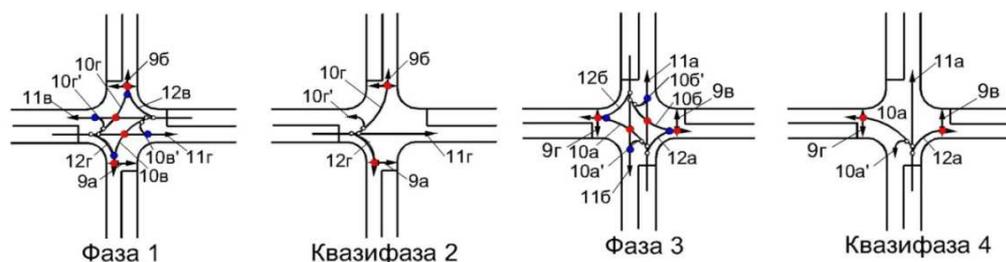


Рисунок П.1.9 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ однополосного Х-образного РП с вариантом квазифаз 2 и 4 и отсечкой по входам В и Б с просачиванием ТП через ПП 9а и 9б и 9в и 9г,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–4, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.21 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А	Б	В	Г			
10а	100	10б	100	10г	100		
11а	400	11б	250	11в	250	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.1.22 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	14,3	4,9	6,6	3,2	70	0,72–0,96
2. Нет только разворотов	13,0	4,5	5,3	3,0	70	0,72–0,96

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 25 + 7 + 3 = 70$  с.

*Проверка пропускной способности светофорного объекта*

Таблица П.1.23 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2					
$N_{п}$	1186	$\phi 1 + \phi$								
	989,	$\phi 1$					$C$			
$N_A =$	747,		$z_A$	0,80	$c_A$	731,	731,	$z_A$	0,82	
$N_B =$	623,		$z_B$	0,72	$c_B$	571,	571,	$z_B$	0,79	
$N_{B'} =$	623,		$z_{B'}$	0,72	$c_{B'}$	571,	571,	$z_{B'}$	0,79	
$N_{Г} =$	623,		$z_{Г}$	0,96	$c_{Г}$	731,	731,	$z_{Г}$	0,82	

*Отсечка 2 по входам В и Б в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП*

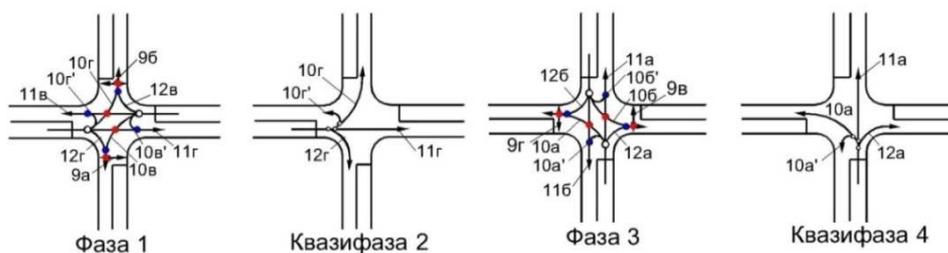


Рисунок П.1.10 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ однополосного Х-образного РП и отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачивания ТП,  $T_{ц} = 70$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–4, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант – 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 8; всего 20

Таблица П.1.24 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	400	11б	250	11в	250	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.1.25 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	13,0	4,1	4,9	3,0	70	0,72–0,96
2. Нет только разворотов	14,3	4,5	6,2	3,2	70	0,72–0,96

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 25 + 7 + 3 = 70 \text{ с.}$$

Комбинаторная математика позволяет получить 4 вида комбинаций для состояний с «просачиванием» и без "просачивания" в каждом из 4-х вариантов отсечки для 2-х квазифаз 2 и 4, поэтому в полной группе всего будет 16 видов отсечек.

Исследования остальных 14 видов отсечек в четырехфазно управляемых моделях СОД с КЗ однополосных Х-образных перекрестках (пересечениях) а не приводятся, поскольку их результаты расчетных данных для таблиц конфликтных загрузок имеют аналогичные данные, как и в таблицах для моделей СОД с КЗ рисунки П.1.9 и П.1.10.

#### **П.1.4 Функциональные зависимости (номограмма) оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа конфликтных точек (КТ) для однополосных Х-образных РП по их моделям СОД с КЗ**

Табличные результаты по конфликтным загрузкам и пропускным способностям РП из разделов П.1.1 – П.1.3 позволяют построить на рисунке П.1.11 функциональные зависимости (номограмму) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{\text{шел}}$ ,  $R_{\text{пл}}$ ,  $R_{\text{плmax}}$ , с полученным постоянным циклом светофорного управления в моделях СОД с КЗ для однополосных РП от числа конфликтных точек.

На полученные степенные зависимости указанных оценок нанесена и степенная зависимость для цикла светофорной сигнализации, которая имеет постоянное значение  $T_{\text{ц}} = 70 \text{ с.}$

На основании разработанной классификации моделей СОД с КЗ рисунка 3.1 и полученных на рисунке П.1.11 оценок безопасности движения по трем разным методам можно сделать выводы:

1. По показателю степени опасности пересечения  $K_a$  решена задача 3), обеспечивающая (ПУТБД) повышенный уровень требований к безопасности

движения ( $\leq 3$  ед.) с I методом светофорного пофазного управления, которая не допускает маневры с "просачиванием" ТП. Однако в исследованных моделях повсюду допускались "просачивания" ТП, да и в реальной практике РП просачивания имеют место. Следовательно, метод оценки через  $K_a$  не отражает действительности по опасности пересечения для класса однополосных Х-образных РП.

2. По показателю оценки уровня конфликтной загрузки (КЗ) одноуровневых пересечений  $R_{\text{шел}}$ , решена задача (НУТБД) недопустимого уровня требований к безопасности движения ( $> 12$  ед.), с IV методом управления без светофорного управления (аварийный режим). Следовательно, показатель  $R_{\text{шел}}$  конфликтной загрузки дал по классу однополосных Х-образных РП уровень оценки безопасности движения (БД), который запрещен к эксплуатации. Это для исследуемого класса моделей СОД с КЗ на РП также не отражает действительность по БД.

3. По показателям оценки уровней КЗ одноуровневых регулируемых пересечений – для диагностического контроля ( $R_{\text{плmax}}$ ) и для уточненной оценки уровня БД ( $R_{\text{пл}}$ ) решена задача "2)". Она обеспечивает (ПрУТБД) промежуточный уровень требований к безопасности ( $>3-\leq 8$  ед.) по I методу пофазного управления, который допускает некоторые маневры с "просачиванием" транспортных средств, как через ТП, так и – ПП. Это соответствует реальной практике эксплуатируемых сегодня моделей СОД с КЗ на РП.

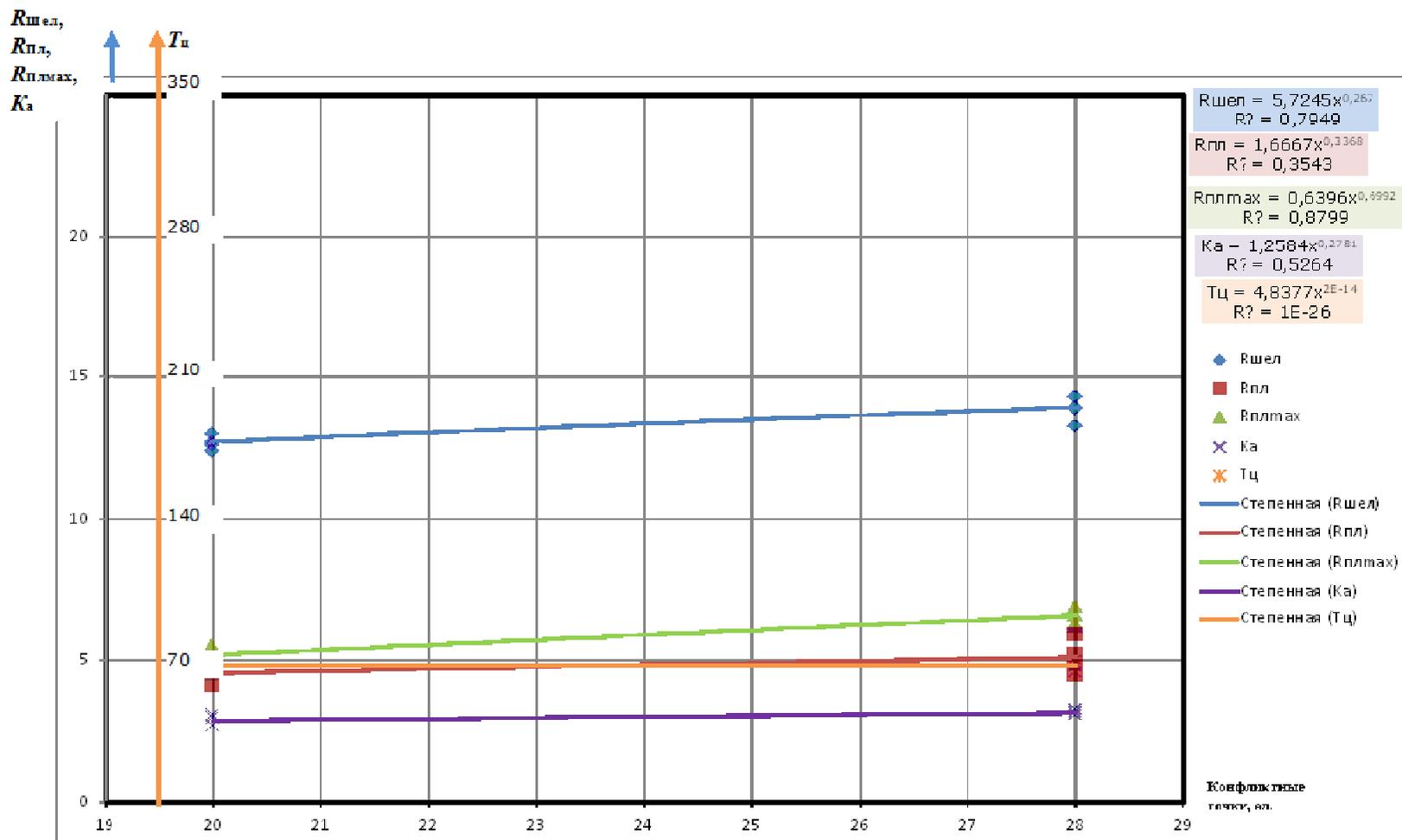


Рисунок П.1.11 – Функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плмак}$  при постоянном цикле светофорного управления ( $T_{ц} = 70$  с) в их моделях СОД с КЗ для однополосных РП от числа конфликтных точек (20–28 шт.)

## **П.2 Методика оценки УТБД и ПС двухполосных Х-образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП**

### **Содержание**

П.2.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых двухполосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ.....	290
П.2.2 Оценка УТБД трехфазно управляемых двухполосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по моделям СОД с КЗ .....	292
П.2.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП .....	294
П.2.4 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП .....	298
П.2.5 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП .....	319
П.2.6 Оценка УТБД и ПС пятифазно управляемых двухполосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП .....	324
П.2.7 Функциональные зависимости (номограмма) оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ для двухполосных Х- образных РП по СОД с КЗ .....	329

## П.2.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых двухполосных X-образных РП по моделям СОД с КЗ

Традиционный двухфазный разъезд транспортно-пешеходных потоков (ТПП) на РП представлен его моделью СОД с КЗ для РП на рисунке П.2.1. Для этой модели и далее для других видов моделей по методике шаблона приложения П.1 проведены необходимые расчеты оценок безопасности движения  $K_a, R_{исл}, R_{Пл}, R_{Плmax}$  и циклов светофорного управления с пропускной способностью. Цель таких оценок – построение их функциональных зависимостей для разных методов управления при типовых интенсивностях движения ТПП в разнополосных РП от числа конфликтных точек на них.

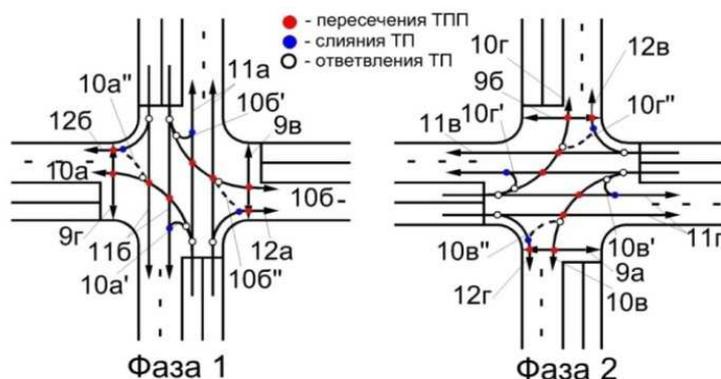


Рисунок П.2.1 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ на РП при двухполосном движении с просачиванием ТП – через встречные ТП и – ПП и пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, при интенсивностях для левоповоротных транспортных потоков  $N_{ij} \leq 120$  ед./ч, фазы –  $i = 1, 2$ ; направления движения –  $j = 10a \dots 10g$ ,  $T_{ц} = 44$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.1 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	110	10в	80	10г	70
11а	850	11б	800	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Интенсивность пешеходного движения условно принимается 600 чел./ч

Таблица П.2.2 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{ГЛ}}$	$R_{\text{ГЛmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,3	7,9	10,5	4,1	44	0,67–0,93
2. Нет только разворотов	20,0	7,5	9,2	3,8	44	0,67–0,93
3. Нет только ПП	12,1	4,7	7,1	0,7	44	0,67–0,93
4. Нет разворотов и ПП	10,8	4,3	5,8	0,54	44	0,67–0,93

### Расчет режима светофорного регулирования

Таблица П.2.3 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г		
10а	8,53	10б	10,53	10в	11,76	10г	12,28	$b$
11а	65,89	11б	76,56	11в	79,41	11г	70,18	$a$
12а	25,58	12б	12,92	12в	8,82	12г	17,54	$c$

Таблица П.2.4 – Потoki насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

$M_{\text{Нпрям}}$	3675		$Y_A$	0,39
$M_{\text{Нл=}}$	3258,25		$Y_B$	0,32
$M_{\text{Нб=}}$	3307,10		$Y_B$	0,21
$M_{\text{Нв=}}$	3309,93		$Y_G$	0,18
$M_{\text{Нг=}}$	3235,14			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,39 + 0,21 = 0,60$

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 22 + 3 + 16 + 3 = 44$  с.

Таблица П.2.5 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\text{п}} =$	818,18	ф1							
	572,73	ф2						С	
$N_A =$	1390,91		$z_A =$	0,93	$c_A =$	800,00	1600,00	$z_A =$	0,81
$N_B =$	1345,91		$z_B =$	0,78	$c_B =$	800,00	1600,00	$z_B =$	0,65
$N_B =$	904,91		$z_B =$	0,75	$c_B =$	581,82	1163,64	$z_B =$	0,58
$N_G =$	847,64		$z_G =$	0,67	$c_G =$	581,82	1163,64	$z_G =$	0,49

## П.2.2 Оценка УТБД трехфазно управляемых двухполосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по моделям СОД с КЗ

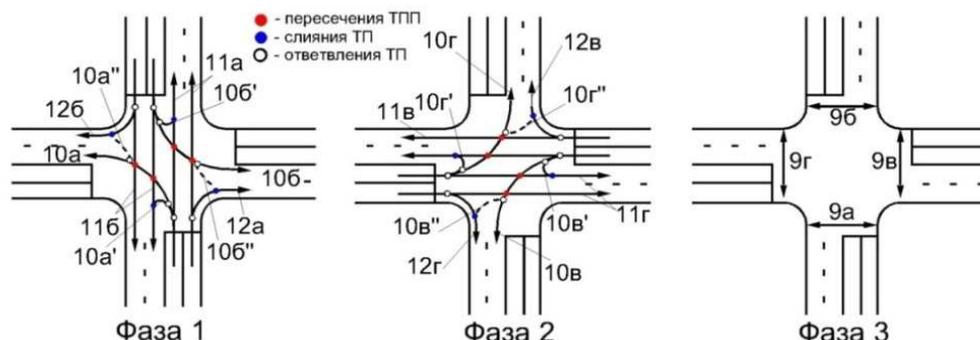


Рисунок П.2.2 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с отдельной пешеходной фазой 3,  $T_{ц} = 81$  с, с пофазным I методом управления в фазах 1, 2, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Ее таблица исходных данных аналогична табл. П.2.1.

Таблица П.2.6 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{цел}$	$R_{пл}$	$R_{плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,1	4,7	7,1	0,7	81	0,5–0,98
6. По п. 5 нет разворотов	10,8	4,3	5,8	0,54	81	0,5–0,98

### Расчет режима светофорного регулирования

Таблица П.2.7 – Интенсивности движения ТП, %

	А	Б		В		Г		
10а	8,53	10б	10,53	10в	11,76	10г	12,28	<i>b</i>
11а	65,89	11б	76,56	11в	79,41	11г	70,18	<i>a</i>
12а	25,58	12б	12,92	12в	8,82	12г	17,54	<i>c</i>

Таблица П.2.8 – Поток насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прям}} =$	3675		$y_A =$	0,39
$M_{H_A} =$	3258,25		$y_B =$	0,32
$M_{H_B} =$	3307,10		$y_B =$	0,21
$M_{H_B} =$	3309,93		$y_\Gamma =$	0,18
$M_{H_\Gamma} =$	3235,14			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,39 + 0,21 = 0,60$ .

Длительность разрешающего сигнала для пешеходного движения:  $t_{\text{пш}} = 16$  с.

Таблица П.2.9 – Уточненная длительность цикла регулирования

$A =$	0,40
$B =$	38,09
$C =$	462,50
$T_{\text{ц}} =$	81
$k =$	1,15

Таблица П.2.10 – Длительности основных разрешающих сигналов светофора, с

$t_{01} =$	37
$t_{02} =$	19
$t_{03} =$	16

Структура режима светофорного регулирования:

$$T_{\text{ц}} = 37 + 3 + 19 + 3 + 16 + 3 = 81 \text{ с.}$$

Таблица П.2.11 – Пропускная способность РП

Вариант №1				Вариант №2			
$N_{\text{п}} =$	777,78	$\phi 1$					
	377,78	$\phi 2$				C	
$N_A =$	1322,22	$z_A =$	0,98	$c_A =$	730,86	1461,73	$z_A =$ 0,88
$N_B =$	1279,44	$z_B =$	0,82	$c_B =$	730,86	1461,73	$z_B =$ 0,71
$N_B =$	1228,89	$z_B =$	0,55	$c_B =$	375,31	750,62	$z_B =$ 0,91
$N_\Gamma =$	1151,11	$z_\Gamma =$	0,50	$c_\Gamma =$	375,31	750,62	$z_\Gamma =$ 0,76

Другим видом трехфазно управляемой модели СОД с КЗ двухполосного РП может быть модель с размещенной отдельной пешеходной фазой на позиции фазы 2, это позволит выполнить требование "терпеливого" ожидания для пешеходов, то есть – быть в пределах 40 с.

### П.2.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосных Х-образных РПпо моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП

Отсечка 1 по входу А в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП

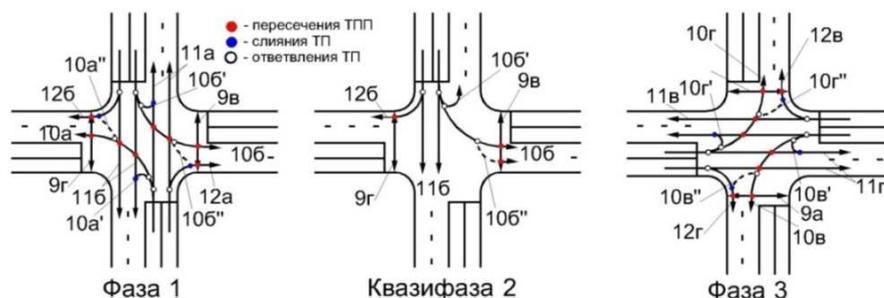


Рисунок П.2.3 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазе 2 с просачиванием ТП через ПП и пофазном I методе управления в фазах 1–3, когда левоповоротному потоку 10б требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi 1+$  квазифаза2 – это возможно отсечкой длительности потока 10а ( $11б > 10а$  на 12 %),  $T_{ц} = 54$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.12 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	80	10г	70
11а	700	11б	800	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.13 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	20,7	7,4	10,0	4,4	54	0,69–0,92
2. Нет только разворотов	19,4	7,0	8,8	4,2	54	0,69–0,92
3. Нет только ПП	12,0	4,4	6,6	0,64	54	0,69–0,92
4. Нет разворотов и ПП	10,6	4,0	5,3	0,5	54	0,69–0,92

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 16 + 3 = 54 \text{ с.}$$

Таблица П.2.14 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\text{п}} =$	766,7	$\phi 1$	1000,0	$\phi 1 + \phi 2$					
	466,7	$\phi 3$				С			
$N_{\text{А}} =$	1303,3		$z_{\text{А}} =$	0,87	$c_{\text{А}} =$	740,7	1481,5	$z_{\text{А}} =$	0,77
$N_{\text{Б}} =$	1645,0		$z_{\text{Б}} =$	0,69	$c_{\text{Б}} =$	948,2	1896,3	$z_{\text{Б}} =$	0,60
$N_{\text{В}} =$	737,3		$z_{\text{В}} =$	0,92	$c_{\text{В}} =$	474,1	948,2	$z_{\text{В}} =$	0,72
$N_{\text{Г}} =$	690,7		$z_{\text{Г}} =$	0,83	$c_{\text{Г}} =$	474,1	948,2	$z_{\text{Г}} =$	0,60

Отсечка 2 по входу А в квазифазе 2 без «просачивания» ТП

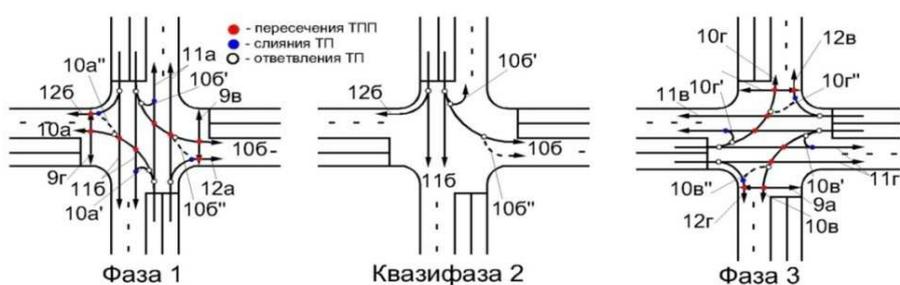


Рисунок П.2.4 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазе 2 без просачивания ТП и пофазном I методе управления в

фазах 1–3, когда  $11б > 11а$  и левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточно длительности разрешающего сигнала фазы 1,  $T_{\text{ц}} = 54$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений

● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.15 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	80	10г	70	
11а	700	11б	800	11в	540	11г	400	
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100	

Таблица П.2.16 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	19,4	6,7	8,3	4,2	54	0,69–0,92
2. Нет только разворотов	20,7	7,0	9,6	4,4	54	0,69–0,92
3. Нет только ПП	10,7	4,0	5,3	0,45	54	0,69–0,92
4. Нет разворотов и ПП	12,0	4,4	6,6	0,64	54	0,69–0,92

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 16 + 3 = 54$  с.

Отсечка 3 по входу Б в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП

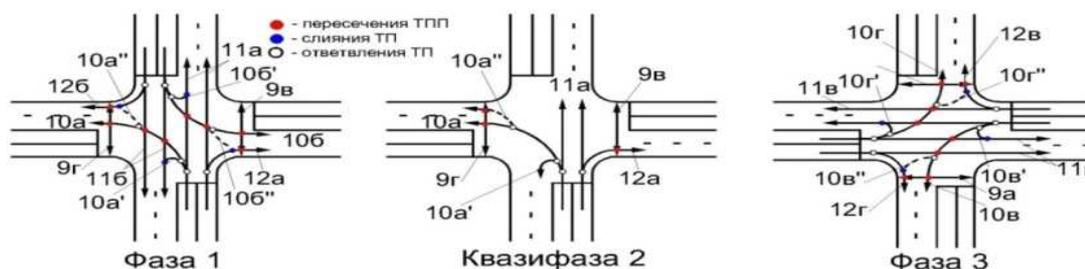


Рисунок П.2.5 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазе 2 с просачиванием ТП через ПП и пофазном I методе управления в фазах 1–3, когда  $11a > 11b$  (17 %) и левоповоротный транспортный поток  $10a \geq 120$  ед./ч, а пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала ф1+ квазифаза 2,  $T_{\text{ц}} = 54$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.17 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А	Б	В	Г			
10а	200	10б	110	10в	80	10г	70
11а	850	11б	700	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.18 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	20,7	7,4	10,0	4,4	54	0,69–0,92
2. Нет только разворотов	19,4	7,0	8,8	4,2	54	0,69–0,92
3. Нет только ПП	12,0	4,4	6,6	0,6	54	0,69–0,92
4. Нет разворотов и ПП	10,6	4,0	5,3	0,5	54	0,69–0,92

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 3 = 54 \text{ с.}$$

Отсечка 4 по входу Б в квазифазе 2 без «просачивания» ТП

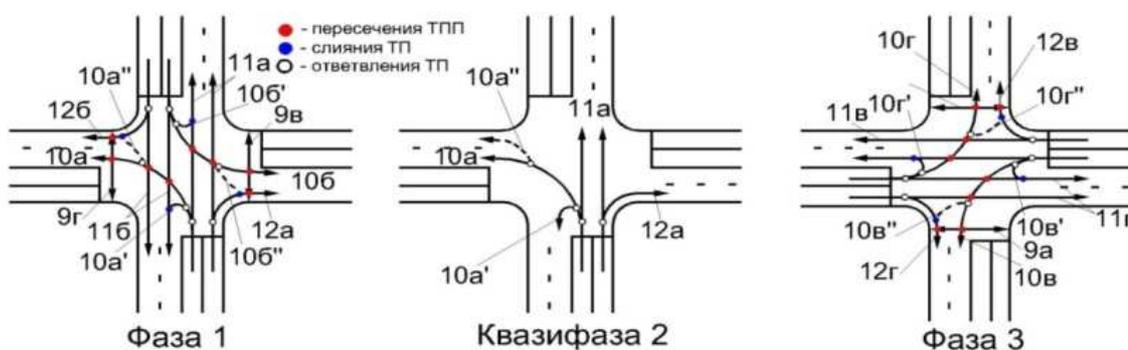


Рисунок П.2.6 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазе 2 без просачивания ТП через ПП и пофазном I методе управления в фазах 1–3, когда  $11a > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10a \geq 120$  ед./ч, а пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала ф1,  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 3 = 54$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.19 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	80	10г	70
11а	850	11б	700	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.20 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	20,7	7,0	9,6	4,4	54	0,69–0,92
2. Нет только разворотов	19,4	6,7	8,3	4,2	54	0,69–0,92
3. Нет только ПП	12,0	4,4	6,6	0,64	54	0,69–0,92
4. Нет разворотов и ПП	10,7	4,0	5,3	0,45	54	0,69–0,92

Структура длительности светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 16 + 3 = 54 \text{ с.}$$

При организации квазифазы 3 после последовательности фаз 1 и 2 легко организуются соответствующие трехфазно управляемые СОД с КЗ двухполосных РП с нижеследующими комбинаторными видами отсечек 5–8. Для таких СОД с КЗ таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП аналогичны, выше рассчитанным оценкам – для видов отсечек 1–4. Поэтому они не приводятся, а только перечисляются ниже.

***Отсечка 5 по входу В в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП***

***Отсечка 6 по входу В в квазифазе 3 без «просачивания» ТП***

***Отсечка 7 по входу Г в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП***

***Отсечка 8 по входу Г в квазифазе 3 без «просачивания» ТП***

#### **П.2.4 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП**

***Отсечка 1 по входам А и В квазифаз 2 и 4 с «просачиванием» ТП через ПП***

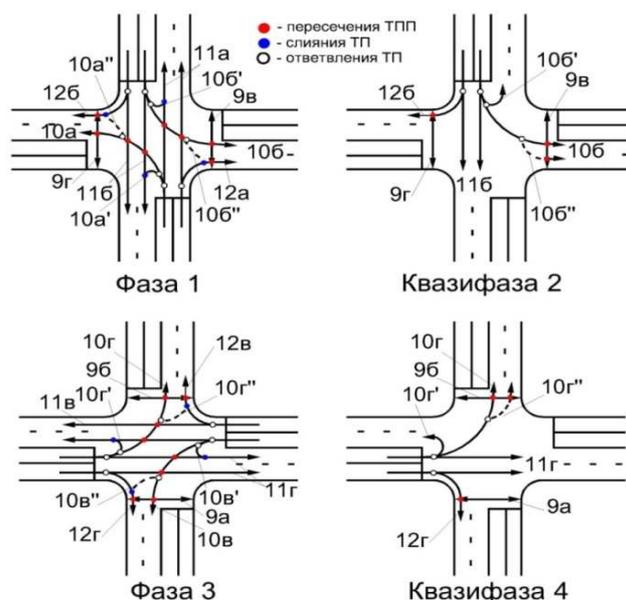


Рисунок П.2.7 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 и с просачиванием ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11б > 11а$  и левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi 1 + \kappa \phi 2$ , а также  $11г > 11в$  и левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi 3 + \kappa \phi 4$ ,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.21 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	100	10г	200	
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540	
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100	

Таблица П.2.22 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	7,0	9,2	4,5	61	0,78–0,99
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,99
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,99
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,99

Структура светофорного цикла:

$$T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61 \text{ с.}$$

Таблица П.2.23 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{п} =$	678,7	ф1	885,3	ф1+ф2					
	413,1	ф3	619,7	ф3+ф4			С		
$N_{А} =$	1153,8		$z_{А} =$	0,99	$c_{А} =$	655,7	1311,5	$z_{А} =$	0,87
$N_{Б} =$	1456,		$z_{Б} =$	0,78	$c_{Б} =$	839,3	1678,7	$z_{Б} =$	0,68
$N_{В} =$	652,7		$z_{В} =$	0,86	$c_{В} =$	419,6	839,3	$z_{В} =$	0,67
$N_{Г} =$	917,1		$z_{Г} =$	0,92	$c_{Г} =$	603,2	1206,6	$z_{Г} =$	0,70

*Отсечка 2 по входам А и В в квазифазах 2 и 4 с «просачиванием»  
и без «просачивания» ТП через ПП*

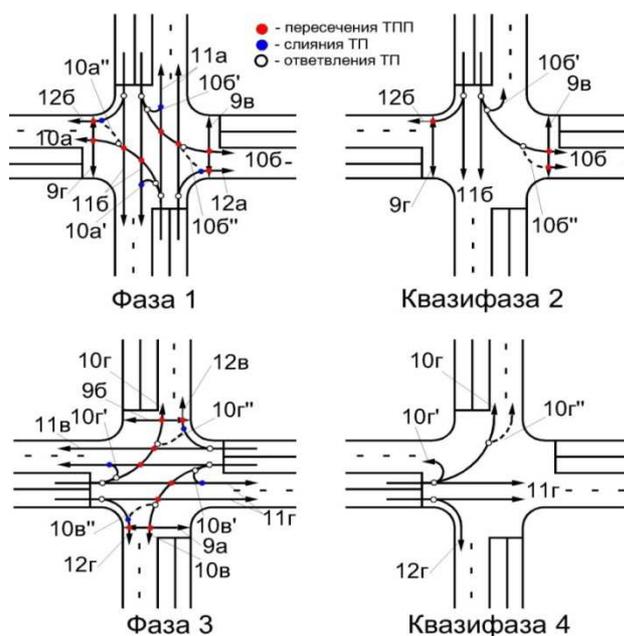


Рисунок П.2.8 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП и отсечкой в квазифазах 2 и 4 с просачиванием и без просачивания ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11б > 11а$  и левопо-

воротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi_1 + \kappa\phi_2$ , а также  $11г > 11в$  и левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.24 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	110	10г	200
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.25 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,7	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 3 по входам А и В в квазифазах 2 и 4 без «просачивания»  
и с «просачиванием» ТП через ПП*

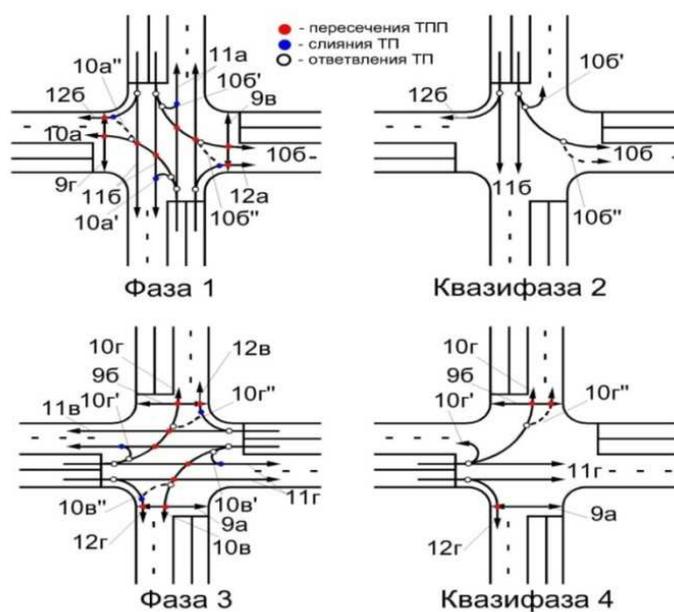


Рисунок П.2.9 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП и отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачивания и с просачиванием ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11б > 11а$  и левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, а также  $11г > 11в$  и левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала ф3+кф4,  $T_{\text{д}} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант – 3, если пешеходного движения нет (т.е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.26 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А	Б	В	Г			
10а	110	10б	200	10в	80	10г	200
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.27 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,7	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

Отсечка 4 по входам А и В в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП

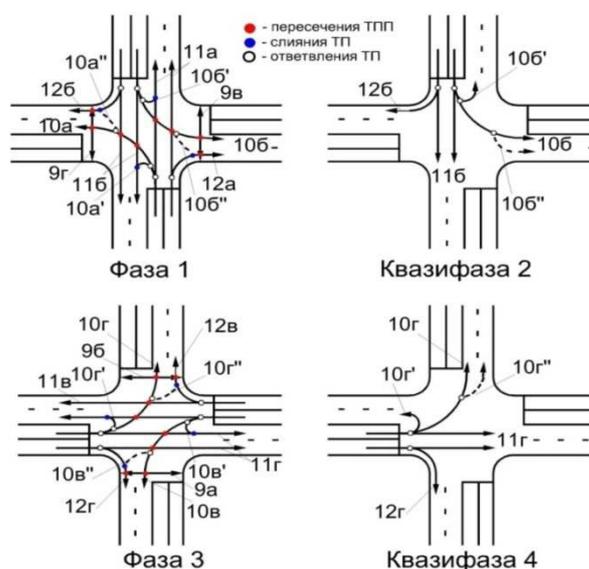


Рисунок П.2.10 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачиваний ТП при пофазном I методе управления в фазах 1 – 4, когда  $11б > 11а$  и левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточно длительность разрешающего сигнала ф1, а также  $11г > 11в$  и левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б достаточно длительность разрешающего сигнала ф3,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и

разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4;  
отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.28 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	110	10г	200
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.29 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,5	8,8	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,2	7,5	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,42	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 5 по входам А и Г в квазифазах 2 и 4 с «просачиванием» ТП через ПП*

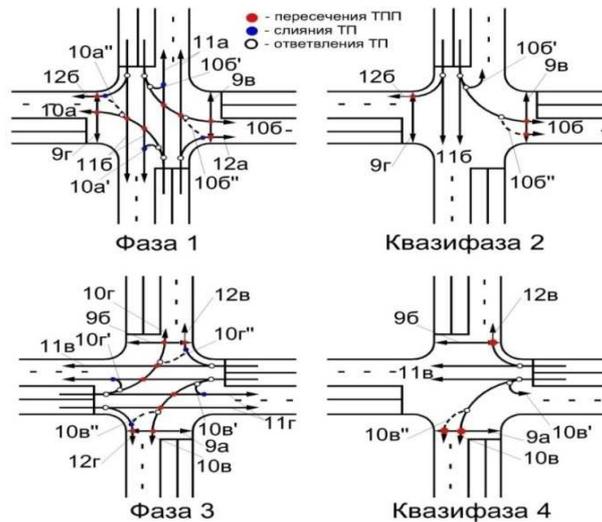


Рисунок П.2.11 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 с просачиванием ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11б > 11а$  и левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала ф1+кф2, а также  $11в > 11г$  и левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающих сигналов ф3+кф4,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликт-

ные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.30 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	200	10г	110
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.31 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	7,0	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка б по входам А и Г в квазифазах 2 и 4 без просачивания» и с «просачиванием» ТП через ПП*

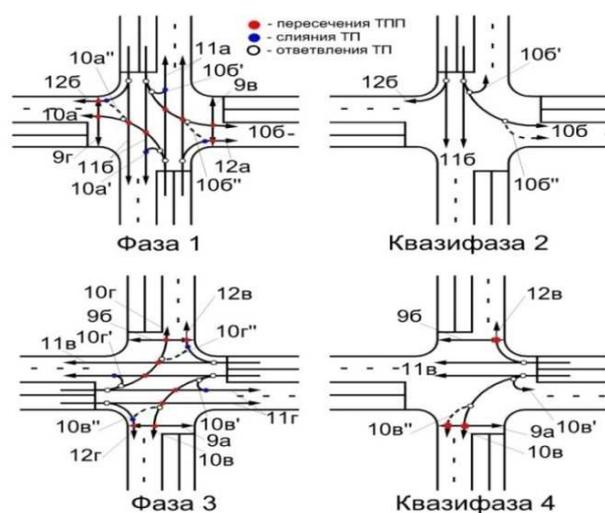


Рисунок П.2.12 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачивания и с просачиванием ТП через

ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11б > 11а$  и левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала ф1, а также  $11в > 11г$  и левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала ф3 + кф4,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.32 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	200	10г	80
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.33 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,7	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 7 по входам А и Г в квазифазах 2 и 4 с «просачиванием» и без «просачивания» ТП через ПП*

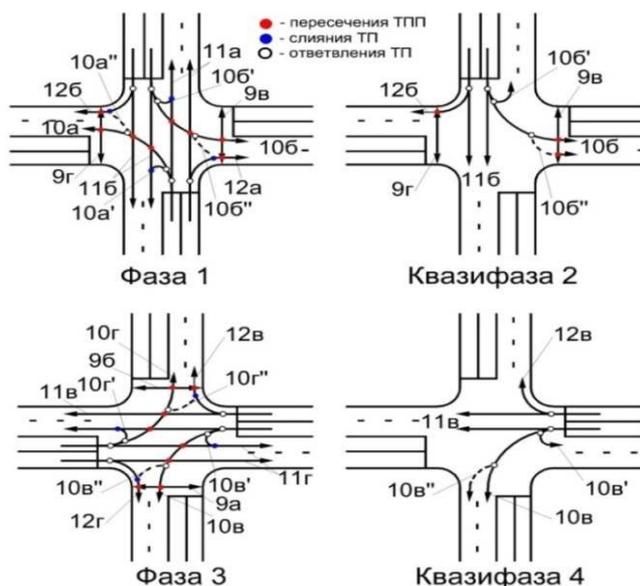


Рисунок П.2.13 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 с просачиванием и без просачивания ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11б > 11а$  и левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала ф1+кф2, а также  $11в > 11г$  и левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала ф3,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т.е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.34 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А	Б	В	Г			
10а	110	10б	200	10в	200	10г	110
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.35 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{ГЛ}$	$R_{ГЛmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,7	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 8 по входам А и Г в квазифазах 2 и 4 без просачивания» ТП*

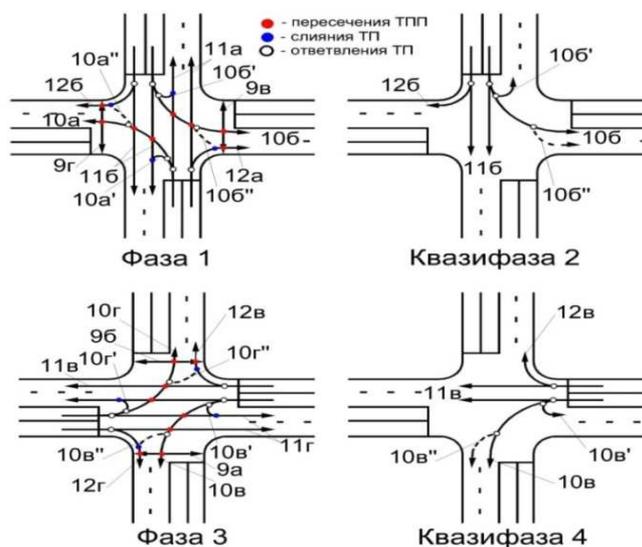


Рисунок П.2.14 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных ОРП и отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачиваний ТП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11б > 11а$  или левоповоротный транспортный поток  $10б \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала ф1, а также  $11в > 11г$  или левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала ф3,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если

нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8;  
слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.36 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	200	10г	110
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Значения конфликтных нагрузок для данной СОД с КЗ аналогичны модели СОД с КЗ, представленной на рис. П.2.10.

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

Отсечка 9 по входам Б и В в квазифазах 2 и 4 с «просачиванием» ТП через ПП

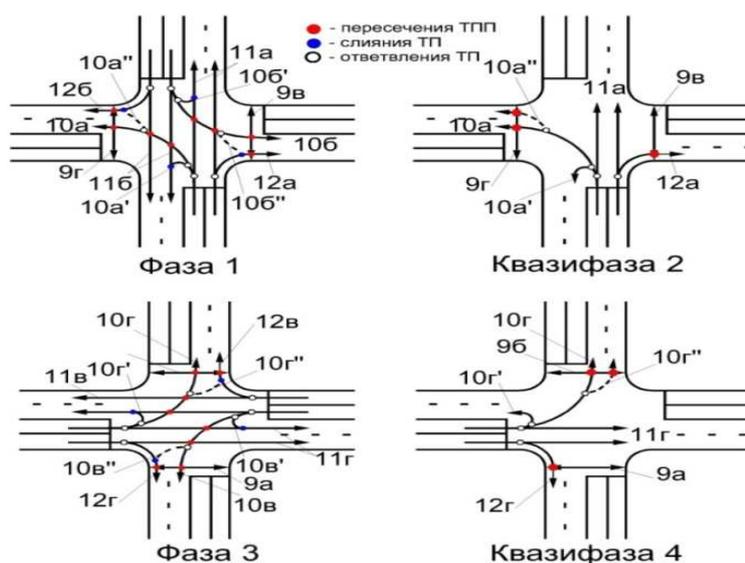


Рисунок П.15 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 с просачиванием ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11а > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10а \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi 1 + \kappa \phi 2$ , а также  $11г > 11в$  и левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi 3 + \kappa \phi 4$ ,  $T_{\text{ц}} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего

40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант – 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.37 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	60	10г	200
11а	800	11б	700	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.38 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	7,0	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 10 по входам Б и В в квазифазах 2 и 4 с «просачиванием» и*

*без «просачивания» ТП через ПП*

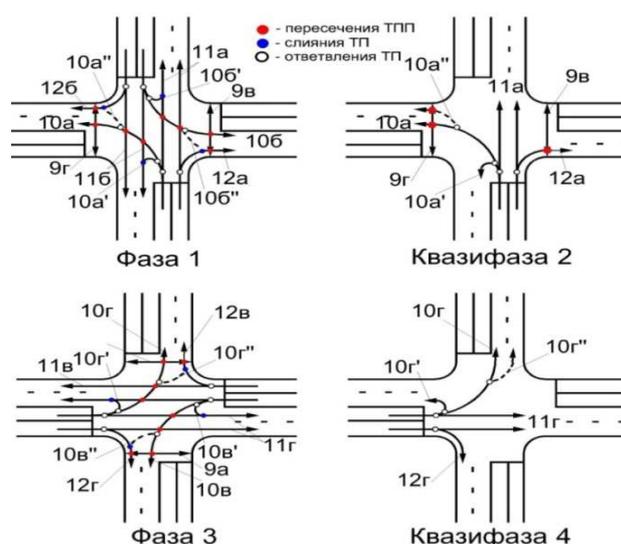


Рисунок П.2.16 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 с просачиванием и без просачиваний ТП через

ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11a > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10a \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi_1 + k\phi_2$ , а также  $11г > 11в$  и левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала  $\phi_3$ ,  $T_{\text{ц}} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.39 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	80	10г	200
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица значений КЗ и пропускной способности РП, а также структура светофорного цикла для данной СОД с КЗ аналогичны модели СОД с КЗ, представленной на рисунке П.2.8.

*Отсечка 11 по входам Б и В в квазифазах 2 и 4  
без «просачивания» и с «просачиванием» ТП через ПП*

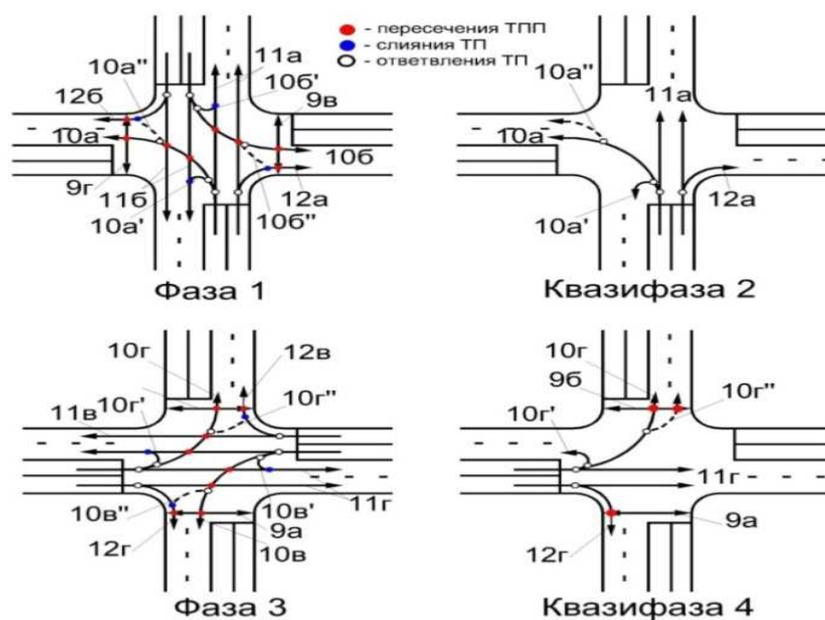


Рисунок П.2.17 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачивания и с просачиванием ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11a > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10a \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала ф1, а также  $11г > 11в$  или левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала ф3+кф4,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.40 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А	Б	В	Г			
10а	200	10б	110	10в	80	10г	200
11а	800	11б	700	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.41 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{ГЛ}$	$R_{ГЛmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,7	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 12 по входам Б и В в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП  
через ПП*

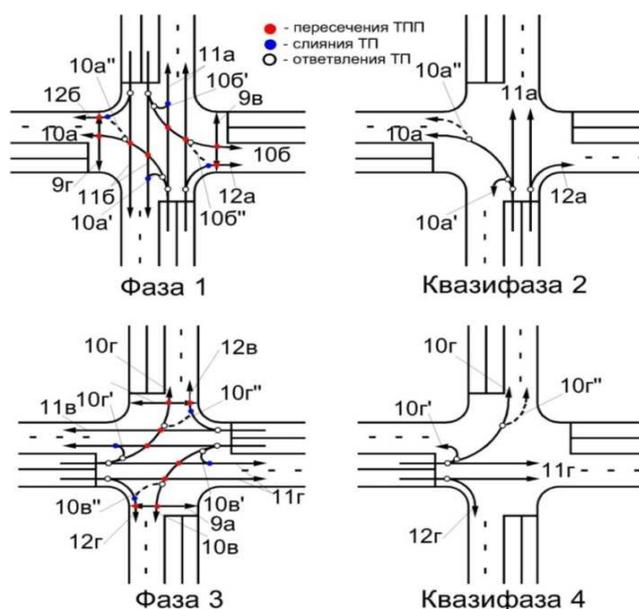


Рисунок П.2.18 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачиваний при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11a > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10a \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала ф1, а также  $11г > 11в$  и левоповоротный транспортный поток  $10г \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала ф3,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4;

отклонения  $\circ$  – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения  $\bullet$  – 8; слияния  $\bullet$  – 8; отклонения  $\circ$  – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения  $\bullet$  – 8; слияния  $\bullet$  – 4; отклонения  $\circ$  – 12; всего 24

Таблица П.2.42 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	80	10г	200
11а	800	11б	700	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.43 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,5	8,8	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,2	7,5	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,42	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 13 по входам Б и Г в квазифазах 2 и 4с «просачиванием» ТП через ПП*

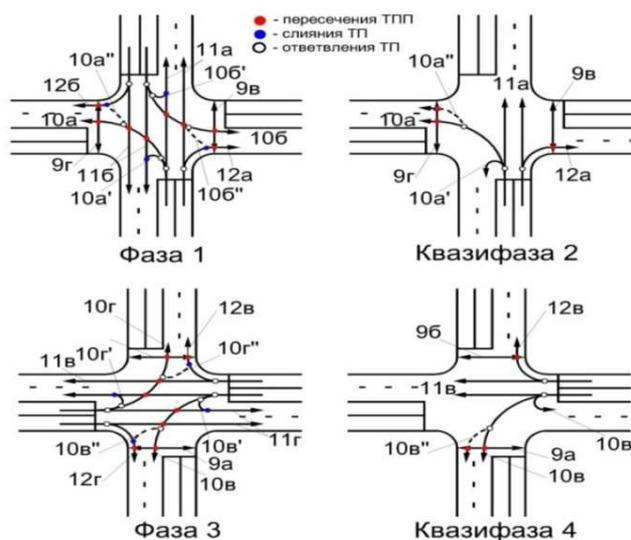


Рисунок П.2.19 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 с просачиванием ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11а > 11б$  и левоповоротный транспорт-

ный поток  $10a \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам  $9в$  и  $9г$  требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi_1 + кф_2$ , а также  $11в > 11г$  и левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам  $9а$  и  $9б$  требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi_3 + кф_4$ ,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.44 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	200	10г	60
11а	800	11б	700	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.45 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{цел}$	$R_{пл}$	$R_{плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	7,0	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 14 по входам Б и Г в квазифазах 2 и 4 с «просачиванием» и без «просачивания» ТП через ПП*

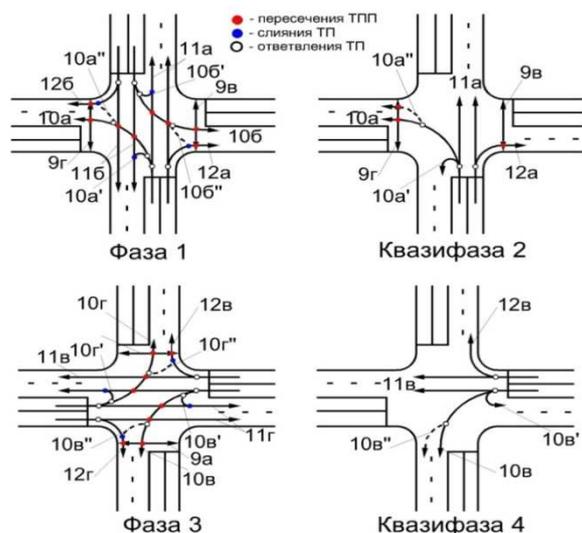


Рисунок П.2.20 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 с просачиванием и без просачиваний при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11a > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10a \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала  $\phi_1 + \text{кф}2$ , а также  $11в > 11г$  и левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала фазы 3,  $T_{ц} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.46 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	200	10г	80
11а	800	11б	700	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.47 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,7	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

*Отсечка 15 по входам Б и Г в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» и с «просачиванием» ТП через ПП*

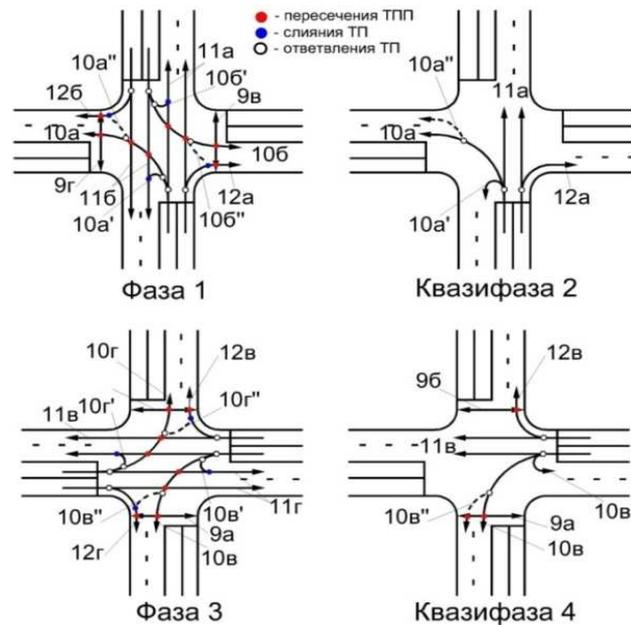


Рисунок П.2.21 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачиваний и с просачиванием ТП через ПП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11а > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10а \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала ф1, а также  $11в > 11г$  и левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала ф3 + кф4,  $T_{\text{ц}} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т.е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант – 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.48 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	200	10г	80
11а	800	11б	700	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.49 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	21,7	6,7	9,2	4,5	61	0,78–0,9
2. Нет только разворотов	20,5	6,5	7,9	4,5	61	0,78–0,9
3. Нет только ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	61	0,78–0,9
4. Нет разворотов и ПП	11,1	3,8	4,9	0,4	61	0,78–0,9

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 25 + 7 + 3 + 16 + 7 + 3 = 61$  с.

Отсечка 1б по входам Б и Г в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП

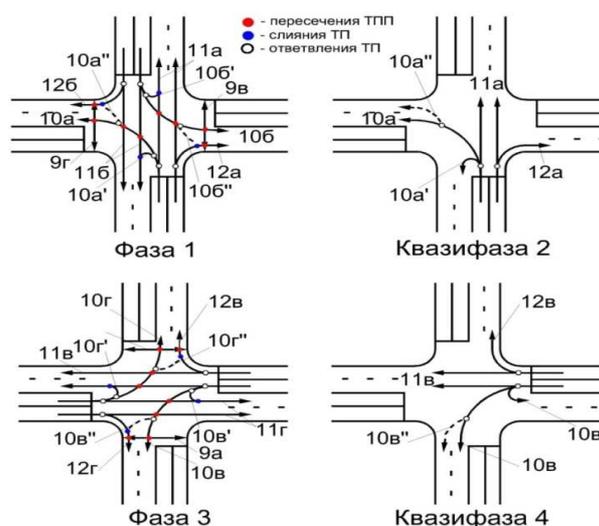


Рисунок П.2.22 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных РП с отсечкой в квазифазах 2 и 4 без просачиваний ТП при пофазном I методе управления в фазах 1–4, когда  $11а > 11б$  и левоповоротный транспортный поток  $10а \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала ф1, а также  $11в > 11г$  и левоповоротный транспортный поток  $10в \geq 120$  ед./ч, пешеходным потокам 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала ф3,  $T_{\text{ц}} = 61$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 16; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 40; вариант – 2, если

разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 32; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 34; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 32; вариант 4, если нет ПП и разворотов для ТП, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.50 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	110	10в	200	10г	80
11а	800	11б	700	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Значения таблицы КЗ и пропускной способности РП, а также структура светофорного цикла для данной СОД с КЗ аналогичны СОД с КЗ, представленной на рисунке П.2.10, поэтому не приводятся.

### П.2.5 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП

*Отсечка 1 по входу А в квазифазе 2 без «просачивания» ТП*

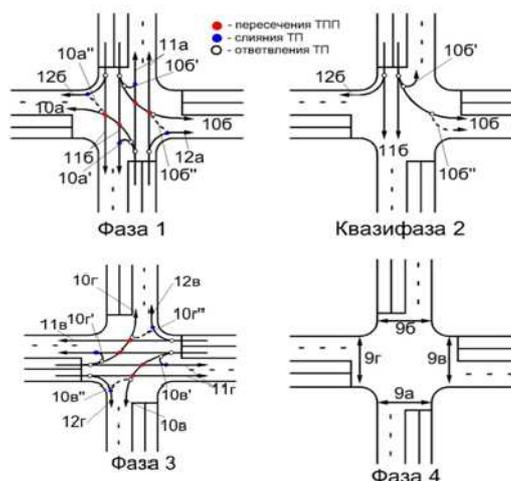


Рисунок П.2.23 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных

РП с организацией отсечки в квазифазе 2 по входу А без просачиваний и отдельной пешеходной фазы 4, при  $11б > 11а$  и  $10б \geq 120$  ед./ч, с организацией пешеходной фазы,  $T_{ц} = 122$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.51 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	200	10в	100	10г	200
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.52 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,0	4,4	6,6	0,64	122	0,61–0,97
6. По п. 5 нет разворота	10,7	4,0	5,3	0,45	122	0,6–0,97

Таблица П.2.53 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г		
10а	9,65	10б	17,62	10в	17,86	10г	23,81	<i>b</i>
11а	61,40	11б	70,48	11в	71,43	11г	64,29	<i>a</i>
12а	28,95	12б	11,89	12в	10,71	12г	11,90	<i>c</i>

Таблица П.2.54 – Поток насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

$M_{Нпрям}$	3675		$M_{Нпрям}$	3675
$M_{НА} =$	3210,345		$y_б$	0,36
$M_{НБ} =$	3162,938		$y_в$	0,18
$M_{НВ} =$	3166,154		$y_г$	0,28
$M_{НГ} =$	3041,379			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,36 + 0,28 = 0,63$ .

Длительность разрешающего сигнала для пешеходной фазы:  $t_{пш} = 16$  с.

Таблица П.2.55 – Уточненная длительность цикла регулирования

<i>A</i>	0,37
<i>B</i>	37,82
<i>C</i>	462,50
$T_{ц}$	88
<i>k</i>	1,14

Длительность цикла регулирования:

$$T_{\text{ц}} = 50 + 7 + 3 + 40 + 3 + 16 + 3 = 122 \text{ с.}$$

Такой вариант предельного значения  $T_{\text{ц}}$  для практики не перспективен.

Таблица П.2.56 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	708,2	ф1	811,5	ф1+ф2					
	560,7	ф3					С		
$N_{\text{А}} =$	1175,6		$z_{\text{А}} =$	0,97	$c_{\text{А}} =$	655,7	1311,5	$z_{\text{А}} =$	0,87
$N_{\text{Б}} =$	1330,8		$z_{\text{Б}} =$	0,85	$c_{\text{Б}} =$	747,5	1495,1	$z_{\text{Б}} =$	0,76
$N_{\text{В}} =$	919,5		$z_{\text{В}} =$	0,61	$c_{\text{В}} =$	524,6	1049,2	$z_{\text{В}} =$	0,53
$N_{\text{Г}} =$	885,8		$z_{\text{Г}} =$	0,95	$c_{\text{Г}} =$	524,6	1049,2	$z_{\text{Г}} =$	0,80

Резерва пропускной способности по входам А и Г в варианте № 1 нет.

Оценка КЗ  $R_{\text{Пл}} = 4,4$  ед. по табл.3.1 соответствует ПРУТБД.

*Отсечка 2 по входу Б в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП*

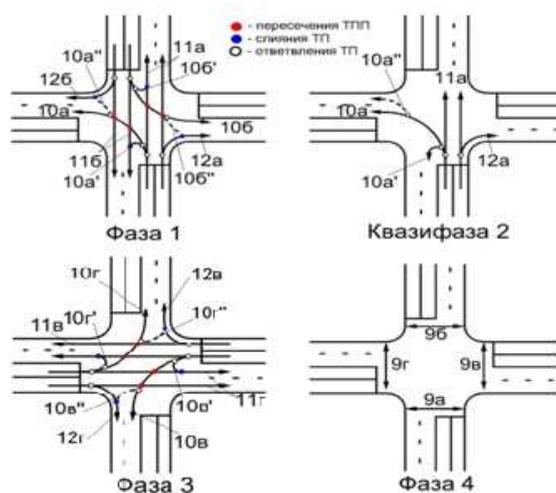


Рисунок П.2.24 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с организацией отсечки в квазифазе 2 без просачиваний и отдельной пешеходной фазой 4, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, при  $11a > 11b$  и  $10a \geq 120$  ед./ч, с организацией отдельной пешеходной фазы,  $T_{\text{ц}} = 50 + 7 + 3 + 40 + 3 + 16 + 3 = 122$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запре-

щен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.57 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,0	4,4	6,6	0,64	122	0,61–0,97
6. По п. 5 нет разворота	10,7	4,0	5,3	0,45	122	0,61–0,97

Последующие *разрешенные виды отсечек 3 и 4 по входам В и Г в квази-фазе 2 без "просачивания" ТП через ПП* с соответствующими для них моделями СОД с КЗ рисунков опущены, т. к. не несут новой информации по оценкам КЗ и пропускной способности (ПС) РП. Поэтому здесь и далее приведены только таблицы КЗ и ПС для моделей СОД с КЗ.

*Отсечка 5 по входу В в квазифазе 4 без «просачивания» ТП через ПП*

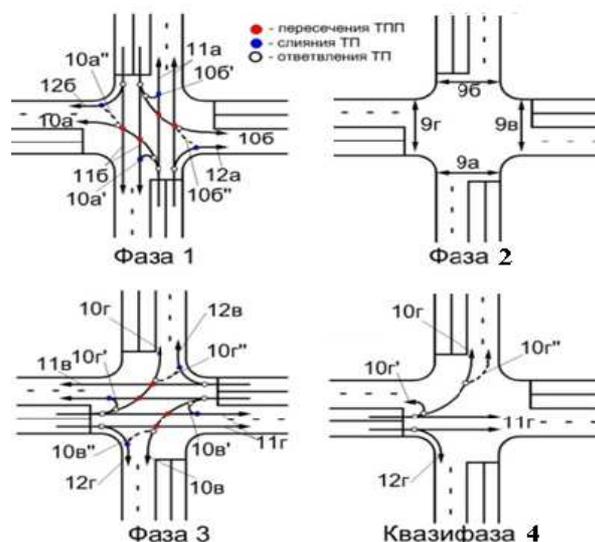


Рисунок П.2.25 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с организацией отсечки в квазифазе 4 без просачиваний и отдельной пешеходной фазы 2, при пофазном I методе управления в фазах 1,3,4, при  $11\Gamma > 11\text{В}$  и  $10\Gamma \geq 120$  ед./ч, с организацией пешеходной фазы,  $T_{\text{ц}} = 50 + 3 + 16 + 3 + 40 + 7 + 3 = 122$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен,

конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12;  
всего 24

Таблица П.2.58 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,0	4,4	6,6	0,64	122	0,61–0,97
6. По п. 5 нет разворота	10,7	4,0	5,3	0,45	122	0,61–0,97

Отсечка 6 по входу Г в квазифазе 4 без «просачивания» ТП через ПП

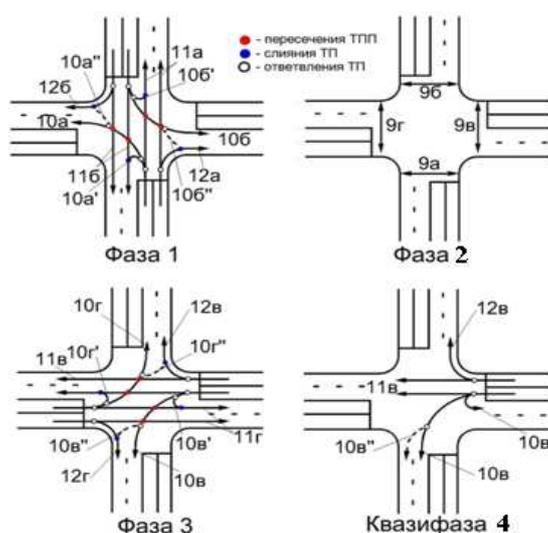


Рисунок П.2.26 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с организацией отсечки в квазифазе 4 без просачиваний и отдельной пешеходной фазы 2, при пофазном I методе управления в фазах 1,3,4, при  $11в > 11г$  и  $10в \geq 120$  ед./ч, с организацией пешеходной фазы,  $T_{\text{ц}} = 50 + 3 + 16 + 3 + 40 + 7 + 3 = 122$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12;  
всего 24

Таблица П.2.59 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,0	4,4	6,6	0,64	122	0,61–0,97
6. По п. 5 нет разворота	10,7	4,0	5,3	0,45	122	0,61–0,97

Последующие, разрешенные *виды отсечек 7 и 8 по входам А и В в квазифазе 4 без «просачивания» ТП через ПП* с соответствующими для них моделями рисунков опущены, т. к. эти недостающие варианты в сочетаниях групп комбинаторной математики с отдельной пешеходной фазой и соответствующими отсечками в квазифазе 4 без просачивания ТП через ПП не отличаются от приведенных выше оценок конфликтных загрузок.

## П.2.6 Оценка УТБД и ПС пятифазно управляемых двухполосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП

*Отсечка 1 по входам А и В в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП через ПП*

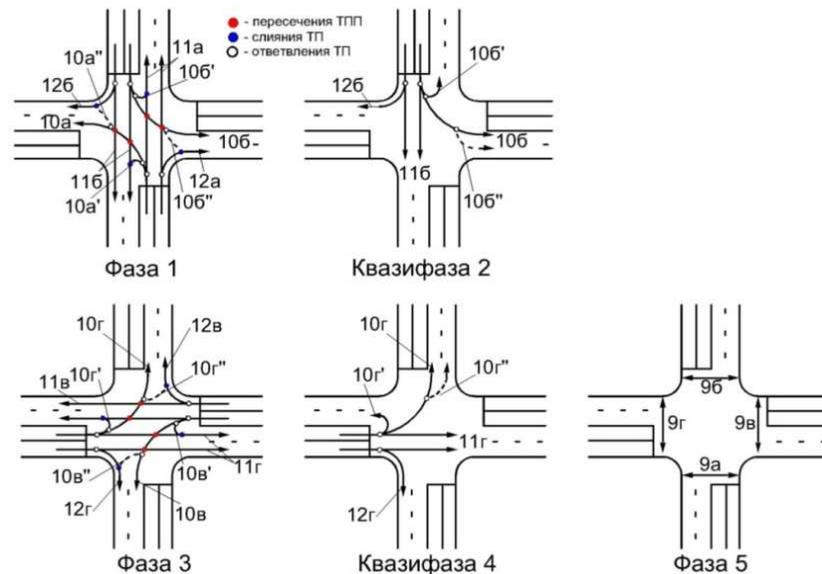


Рисунок П.2.27 – Пятифазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с организацией отдельной пешеходной фазы 5 и отсечки в квазифазах 2 и 4 по входам А и В без просачиваний ТП через ПП, при  $11б > 11а$ ,  $10б \geq 120$  ед./ч, и  $11г > 11в$ ,  $10г \geq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 119$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–4, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.60 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	106	200	10в	60	10г	200
11а	700	116	800	11в	400	11г	540
12а	330	126	135	12в	60	12г	100

Таблица П.2.61 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{цел}}$	$R_{\text{пл}}$	$R_{\text{цлmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	119	0,83–0,95
6. По п. 5 нет разворота	11,1	3,8	4,9	0,42	119	0,83–0,95

Таблица П.2.62 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г		
10а	9,65	106	17,62	10в	30,30	10г	8,57	<i>b</i>
11а	61,40	116	70,48	11в	60,61	11г	77,14	<i>a</i>
12а	28,95	126	11,89	12в	9,09	12г	14,29	<i>c</i>

Таблица П.2.63 – Поток насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

$M_{\text{Нпрям}}$	3675		$y_A$	0,36
$M_{\text{НА}}$	3210,34		$y_B$	0,36
$M_{\text{НБ}}$	3162,93		$y_B$	0,22
$M_{\text{НВ}}$	2940		$y_G$	0,21
$M_{\text{НГ}}$	3040,9			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,36 + 0,22 = 0,58$ .

Длительность разрешающего сигнала для пешеходной фазы:  $t_{\text{пш}} = 16$  с.

Таблица П.2.64 – Уточненная длительность цикла регулирования

<i>A</i>	0,42
<i>B</i>	38,28
<i>C</i>	462,50
$T_{\text{ц}}$	77
<i>k</i>	1,16

Структура режима светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 50 + 7 + 3 + 30 + 7 + 3 + 16 + 3 = 119 \text{ с.}$$

Таблица П.2.65 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	726,1	$\phi 1$	831,9	$\phi 1 + \phi 2$					
	423,5	$\phi 3$	529,4	$\phi 3 + \phi 4$			<i>C</i>		
$N_A =$	1205,2		$z_A =$	0,95	$c_A =$	672,3	1344,5	$z_A =$	0,85
$N_B =$	1364,4		$z_B =$	0,83	$c_B =$	766,4	1532,8	$z_B =$	0,74
$N_B =$	694,6		$z_B =$	0,95	$c_B =$	403,4	806,7	$z_B =$	0,82
$N_G =$	836,5		$z_G =$	0,84	$c_G =$	403,4	806,7	$z_G =$	0,87

Для дальнейших 3-х видов отсечки – исходные данные интенсивности движения, необходимые для расчета цикла регулирования аналогичные, как и использовались для модели СОД с КЗ рисунок П.2.27. При этом в них предполагаются значения интенсивностей ТП, при которых выполняются соответствующие неравенства для организаций отсечки и дополнительного пропуска левых поворотных потоков в квазифазах. Поэтому далее для комбинаторных отсечек видов 2–4 приведены только результаты с таблицами конфликтных загрузок и пропускной способности РП. Они необходимы, как и все предыдущие данные для двухполосных РП, чтобы построить обобщающую функциональную зависимость рисунок П.2.31 – оценок дорожной безопасности  $K_a, R_{уел}, R_{Пл}, R_{Плmax}$  и цикла светофорного управления ( $T_{ц} = var 122 \div 44$  с) от числа конфликтных точек (24÷40 шт.) в моделях СОД с КЗ. При этом функциональная зависимость построена для разного числа фаз при I-м пофазном методе управления по классификации (рисунок 3.1).

*Отсечка 2 по входам А и Г в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП через ПП*

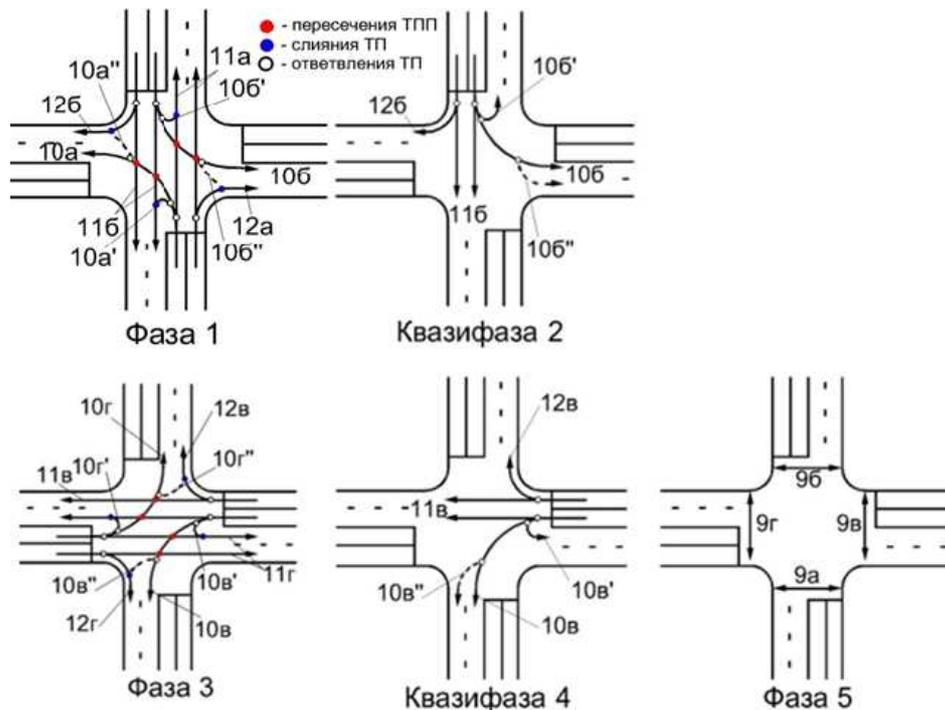


Рисунок П.2.28 – Пятифазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с организацией отдельной пешеходной фазы 5 и отсечки в квазифазах 2 и 4 по

входам А и Г без просачиваний ТП через ПП, при  $11б > 11а$ ,  $10б \geq 120$  ед./ч, и  $11в > 11г$ ,  $10в \geq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 119$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–4, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.2.66 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	119	0,83–0,95
6. По п. 5 нет разворота	11,1	3,8	4,9	0,42	119	0,83–0,95

Структура светофорного цикла:

$$T_{ц} = 50 + 7 + 3 + 30 + 7 + 3 + 16 + 3 = 119 \text{ с.}$$

*Отсечка 3 по входам Б и В в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП через ПП*

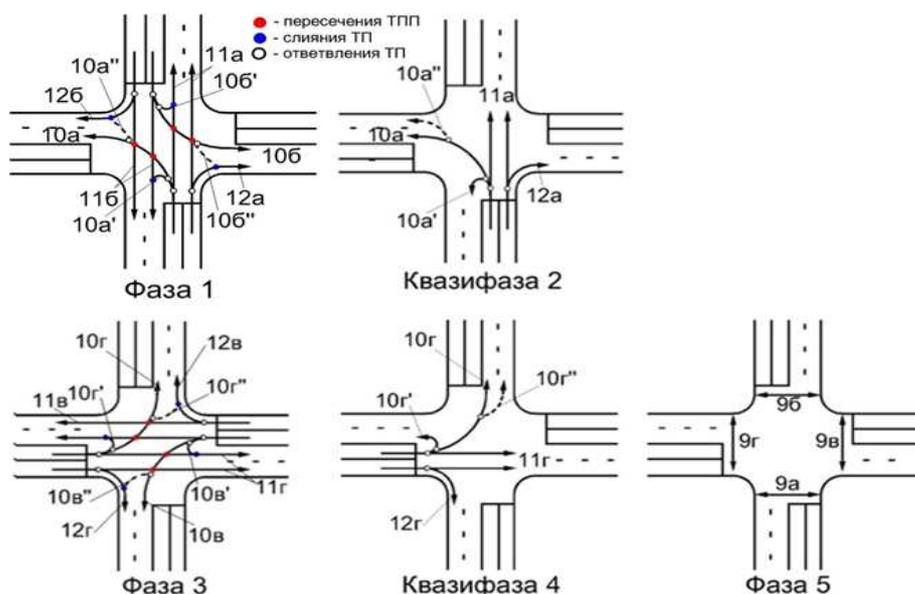


Рисунок П.2.29 – Пятифазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с организацией отдельной пешеходной фазы 5 и отсечки в квазифазах 2 и 4 по входам Б и В без просачиваний ТП через ПП, при  $11а > 11б$ ,  $10а \geq 120$  ед./ч, и  $11г > 11в$ ,  $10г \geq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 119$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–4, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● –

8; отклонений  $\circ$  – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения  $\bullet$  – 8; слияния  $\bullet$  – 4; отклонения  $\circ$  – 12; всего 24

Таблица П.2.67 – Таблица конфликтных загрузок и пропускной способности РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	119	0,83–0,95
6. По п. 5. нет разворота	11,1	3,8	4,9	0,42	119	0,83–0,95

Структура светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 50 + 7 + 3 + 30 + 7 + 3 + 16 + 3 = 119 \text{ с.}$$

*Отсечка 4 по входам Б и Г в квазифазах 2 и 4 без «просачивания» ТП через ПП*

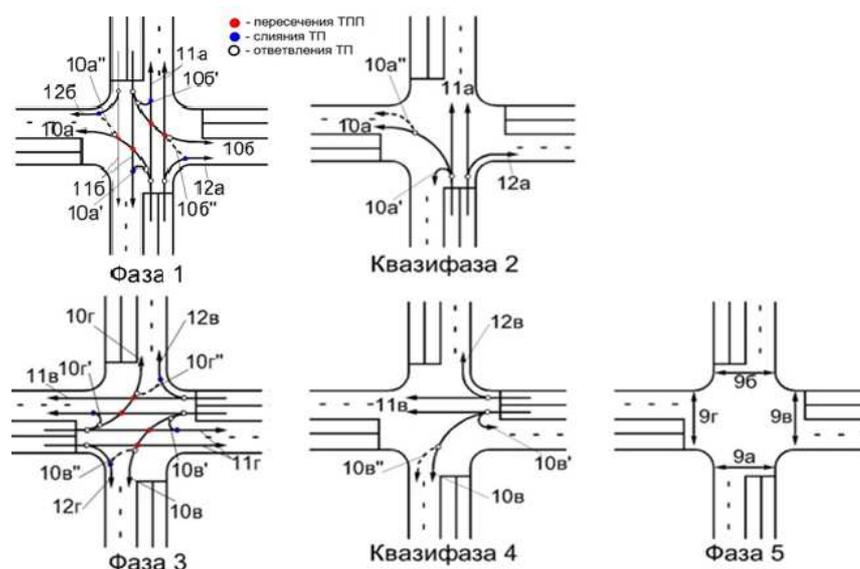


Рисунок П.2.30 – Пятифазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного РП с организацией отдельной пешеходной фаз 5 и отсечки в квазифазах 2 и 4 по входам Б и Г без просачиваний, при  $11a > 11б$ ,  $10a \geq 120$  ед./ч, и  $11в > 11г$ ,  $10в \geq 120$  ед./ч,  $T_{\text{ц}} = 119$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–4, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений  $\bullet$  – 8; слияний  $\bullet$  – 8; отклонений  $\circ$  – 16; всего 32; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения  $\bullet$  – 8; слияния  $\bullet$  – 4; отклонения  $\circ$  – 12; всего 24

Таблица П.2.68 – Таблица конфликтных загрузок и пропускной способности РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	12,2	4,1	6,2	0,43	119	0,83–0,95
6. По п. 5. нет разворота	11,1	3,8	4,9	0,42	119	0,83–0,95

Структура светофорного цикла:

$$T_{ц} = 50 + 7 + 3 + 30 + 7 + 3 + 16 + 3 = 119 \text{ с.}$$

### П.2.7 Функциональные зависимости (номограмма) оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ для двухполосных Х-образных РП по СОД с КЗ

Компьютерной графикой с использованием данных из таблиц конфликтных загрузок и пропускной способности РП на рисунке П.2.31 построены функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения (БД)  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  и цикла светофорного управления ( $T_{ц}$ ) от числа конфликтных точек. Графики, являющиеся номограммой, построены для разъезда транспортно-пешеходных потоков на двухполосных Х-образных РП при различных методах управления в их моделях СОД с КЗ.

Оценки БД по трем разным методам разъезда транспортно-пешеходных потоков на двухполосных РП проведены при одинаковых исходных данных на интенсивность ТПП. Оценки БД в приложении к классификации моделей СОД с КЗ (рисунок 3.1) позволяют сделать следующие выводы:

1. По показателю степени опасности пересечения  $K_a$  исследуемыми моделями СОД с КЗ решены задачи 2) и 3), обеспечивающие (ПрУТБД и ПУТБД) промежуточный и повышенный уровни требований к безопасности движения ( $> 3 \leq 8$  и  $\leq 3$  ед.) с I методом пофазного управления светофорами. Даже задача 3), которая не должна допускать маневры с "просачиванием" ТП для класса двухполосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой (см. рисунки П.2.2, П.2.23–П.2.26 и П.2.27–П.2.30) допускает конфликтные точки (КТ) с "просачиванием" (пересечением) левоповоротных ТП со встречными ТП (по

8 шт. КТ). Следовательно, метод оценки через  $K_a$  не адекватно отражает реальную действительность по опасности пересечения.

2. По показателю оценки уровня конфликтной загрузки (КЗ) двухполосных РП  $R_{Шел}$ , решена задача (НУТБД) недопустимого уровня требований к безопасности движения (>12 ед.), при IV методе управления без светофорного управления (аварийный режим). Следовательно, показатель  $R_{Шел}$  оценки конфликтной загрузки для класса двухполосных X-образных РП дает уровень безопасности движения, запрещающий их эксплуатацию. Эта оценка, также не отражает действительное состояние оценки безопасности движения (БД) для всех моделей СОД с КЗ (см. рисунки П.2.1– П.2.30), управляемых светофорами перекрестков по рассматриваемым моделям.

3. Показатели оценок уровней КЗ регулируемых пересечений (перекрестков) по двум методам – для диагностического контроля оценки  $R_{Лmax}$  и для уточненной оценки уровня БД  $R_{Пл}$ , дали в основном решение задачи – 2). Она обеспечивает (ПрУТБД) промежуточный уровень требований к безопасности движения (> 3 – ≤ 8 ед.) при I методе светофорного пофазного управления для всех моделей СОД с КЗ (рисунки П.2.1–П.2.30). Этот метод оценки допускает маневры с «просачиванием» ТП, как с другими ТП, так и с ПП, что соответствует реально-действующим практическим ситуациям эксплуатации на двухполосных X-образных РП.

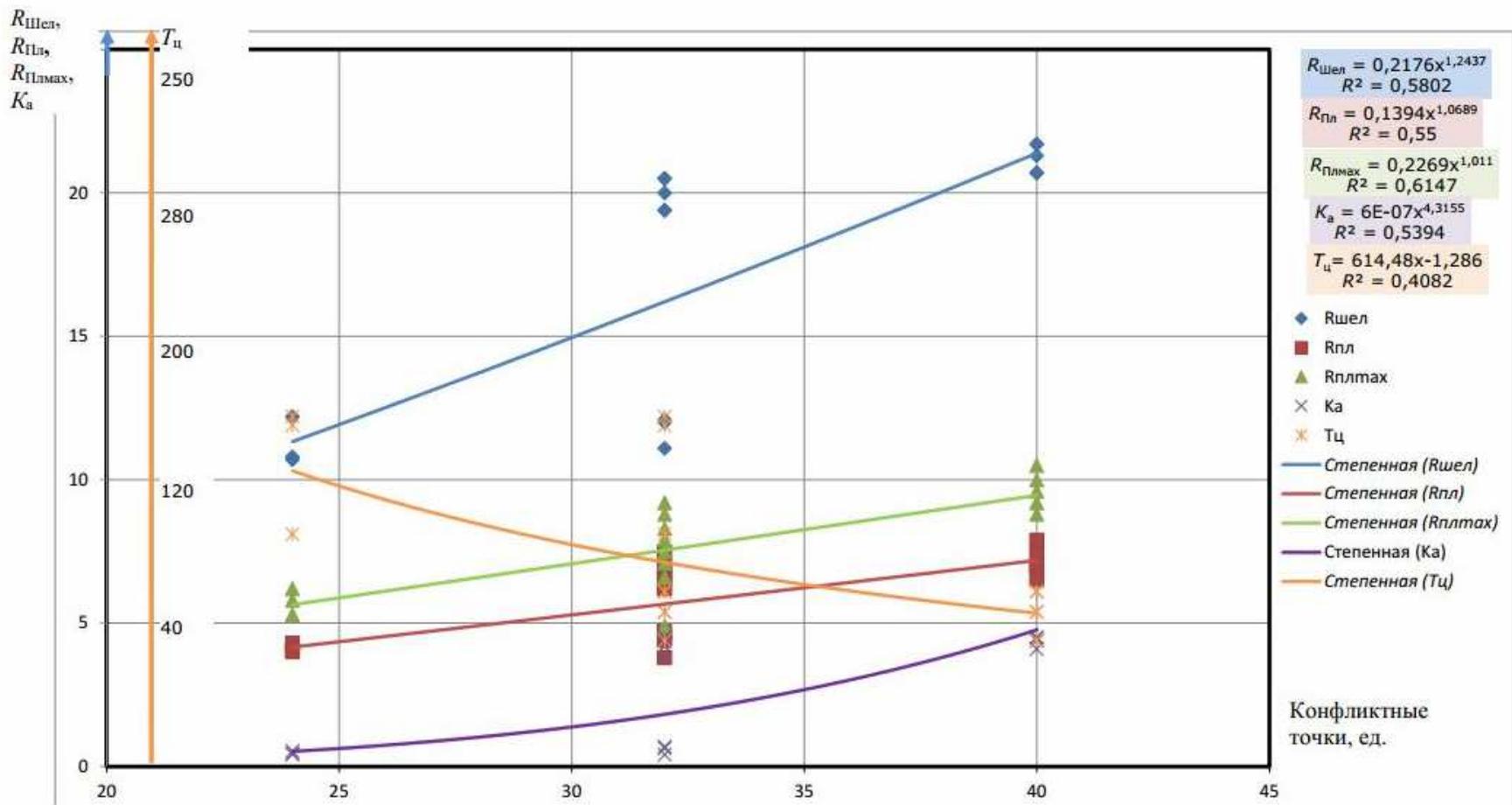


Рисунок П.2.31 – Функциональные зависимости (ромограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плмах}$  и цикла светофорного управления ( $T_ц = \text{var } 122 \div 44$  с) для транспортно-пешеходных потоков на двухполосных X-образных РП при различных методах управления в их моделях СОД с КЗ от числа конфликтных точек (24÷40 шт.)

### **П.3 Методика оценки УТБД и ПС двухполосно-однополосных Х-образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП**

#### **Содержание**

П.3.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ без установки и с установкой дорожных знаков (ДЗ).....	333
П.3.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП .....	336
П.3.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по их моделям СОД с КЗ .....	341
П.3.4 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ, оснащенных светофором с левой дополнительной секцией.....	343
П.3.5 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ со светофорами Т.1 и ДЗ типа 5.15.1 на одном двухполосном входе и разной отсечкой ТП .....	344
П.3.6 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП при разных на 2-х полосных входах светофорах Т.1.л и Т.1 с ДЗ 5.15.2 и 5.15.1 .....	349
П.3.7 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП при разных на 2-х полосных входах светофорах Т.1.л и Т.1 с ДЗ 5.15.2 и 5.15.1 с отсечкой ТП.....	350
П.3.8 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП при разных на 2-х полосных входах светофорах Т.1.л и Т.1 без ДЗ с отсечкой ТП .....	354
П.3.9 Функциональные зависимости оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ для двухполосно-однополосных Х-образных РП по СОД с КЗ .....	357

### П.3.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ без установки и с установкой дорожных знаков (ДЗ)

Модель 1 без использования ДЗ особых предписаний типа 5.15.1 для ТП

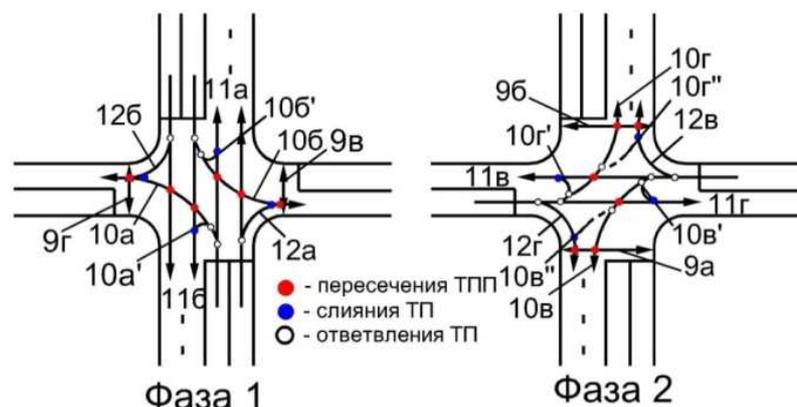


Рисунок П.3.1 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ на РП при двухполосно-однополосном с просачиванием ТП через встречные ТП и ПП, при интенсивностях для левоповоротных транспортных потоков  $N_{ij} = \leq 120$  ед./ч, фазы –  $i = 1, 2$ ; направления движения –  $j = 10a \dots 10g, T_{ц} = 40$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 14; всего 34; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 8; отклонения ○ – 14; всего 28

Таблица П.3.1 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	700	11б	700	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.2 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	16,5	6,3	8,8	3,4	40	0,78–0,92
2. Нет только разворотов	16,5	6,3	7,5	3,3	40	0,78–0,92
3. Нет только ПП	9,3	3,8	6,2	0,67	40	0,78–0,92

*Расчет режима светофорного регулирования*

Таблица П.3.3 – Интенсивности движения ТП, %

	А	Б		В		Г		
10а	11,11	10б	11,11	10в	16,67	10г	16,67	<i>b</i>
11а	77,78	11б	77,78	11в	66,67	11г	66,67	<i>a</i>
12а	11,11	12б	11,11	12в	16,67	12г	16,67	<i>c</i>

Таблица П.3.4 – Поток насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Для двух полос	Для одной полосы			
$M_{Нпрям}$	3675	1837,5		$y_A$	0,27
$M_{НА=}$	3307,5			$y_B$	0,27
$M_{НБ=}$	3307,5			$y_B$	0,38
$M_{НВ=}$		1575		$y_G$	0,38
$M_{НГ=}$		1575			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,27 + 0,38 = 0,65$ .

Длительности основных разрешающих сигналов с учетом корректировки по пропускной способности:  $t_{01} = 17$  с.  $t_{02} = 17$  с.

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 17 + 3 + 17 + 3 = 40$  с.

Таблица П.3.5 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2			
$N_{п1} =$	675,00	ф1					
	1038,46*	ф2				С	
$N_A =$	1147,50		$z_A =$ 0,78	$c_A =$ 680,00	1360,00	$z_A =$ 0,66	
$N_B =$	1110,38		$z_B =$ 0,81	$c_B =$ 680,00	1360,00	$z_B =$ 0,66	
$N_V =$	654,23		$z_V =$ 0,92	$c_V =$ 680,00	1360,00	$z_V =$ 0,44	
$N_G =$	654,23		$z_G =$ 0,92	$c_G =$ 680,00	1360,00	$z_G =$ 0,44	

\*Коэффициент  $t_n = 1,3$ .

*Модель 2 с использованием ДЗ особых предписаний типа 5.15.1 для ТП*

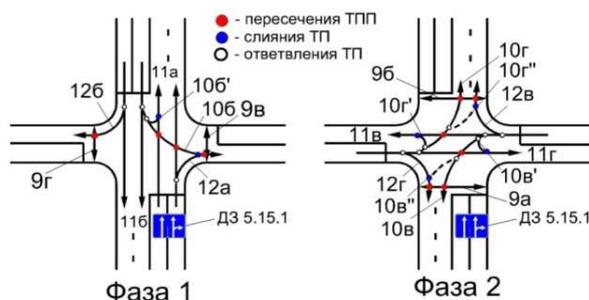


Рисунок П.3.2 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ на РП при двухполосно-однополосном движении с ДЗ особых предписаний 5.15.1 для ТП по вхо-

ду А, левый поворот на нем запрещен (т. е. применен отнесенный левый поворот),  $T_{ц} = 41$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, где вариант 7 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 10; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 8, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 3; отклонения ○ – 9; всего 22; вариант 9, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 4; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12; всего 22

Таблица П.3.6 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	0	10б	100	10в	100	10г	100
11а	800	11б	700	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.7 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Гл}$	$R_{Глmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения	13,8	5,4	7,3	3,2	41	0,78–0,96
8. По п. 7 нет разворотов	13,1	5,2	6,8	3,1	41	0,78–0,96
9. По п. 7 нет ПП	6,5	2,9	4,7	0,5	41	0,78–0,96

Таблица П.3.8 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г	
10а	0,00	10б	11,11	10в	16,67	10г	16,67
11а	88,89	11б	77,78	11в	66,67	11г	66,67
12а	11,11	12б	11,11	12в	16,67	12г	16,67

Таблица П.3.9 – Поток насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Ф1	Ф2		
$M_{Нпрям}$	3675	1837,5		$\gamma_A$
$M_{Нл} =$	3575,676			$\gamma_B$
$M_{Нб} =$	3307,5			$\gamma_B$
$M_{Нв} =$		1575		$\gamma_G$
$M_{Нг} =$		1575		

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,27 + 0,38 = 0,65$ .

Длительности основных разрешающих сигналов:  $t_{01} = 15$  с.  $t_{02} = 20$  с.

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 15 + 3 + 20 + 3 = 41$  с.

Таблица П.3.10 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\Pi} =$	570,73	$\phi 1$							
	1215,76	$\phi 2$				С			
$N_A =$	1141,46		$z_A =$	0,79	$c_A =$	585,37	1170,73	$z_A =$	0,77
$N_B =$	938,85		$z_B =$	0,96	$c_B =$	585,37	1170,73	$z_B =$	0,77
$N_B =$	765,93		$z_B =$	0,78	$c_B =$	780,49	780,49	$z_B =$	0,77
$N_{\Gamma} =$	765,93		$z_{\Gamma} =$	0,78	$c_{\Gamma} =$	780,49	780,49	$z_{\Gamma} =$	0,77

### П.3.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ при разных видах отсечки ТП

Отсечка 1 по входу В в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП

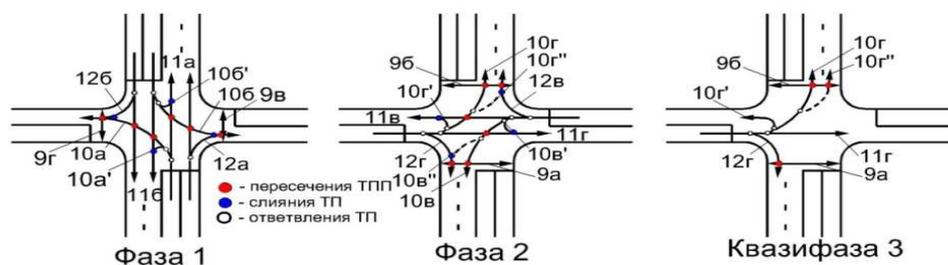


Рисунок П.3.3 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с отсечкой ТП в квазифазе 3 по входу В и просачиванием ТП через ПП, когда пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала фазы 2 и квазифазы 3, а интенсивность ТП  $11\Gamma > 11\text{в}$  (на 37 %) больше,  $T_{\text{ц}} = 48$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1 – 3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 14; всего 34; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 8; отклонения ○ – 14; всего 28

Таблица П.3.11 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	700	11б	700	11в	250	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.12 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	16,7	6,2	8,5	3,3	48	0,79-0,88
2. Нет только разворотов	16,7	6,2	7,5	3,2	48	0,79-0,88
3. Нет только ПП	9,5	3,7	6,2	0,7	48	0,79-0,88

*Расчет цикла регулирования*

Таблица П.3.13 – Интенсивности движения ТП, %

	А	Б		В		Г		
10а	11,11	10б	11,11	10в	22,22	10г	16,67	<i>b</i>
11а	77,78	11б	77,78	11в	55,56	11г	66,67	<i>a</i>
12а	11,11	12б	11,11	12в	22,22	12г	16,67	<i>c</i>

Таблица П.3.14 – Потoki насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Для двух полос	Для одной				
$M_{\text{Нпрям}}$	3675	1837,5			$y_A$	0,27
$M_{\text{НА=}}$	3307,5				$y_B$	0,27
$M_{\text{НБ=}}$	3307,5				$y_B$	0,30
$M_{\text{НВ=}}$		1503,409			$y_G$	0,38
$M_{\text{НГ=}}$		1575				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,27 + 0,38 = 0,65$ .

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 19 + 3 + 16 + 7 + 3 = 48$  с.

Таблица П.3.15 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	637,50	п2						
	807,69*	п1	1211,54	Ф2+Ф3		С		
$N_A =$	1083,75		$z_A =$	0,83	$c_A =$	633,33	$z_A =$	0,71
$N_G =$	1048,69		$z_B =$	0,86	$c_B =$	633,33	$z_B =$	0,71
$N_B =$	508,85		$z_B =$	0,88	$c_B =$	533,33	$z_B =$	0,42
$N_G =$	763,27		$z_G =$	0,79	$c_G =$	766,67	$z_G =$	0,39

\* Коэффициент в знаменателе  $t_n = 1,3$ .

*Отсечка 2 по входу В в квазифазе 3 без «просачивания» ТП через ПП не приводится со своим рисунком, поскольку результаты ее таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП аналогичны результатам отсечки вида 1.*

## Отсечка 3 по входу Г в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП

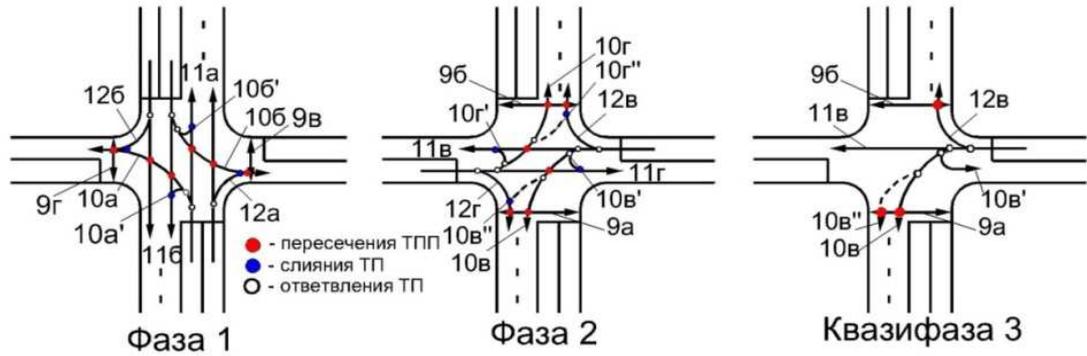


Рисунок П.3.4 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП и отсечкой ТП в квазифазе 3 с просачиванием через ПП, когда пешеходным потокам 9а и 9б требуется длительность разрешающего сигнала фазы 2 и квазифазы 3, а интенсивность ТП  $11в > 11г$  (на 37 %) больше,  $T_{ц} = 48$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 14; всего 34; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 8; отклонения ○ – 14; всего 28

Таблица П.3.16 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100	
11а	700	11б	700	11в	400	11г	250	
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100	

Таблица П.3.17 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	16,7	6,2	8,5	3,3	48	0,79–0,88
2. Нет только разворотов	16,7	6,2	7,5	3,2	48	0,79–0,88
3. Нет только ПП	9,5	3,7	6,2	0,7	48	0,79–0,88

Структура светофорного цикла:

$$T_{ц} = 19 + 3 + 16 + 7 + 3 = 48 \text{ с.}$$

Отсечка 4 по входу Г в квазифазе 3 без «просачивания» ТП через ПП также не приводится с ее рисунком, поскольку результаты ее таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП аналогичны результатам для вида отсечки 3.

Отсечка 5 по входу Б в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП

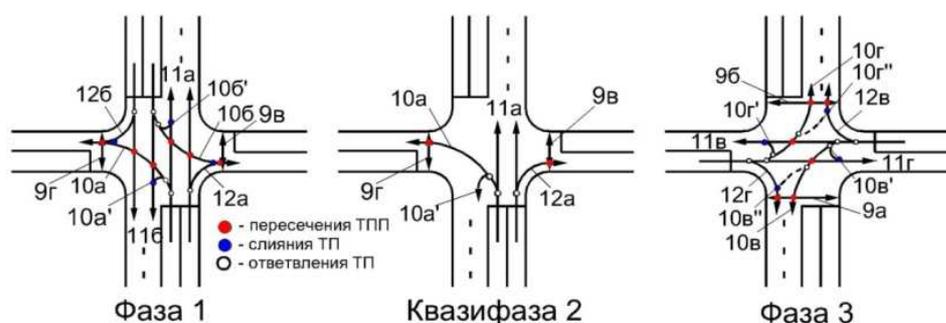


Рисунок П.3.5 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП и отсечкой ТП в квазифазе 2 с просачиванием через ПП, когда пешеходным потокам 9в и 9г нужна длительность разрешающего сигнала фаз 1 и 2, а интенсивность ТП 11а > 11б (на 21 %) больше,  $T_{ц} = 48$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.:

пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 14; всего 34;

вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 8; отклонения ○ – 14; всего 28

Таблица П.3.18 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	100	106	100	10в	100	10г	100	
11а	700	116	550	11в	400	11г	400	
12а	100	126	100	12в	100	12г	100	

Таблица П.3.19 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	16,8	6,1	8,5	3,3	48	0,73–0,94
2. Нет только разворотов	15,5	5,7	7,5	3,1	48	0,73–0,94
3. Нет только ПП	9,6	3,8	6,2	0,6	48	0,73–0,94

## Расчет режима светофорного регулирования

Таблица П.3.20 – Поток насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Для двух полос	Для одной полосы		
$M_{H\text{прям}}=$	3675	1837,5		$y_A = 0,27$
$M_{H_A}=$	3307,5			$y_B = 0,23$
$M_{H_B}=$	3242,647			$y_B = 0,38$
$M_{H_B}=$		1575		$y_\Gamma = 0,38$
$M_{H_\Gamma}=$		1575		

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,27 + 0,38 = 0,65$ .

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$t_{01} = 15 \text{ с}; \quad t_{02} = 7 \text{ с}; \quad t_{03} = 20 \text{ с}.$$

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 15 + 7 + 3 + 20 + 3 = 48 \text{ с}$ .

Таблица П.3.21 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2			
$N_{\text{п}} =$	487,50	п2	750,0				
	1038,5	п				С	
$N_A =$	1233,7		$z_A = 0,73$	$c_A = 733,3$	1466,7	$z_A = 0,61$	
$N_B =$	797,1		$z_B = 0,94$	$c_B = 500,0$	1000,0	$z_B = 0,75$	
$N_B =$	654,3		$z_B = 0,92$	$c_B = 666,7$	1333,3	$z_B = 0,45$	
$N_\Gamma =$	654,3		$z_\Gamma = 0,92$	$c_\Gamma = 666,7$	1333,3	$z_\Gamma = 0,45$	

Отсечка 6 по входу В в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП не приводится с ее рисунком, т. к. результаты ее таблицы КЗ и пропускной способности РП аналогичны с результатами для вида отсечки 5.

Отсечка 7 по входу А в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП

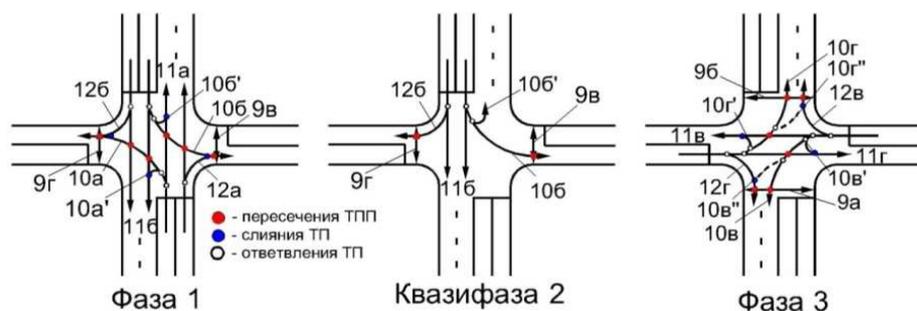


Рисунок П.3.6 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-днополосных РП и отсечкой ТП в квазифазе 2 с просачиванием через ПП, когда пешеходным потокам 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала фазы 1 и квазифазы 2, а интенсивность ТП  $11б > 11а$  (на 21 %) больше,  $T_{\text{ц}} =$

48 с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 14; всего 34; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 8; отклонения ○ – 14; всего 28

Таблица П.3.22 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	550	11б	700	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.23 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	16,8	6,1	8,5	3,3	48	0,73–0,94
2. Нет только разворотов	15,5	5,7	7,5	3,1	48	0,73–0,94
3. Нет только ПП	9,6	3,8	6,2	0,6	48	0,73–0,94

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 15 + 7 + 3 + 20 + 3 = 48$  с.

Отсечка 8 по входу В в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП не приводится, поскольку результаты ее таблицы КЗ и ПС на РП аналогичны результатам для вида отсечки 7.

### П.3.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП с отдельной пешеходной фазой по их моделям СОД с КЗ

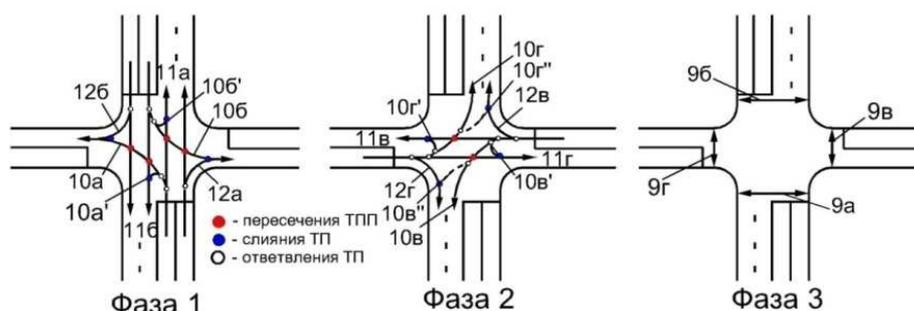


Рисунок П.3.7 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двух- и однополосных РП с организацией отдельной пешеходной фазы 3, при пофазном I методе

управления в фазах 1,2, когда пешеходным потокам 9а – 9г требуется отдельная пешеходная фаза 3 (с ее включением между фазами 1 и 2 с нужным «терпеливым» ожиданием),  $T_{ц} = 94$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 6; слияний ● – 8; отклонений ○ – 14; всего 28; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 20

Таблица П.3.24 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	100	10в	100	10г	100
11а	700	11б	700	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.25 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{цел}$	$R_{пл}$	$R_{плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	9,3	3,9	6,4	0,67	94	0,92–0,95
6. По п. 5 нет разворотов	8,4	3,5	5,1	0,45	94	0,92–0,95

*Расчет режима светофорной сигнализации*

Таблица П.3.26 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г	
10а	11,11	10б	11,11	10в	16,67	10г	16,67
11а	77,78	11б	77,78	11в	66,67	11г	66,67
12а	11,11	12б	11,11	12в	16,67	12г	16,67

Таблица П.3.27 – Потоки насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Для двух	Для одной полосы			
$M_{цпрям}$	3675	1837,5		$y_A$	
$M_{цл} =$	3307,5			$y_B$	
$M_{цб} =$	3307,5			$y_B$	
$M_{цв} =$		1575		$y_B$	
$M_{цг} =$		1575		$y_G$	
					0,27
					0,27
					0,38
					0,38

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,27 + 0,38 = 0,65$ . Длительность разрешающего сигнала, необходимая для пропуска ПП;  $t_{пш} = 16$  с.

Таблица П.3.28 – Уточненная длительность цикла регулирования

$A$	0,35
$B$	37,62
$C$	462,50
$T_{ц}$	94
$k$	1,13

Структура режима светофорного регулирования:

$$T_{\text{ц}} = 32 + 3 + 37 + 3 + 16 + 3 = 94 \text{ с.}$$

Таблица П.3.29 – Проверка обеспечения пропускной способности

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\text{п}} =$	574,5	ф1							
	1031,1	ф2				С			
$N_{\text{А}} =$	976,6		$z_{\text{А}} =$	0,92	$c_{\text{А}} =$	544,7	1089,4	$z_{\text{А}} =$	0,83
$N_{\text{Б}} =$	945,0		$z_{\text{Б}} =$	0,95	$c_{\text{Б}} =$	544,7	1089,4	$z_{\text{Б}} =$	0,83
$N_{\text{В}} =$	649,6		$z_{\text{В}} =$	0,92	$c_{\text{В}} =$	629,8	1259,6	$z_{\text{В}} =$	0,48
$N_{\text{Г}} =$	649,6		$z_{\text{Г}} =$	0,92	$c_{\text{Г}} =$	629,8	1259,6	$z_{\text{Г}} =$	0,48

Следовательно, другим рекомендуемым к внедрению видом трехфазно управляемой модели СОД с КЗ двухполосно-однополосного РП может быть модель с размещенной отдельной пешеходной фазой на позиции фазы 2, это позволит выполнить требование «терпеливого» ожидания для пешеходов, то есть – быть в пределах 40 с.

### П.3.4 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ, оснащенных светофором с левой дополнительной секцией

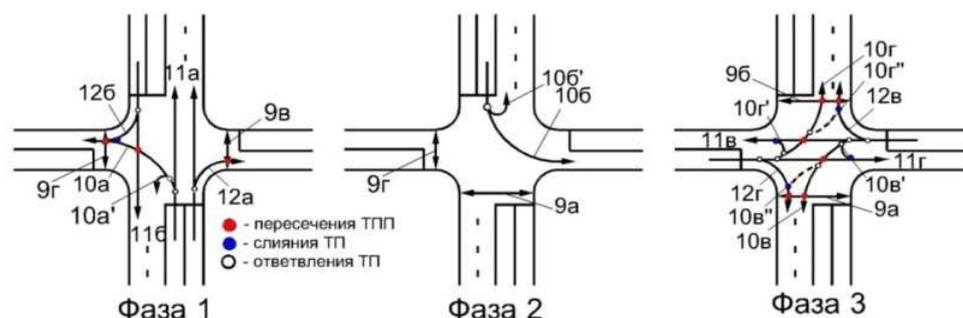


Рисунок П.3.8 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с использованием транспортного светофора Т.1.л с ДЗ 5.15.2 по входу Б (модель с **III** комбинированным методом управлением, т. е. с методом **II** управления по отдельным направлениям в фазе 2 и метода **I** с пофазным управлением в фазах 1 и 3), при пофазном **I** методе управления в фазах 1–3, при условии – интенсивность левоповоротного ТП 10б > 120 ед./ч, а левоповоротных ТП 10в и 10г ≤ 120 ед./ч,  $T_{\text{ц}} = 105$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 4; отклонений ○ – 11; всего 23; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 2; отклонения ○ – 8; всего 18; вариант 3, если пешеходного движения нет

(т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 4; отклонения ○ – 11; всего 17

Таблица П.3.30 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	300	10в	100	10г	100
11а	700	11б	350	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.31 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	12,9	5,0	6,5	2,8	105	0,6–0,97
2. Нет только разворотов	12,0	4,8	5,9	2,6	105	0,6–0,97
3. Нет только ПП	5,7	2,5	4,1	0,4	105	0,6–0,97

Таблица П.3.32 – Поток насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{\text{Нпрям}}$	3675	1838			$y_A$	0,27
$M_{\text{Нл}}$	3308				$y_{11,12Б}$	0,23
$M_{\text{Нб}}$	1946	1713	$=M_{\text{Н10б}}$		$y_{10б}$	0,18
$M_{\text{Нв}}$		1575			$y_B$	0,38
$M_{\text{Нг}}$		1575			$y_G$	0,38

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,27 + 0,18 + 0,38 = 0,83$ .

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$t_{01} = 35 \text{ с}; \quad t_{02} = 21 \text{ с}; \quad t_{03} = 40 \text{ с}.$$

Структура светофорного цикла:  $T_{\text{ц}} = 35 + 3 + 21 + 3 + 40 + 3 = 105 \text{ с}$ .

Таблица П.3.33 – Пропускная способность РП

Вариант №1						Вариант №2					
$N_n =$	565,7	35с	501,1	-21 с	1002,2		-40 с		С		
$N_A =$	930,6		$z_A =$	0,97			$c_A =$	533,3	066,7	$z_A =$	0,84
$N_{10б} =$	501,1		$z_{10б} =$	0,60			$c_{10б} =$	320,0	320,0	$z_{10б} =$	0,94
$N_{11,12Б} =$	565,7		$z_{11,12Б} =$	0,80			$c_{11,12Б} =$	533,3	533,3	$z_{11,12Б} =$	0,84
$N_B =$	631,4		$z_B =$	0,95			$c_B =$	609,5	993,5	$z_B =$	0,60
$N_G =$	631,4		$z_G =$	0,95			$c_G =$	609,5	993,5	$z_G =$	0,60

### П.3.5 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП по моделям СОД с КЗ со светофорами Т.1 и ДЗ типа 5.15.1 на одном двухполосном входе и разной отсечкой ТП

*Отсечка 1 по входу В в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП*

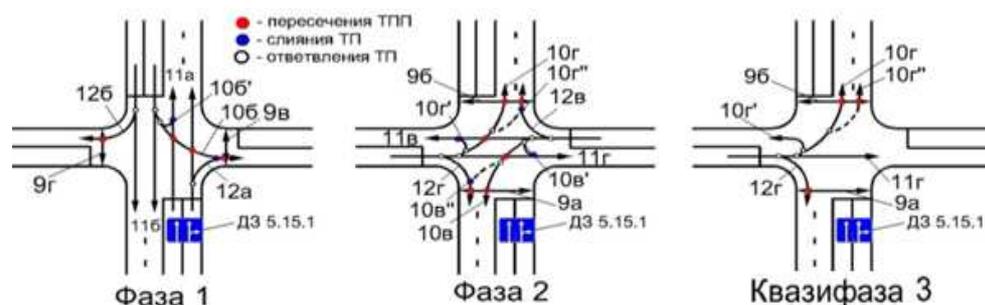


Рисунок П.3.9 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с отсечкой ТП в квазифазе 3 с просачиванием при ДЗ 5.15.1 по входу А, при условии – интенсивность ТП  $11г > 11в$ , а левый поворот на перекрестке по входу А запрещен (например, применен отнесенный левый поворот),  $T_{ц} = 48с$ , при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант –7: – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 10; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 8, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 3; отклонения ○ – 9; всего 22; вариант 9, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 4; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12; всего 22

Таблица П.3.34 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	0	10б	100	10в	100	10г	100	
11а	800	11б	700	11в	250	11г	400	
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100	

Таблица П.3.35 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения	13,8	5,4	7,3	3,2	48	0,83–0,88
8. По п. 7 нет разворотов	13,1	5,2	6,8	3,1	48	0,83–0,88
9. По п. 7 нет ПП	6,5	2,9	4,7	0,5	48	0,83–0,88

### Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.3.36 – Потoki насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Ф1	Ф2, КФ3		
$M_{Нпрям}$	3675	1837,5		$y_A$
$M_{Нл} =$	3575,7			$y_B$
$M_{Нб} =$	3307,5			$y_B$
$M_{Нв} =$		1503,4		$y_G$
$M_{Нг} =$		1575,0		

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,27 + 0,38 = 0,65$ .

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$t_{01} = 19 \text{ с}; \quad t_{02} = 16 \text{ с}; \quad t_{03} = 7 \text{ с}.$$

Структура режима светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 19 + 3 + 16 + 7 + 3 = 48 \text{ с}.$$

Таблица П.3.37 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	637,50	ф1						
	807,69	ф2	1211,54	ф2+ф3		С		
$N_{\text{А}} =$	1083,75		$z_{\text{А}} =$	0,83	$c_{\text{А}} =$	633,33	$z_{\text{А}} =$	0,71
$N_{\text{Б}} =$	1048,69		$z_{\text{Б}} =$	0,86	$c_{\text{Б}} =$	633,33	$z_{\text{Б}} =$	0,71
$N_{\text{В}} =$	508,85		$z_{\text{В}} =$	0,88	$c_{\text{В}} =$	533,33	$z_{\text{В}} =$	0,42
$N_{\text{Г}} =$	763,27		$z_{\text{Г}} =$	0,79	$c_{\text{Г}} =$	766,67	$z_{\text{Г}} =$	0,39

Отсечка 2 по входу В в квазифазе 3 без «просачивания» ТП через ПП не приводится с ее рисунком, т. к. его таблица КЗ и ПС на РП незначительно и только по оценкам БД (меньше 3 %) отличается от таблицы для отсечки 1.

Отсечка 3 по входу Г в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП

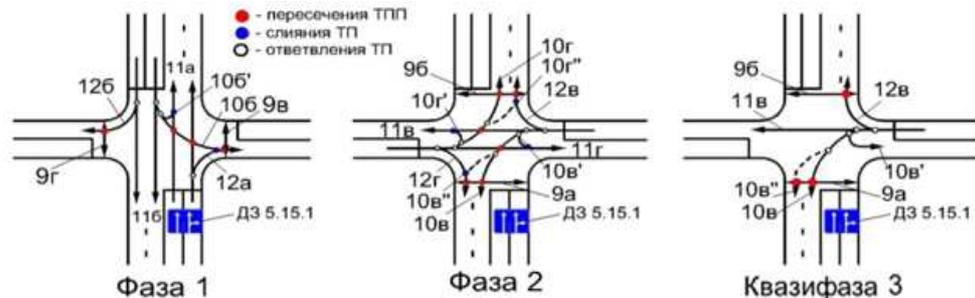


Рисунок П.3.10 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с отсечкой ТП в квазифазе 3 и с просачиванием через ПП, с ДЗ 5.15.1 по вх. А, при условии – интенсивность ТП  $11\text{в} > 11\text{г}$ , а левый поворот на перекрестке по входу А запрещен (применен отнесенный левый поворот),  $T_{\text{ц}} = 48 \text{ с}$ , при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 7 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 10; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 8, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 3; отклонения ○ – 9; всего 22; вариант 9, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), кон-

фликтные точки, шт.: пересечения ● – 4; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12;  
всего 22

Таблица П.3.38 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения	13,8	5,4	7,3	3,2	48	0,83–0,88
8. По п.7 нет разворотов	13,1	5,2	6,8	3,1	48	0,83–0,88
9. По п.7 нет ПП	6,5	2,9	4,7	0,5	48	0,83–0,88

Структура режима светофорной сигнализации:

$$T_{ц} = 19 + 3 + 16 + 7 + 3 = 48 \text{ с.}$$

**Отсечка 4 по входу Г в квазифазе 3 без «просачивания» ТП через ПП** не приведена с ее рисунком – по аналогичной причине, как и для отсечки вида 2.

**Отсечка 5 по входу А в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП**

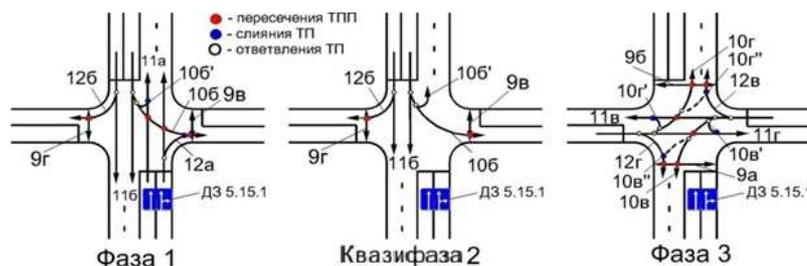


Рисунок П.3.11 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с отсечкой ТП в квазифазе 2 и с просачиванием через ПП, с ДЗ 5.15.1 по вх. А, при условии – интенсивность ТП 11б > 11а, а левый поворот на перекрестке по входу А запрещен,  $T_{ц} = 48$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, где вариант 7 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 10; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 8, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 3; отклонения ○ – 9; всего 22; вариант 9, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 4; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12; всего 22

Таблица П.3.39 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А	Б		В		Г	
10а	-	10б	120	10в	100	10г	100
11а	550	11б	800	11в	400	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.40 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Гл}}$	$R_{\text{Глmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения	13,8	5,2	7,1	2,9	48	0,73–0,97
8. По п. 7 нет разворотов	12,5	4,8	5,6	2,7	48	0,73–0,97
9. По п. 7 нет ПП	6,6	2,8	4,5	0,5	48	0,73–0,97

*Расчет режима светофорного регулирования*

Таблица П.3.41 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г	
10а	0,00	10б	15,58	10в	16,67	10г	16,67
11а	88,89	11б	71,43	11в	66,67	11г	66,67
12а	11,11	12б	12,99	12в	16,67	12г	16,67

Таблица П.3.42 – Потоки насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

	$\phi_1$	$\phi_3$			
$M_{\text{Нпрям}}$	3675	1837,5		$y_A$	0,25
$M_{\text{НА=}}$	3575,676			$y_B$	0,24
$M_{\text{НБ=}}$	3197,458			$y_B$	0,38
$M_{\text{НВ=}}$		1575		$y_G$	0,38
$M_{\text{НГ=}}$		1575			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,25 + 0,38 = 0,6$ .

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$t_{01} = 15 \text{ с}; \quad t_{02} = 7 \text{ с}; \quad t_{03} = 20 \text{ с}.$$

Структура режима светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 15 + 7 + 3 + 20 + 3 = 48 \text{ с}.$$

Таблица П.3.43 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				С	
$N_{\text{п}} =$	487,50	$\phi_1$	750,0	$\phi_1 + \phi_2$					
	1038,5	$\phi_3$							
$N_A =$	1233,8	$z_A =$	0,73	$c_A =$	733,3	1466,7	$z_A =$	0,61	
$N_B =$	797,1	$z_B =$	0,97	$c_B =$	500,0	1000,0	$z_B =$	0,77	
$N_B =$	654,2	$z_B =$	0,92	$c_B =$	666,7	666,7	$z_B =$	0,90	
$N_G =$	654,2	$z_G =$	0,92	$c_G =$	666,7	666,7	$z_G =$	0,90	

Перечисленные ниже комбинаторные виды отсечек 6 – 8, также опущены, поскольку не несут существенных отличий в своих таблицах конфликтных загрузок и пропускной способности РП от приведенных выше оценок.

*Отсечка 6 по входу А в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП;*

*Отсечка 7 по входу Б в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП;*



Таблица П.3.45 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{цел}}$	$R_{\text{Гл}}$	$R_{\text{Глmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения	12,8	5,0	6,4	2,7	97	0,58–0,98
8. По п. 7 нет разворотов	12,1	4,8	5,9	2,6	97	0,58–0,98
9. По п. 7 нет ПП	5,7	2,5	4,1	0,4	97	0,58–0,98

*Расчет режима светофорной сигнализации*

Таблица П.3.46 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г	
10а	0,00	10б	40,00	10в	16,67	10г	16,67
11а	88,89	11б	77,78	11в	66,67	11г	66,67
12а	11,11	12б	13,33	12в	16,67	12г	16,67

Таблица П.3.47 – Поток насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Для двух полос	Для одной полосы			
$M_{\text{Нпрям}}$	3675	1838		$y_A$	0,25
$M_{\text{НА=}}$	3576			$y_{11,12Б}$	0,23
$M_{\text{Н11,12Б=}}$	1946	1713	$= M_{\text{Н10Б}}$	$y_{10Б}$	0,18
$M_{\text{НВ=}}$		1575		$y_B$	0,38
$M_{\text{НГ=}}$		1575		$y_G$	0,38

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,25 + 0,18 + 0,38 = 0,81$ .

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$t_{01} = 32 \text{ с}; \quad t_{02} = 20 \text{ с}; \quad t_{03} = 36 \text{ с}.$$

Структура режима светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 32 + 3 + 20 + 3 + 36 + 3 = 97 \text{ с}.$$

Таблица П.3.48 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				С		
$N_{\text{п}} =$	556,70	–ф1	513,88	–ф2	970,66	–ф3				
$N_{\text{А=}}$	915,77		$z_A =$	0,98		$c_{\text{А=}}$	527,84	1055,67	$z_A =$	0,85
$N_{\text{10Б=}}$	513,88		$z_{10Б} =$	0,58		$c_{10Б=}$	329,90	329,90	$z_{10Б} =$	0,91
$N_{\text{11,12Б=}}$	556,70		$z_{11,12Б=}$	0,81		$c_{11,12Б=}$	527,84	527,84	$z_{11,12Б=}$	0,85
$N_{\text{В=}}$	611,51		$z_{\text{В=}}$	0,98		$c_{\text{В=}}$	593,81	967,92	$z_{\text{В=}}$	0,62
$N_{\text{Г=}}$	611,51		$z_{\text{Г=}}$	0,98		$c_{\text{Г=}}$	593,81	967,92	$z_{\text{Г=}}$	0,62

**П.3.7 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП при разных на 2-х полосных входах светофорах Т.1.л и Т.1 с ДЗ 5.15.2 и 15.15.1 с отсечкой ТП**

*Отсечка 1 по входу В в квазифазе 4 с «просачиванием» ТП через ПП*

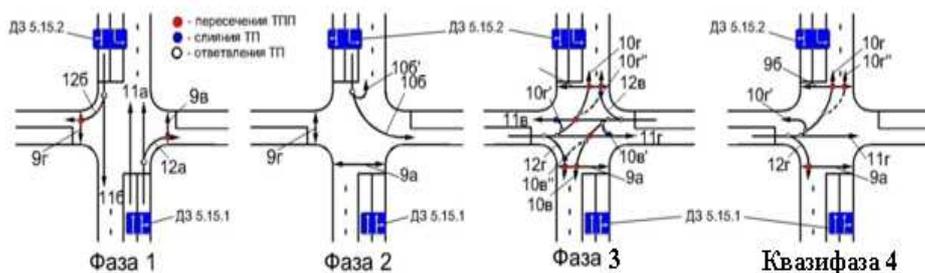


Рисунок П.3.13 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с транспортным светофором Т.1.л и ДЗ 5.15.2 по входу Б и ДЗ 5.15.1 по входу А со светофором Т.1, по входам В и Г со светофорами Т.1 при отсечке ТП в квазифазе 4 по входу В с просачиванием через ПП (модель с **III** комбинированным методом управлением, т. е. с методом **II** управления по отдельным направлениям в фазе 2 и метода **I** с пофазным управлением в фазах 1,3 и в квазифазе 4), при условии – интенсивность по входу Б левоповоротного ТП  $10б > 120$  ед./ч, а левый поворот по входу А запрещен, есть элементы комбинированного управления на РП,  $T_{ц} = 99$  с, где вариант –7: – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 4; отклонений ○ – 11; всего 23; вариант – 8, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 2; отклонения ○ – 8; всего 18; вариант – 9, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 4; отклонения ○ – 11; всего 17

Таблица П.3.49 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	–	10б	300	10в	100	10г	100
11а	800	11б	350	11в	250	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.50 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{ГЛ}$	$R_{ГЛmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения	12,8	4,7	6,2	2,7	99	0,6–0,9
8. По п. 7 нет разворотов	12,1	4,5	5,5	2,6	99	0,6–0,9
9. По п. 7 нет ПП	5,7	2,5	3,9	0,4	99	0,6–0,9

Таблица П.3.51 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г	
10а	0,00	10б	40,00	10в	22,22	10г	16,67
11а	88,89	11б	77,78	11в	55,56	11г	66,67
12а	11,11	12б	13,33	12в	22,22	12г	16,67

Таблица П.3.52 – Потoki насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	Для двух полос	Для одной полосы			
$M_{H\text{прямo}}$	3675	1838		$y_A$	0,25
$M_{H_A=}$	3576			$y_{11,12Б}$	0,23
$M_{H_{11,12Б}=}$	1946	1713	$= M_{H_{10Б}}$	$y_{10Б}$	0,18
$M_{H_B=}$		1503		$y_B$	0,30
$M_{H_{Г=}}$		1575		$y_{Г}$	0,38

Сумма фазовых коэффициентов:

$$Y = 0,25 + 0,18 + 0,38 = 0,81.$$

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$t_{01} = 30 \text{ с}; \quad t_{02} = 20 \text{ с}; \quad t_{03} = 33 \text{ с}; \quad t_{04} = 7 \text{ с}.$$

Структура режима светофорной сигнализации:

$$T_{ц} = 30 + 3 + 20 + 3 + 33 + 7 + 3 = 99 \text{ с}.$$

Таблица П.3.53 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
	φ1	φ2	φ3	φ4					
$N_{п} =$	509,09	503,5	867,13	1062,94			С		
$N_A =$	1018,18		$z_A =$	0,88	$c_A =$	484,85	969,70	$z_A =$	0,93
$N_{10Б} =$	503,50		$z_{10Б} =$	0,60	$c_{10Б} =$	323,23	323,23	$z_{10Б} =$	0,93
$N_{11,12Б} =$	509,09		$z_{11,12Б} =$	0,88	$c_{11,12Б} =$	484,85	484,85	$z_{11,12Б} =$	0,93
$N_B =$	546,29		$z_B =$	0,82	$c_B =$	533,33	533,33	$z_B =$	0,84
$N_{Г} =$	669,65		$z_{Г} =$	0,90	$c_{Г} =$	646,46	646,46	$z_{Г} =$	0,93

Отсечка 2 по входу В в квазифазе 4 без «просачивания» ТП через ПП

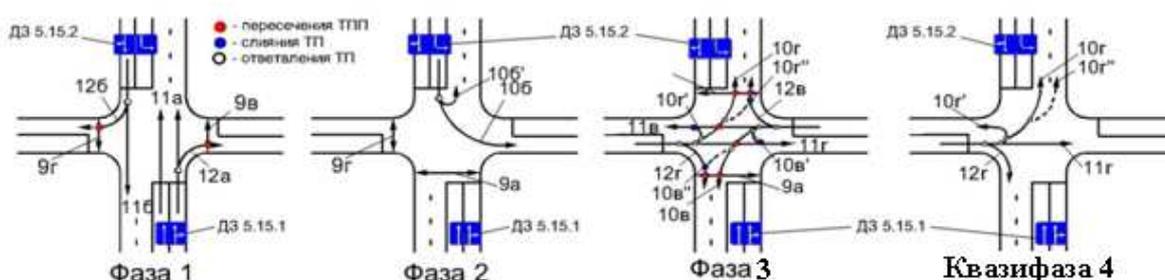


Рисунок П.3.14 – Четырехфазноуправляемая модель СОД с КЗ двухполосно-

однополосных РП с использованием отсечки в квазифазе 4 по входу В без просачивания ТП через ПП, а также транспортного светофора Т.1.л с ДЗ 5.15.2 по входу Б и ДЗ 5.15.1 по входу А, а по входам В и Г светофоров Т.1 (модель с III комбинированным методом управлением, т. е. с методом II управления по отдельным направлениям в фазе 2 и метода I с пофазным управлением в фазах 1,3 и в квазифазе 4), при условии, интенсивность по входу Б левоповоротного ТП  $106 > 120$  ед./ч, а левый поворот по входу А запрещен, есть комбинированное управление на РП,  $T_{ц} = 99$  с, где вариант –7: – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 4; отклонений ○ – 11; всего 23; вариант – 8, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 2; отклонения ○ – 8; всего 18; вариант – 9, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 4; отклонения ○ – 11; всего 17

Таблица П.3.54 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
7. Все маневры разрешены с учетом ДЗ предписания или запрещения	12,8	4,5	6,0	2,7	99	0,6–0,9
8. По п. 7 нет разворотов	12,1	4,3	5,2	2,6	99	0,6–0,9
9. По п. 7 нет ПП	5,7	2,5	3,9	0,4	99	0,6–0,9

Структура режима светофорной сигнализации:

$$T_{ц} = 30 + 3 + 20 + 3 + 33 + 7 + 3 = 99 \text{ с.}$$

Виды отсечки 3 и 4 только констатируются, поскольку имеют аналогичные отсечкам 1 и 2 расчетные параметры для своих соответствующих таблиц конфликтных загрузок и пропускной способности РП.

*Отсечка 3 по входу Г в квазифазе 4 с «просачиванием» ТП через ПП*

*Отсечка 4 по входу Г в квазифазе 4 без «просачивания» ТП через ПП*

\* Симметричный комбинаторный вариант риса П.3.13 с размещением ДЗ и транспортного светофора Т.1.л – по входу А, а по входу Б светофора Т.1 с соответствующими ДЗ дает еще 4-ре вида описанных отсечек в квазифазе 4, рассмотрение которых опущено, так как они не несут новой информации.

### П.3.8 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых двухполосно-однополосных Х-образных РП при разных на 2-х полосных входах светофора Т.1.л и Т.1 без ДЗ с отсечкой ТП

Отсечка 1 по входу В в квазифазе 4 с «просачиванием» ТП через ПП

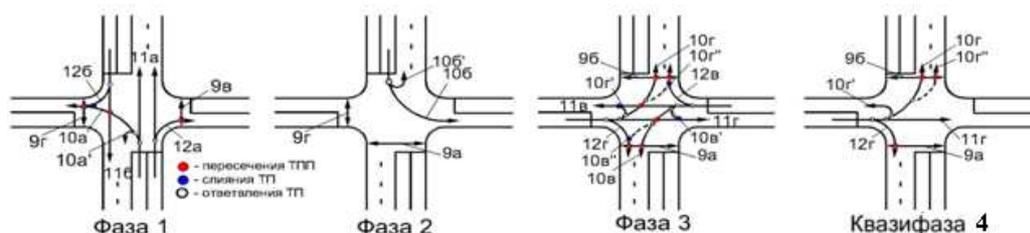


Рисунок П.3.15 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с использованием отсечки в квазифазе 4 по входу В с просачиванием ТП через ПП, а также транспортного светофора Т.1.л по входу Б и Т.1 по остальным входам (модель с **III** комбинированным методом управления, т. е. с методом **II** управления по отдельным направлениям в фазе 2 и метода **I** с пофазным управлением в фазах 1,3 и в квазифазе 4), при условии – интенсивность по входу Б левоповоротного ТП  $10б > 120$  ед./ч, интенсивность ТП  $11г > 11в$ , ПП 9а и 9б нуждаются для перехода во временном интервале ф3 и кф4, а интенсивности левоповоротных ТП  $10в$  и  $10г \leq 120$  ед./ч,  $t_{ц} = 105$  с, есть комбинированное управление на РП, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 4; отклонений ○ – 11; всего 23; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 2; отклонения ○ – 8; всего 18; вариант – 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 4; отклонения ○ – 11; всего 17

Таблица П.3.55 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	100	10б	300	10в	100	10г	100	
11а	700	11б	350	11в	250	11г	400	
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100	

Таблица П.3.56 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{ГЛ}$	$R_{ГЛmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	12,9	4,8	6,3	2,8	105	0,6–0,97
2. Нет только разворотов	12,0	4,5	5,5	2,6	105	0,6–0,97
3. Нет только ПП	5,7	2,5	3,9	0,4	105	0,6–0,97

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$t_{01} = 35 \text{ с}; \quad t_{02} = 21 \text{ с}; \quad t_{03} = 33 \text{ с}; \quad t_{04} = 7 \text{ с}.$$

Структура светофорного цикла:

$$T_{ц} = 35 + 3 + 21 + 3 + 33 + 7 + 3 = 105 \text{ с}.$$

Таблица П.3.57 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
	ф1	ф2	ф3	ф4	С				
$N_{П} =$	565,7	501,	817,58	1002,2					
$N_{А} =$	930,6		$z_{А} =$	0,97	$c_{А} =$	533,3	1066,7	$z_{А} =$	0,84
$N_{10Б} =$	501,1		$z_{10Б} =$	0,60	$c_{10Б} =$	320	320,0	$z_{10Б} =$	0,94
$N_{11,12Б} =$	565,7		$z_{11,12Б} =$	0,80	$c_{11,12Б} =$	533,3	533,3	$z_{11,12Б} =$	0,84
$N_{В} =$	515,1		$z_{В} =$	0,87	$c_{В} =$	502,9	502,8	$z_{В} =$	0,89
$N_{Г} =$	631,4		$z_{Г} =$	0,95	$c_{Г} =$	609,5	609,5	$z_{Г} =$	0,98

Отсечка 2 по входу В в квазифазе 4 без «просачивания» ТП через ПП

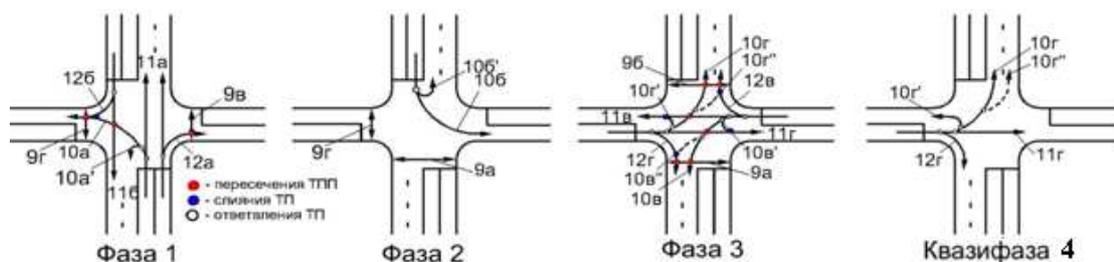


Рисунок П.3.16 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с использованием отсечки в квазифазе 4 по входу В без просачивания ТП через ПП, а также транспортного светофора Т.1.л по входу Б и Т.1 по остальным входам (модель с **III** комбинированным методом управлением, т. е. с методом **II** управления по отдельным направлениям в фазе 2 и метода **I** с пофазным управлением в фазах 1,3 и в квазифазе 4), при условии – интенсивность по входу Б левоповоротного ТП  $10Б > 120$  ед./ч, интенсивность ТП  $11Г > 11В$ , ПП 9а и 9б достаточно для перехода временного интервала ф3, а интенсивности левоповоротных ТП  $10В$  и  $10Г \leq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 105$  с, комбинированное управление на РП, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений

● – 8; слияний ● – 4; отклонений ○ – 11; всего 23; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 2; отклонения ○ – 8; всего 18; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 4; отклонения ○ – 11; всего 17

Таблица П.3.58 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	100	10б	300	10в	100	10г	100
11а	700	11б	350	11в	250	11г	400
12а	100	12б	100	12в	100	12г	100

Таблица П.3.59 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	12,9	4,6	6,1	2,8	105	0,6–0,97
2. Нет только разворотов	12,0	4,3	5,2	2,6	105	0,6–0,97
3. Нет только ПП	5,7	2,5	3,9	0,4	105	0,6–0,97

Структура светофорного цикла:

$$T_{ц} = 35 + 3 + 21 + 3 + 33 + 7 + 3 = 105 \text{ с.}$$

*Отсечка 3 по входу Г в квазифазе 4 с «просачиванием» ТП через ПП*

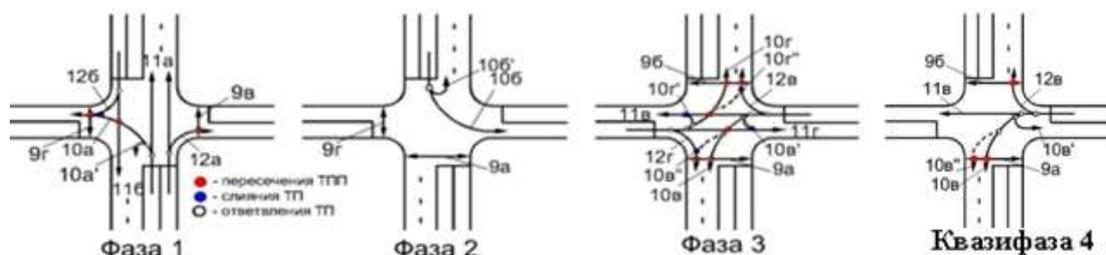


Рисунок П.3.17 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с Т.1.л по входу Б и отсечкой в квазифазе 4 по входу Г с просачиванием ТП через ПП (модель с **III** комбинированным методом управлением, т. е. с методом **II** управления по отдельным направлениям в фазе 2 и метода **I** с пофазным управлением в фазах 1, 3 и в квазифазе 4).

Все ее расчетные параметры аналогичны рассчитанным для модели рисунка П.3.16, поэтому не приводятся.

*Отсечка 4 по входу Г в квазифазе 4 без «просачивания» ТП через ПП*

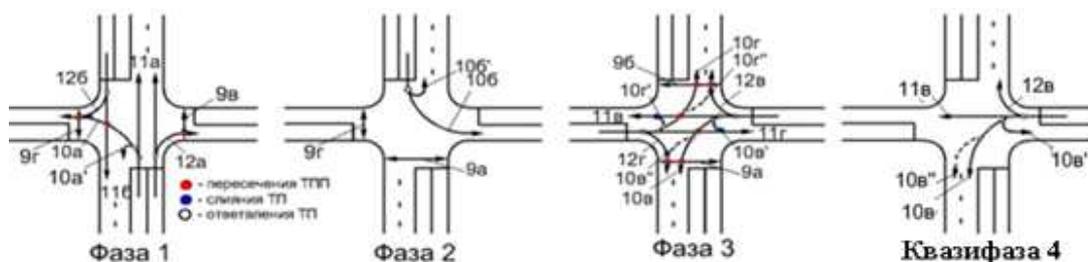


Рисунок П.3.18 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосно-однополосных РП с Т.1.л по входу Б и отсечкой в квазифазе 4 по входу Г без просачивания ТП (модель с **III** комбинированным методом управлением, т. е. с методом **II** управления по отдельным направлениям в фазе 2 и методом **I** с пофазным управлением в фазах 1,3 и в квазифазе 4).

Все ее расчетные параметры аналогичны модели рисунка П.3.16, поэтому не приводятся.

\* Симметричный комбинаторный вариант рисунка П.3.15 с транспортным светофором Т.1.л – по входу А. а по остальным входам с Т.1 дает еще 4-ре вида видов отсечек в квазифазе 4, рассмотрение которых опущено. Он также не несет новой информации.

### П.3.9 Функциональные зависимости оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ для двухполосно-однополосных Х-образных РП по СОД с КЗ

По таблицам конфликтных загрузок и пропускной способности двухполосно-однополосных регулируемых перекрестков разделов П.3.1–П.3.8 с применением компьютерной графикой на рисунке П.3.19 построены функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  и цикла светофорного управления ( $T_{Ц}$ ) от числа конфликтных точек для движения транспортно-пешеходных потоков на двухполосно-однополосных Х-образных РП при различных методах управления в их моделях СОД с КЗ.

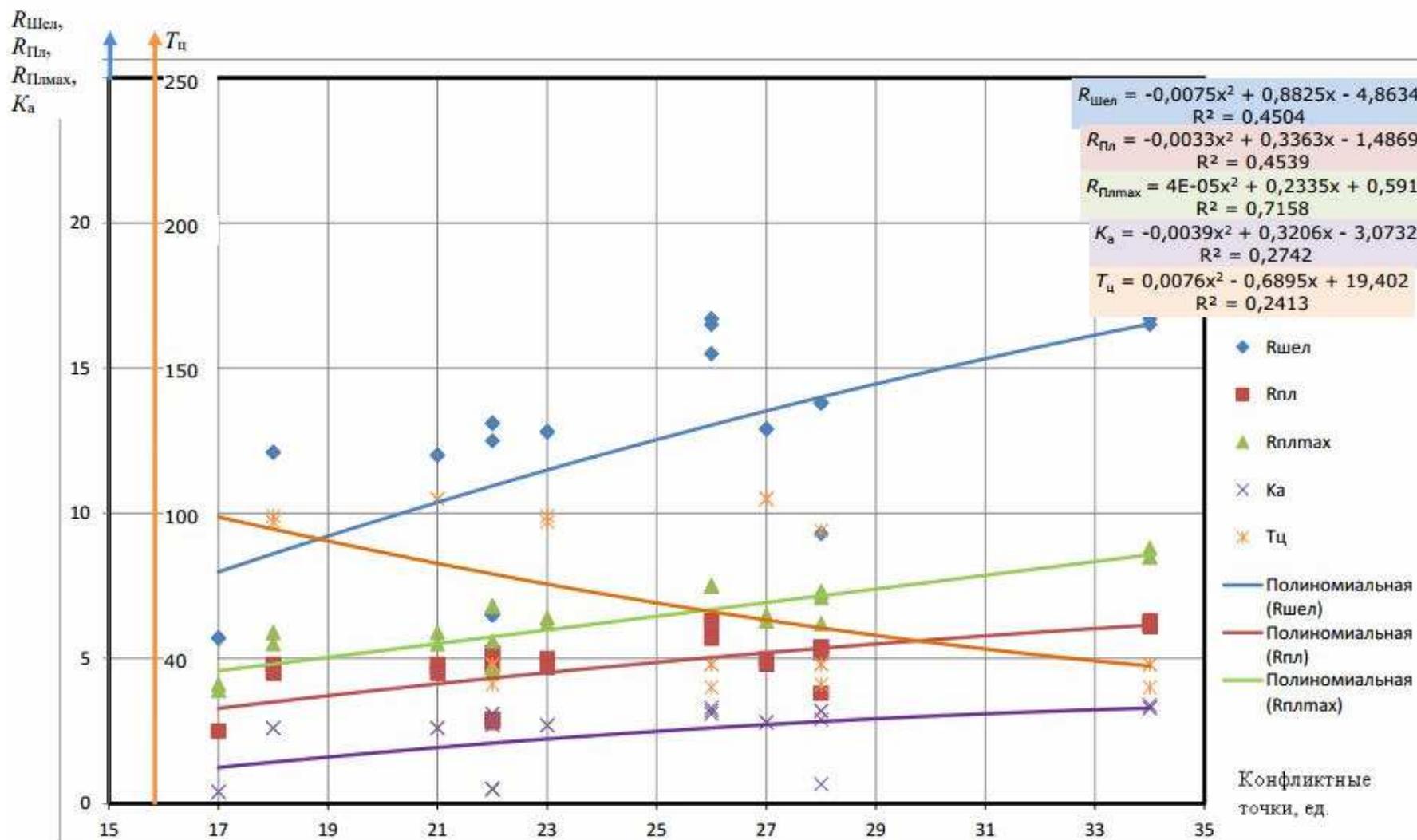


Рисунок П.3.19 – Функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{шел}$ ,  $R_{пл}$ ,  $R_{плmax}$  и цикла светофорного управления ( $T_{ц} = \text{var } 105\text{--}40$  с) от числа конфликтных точек (17–34 шт.) для движения транспортно-пешеходных потоков на двухполосно-однополосных X-образных РП при различных методах управления в их моделях СОД с КЗ

Представленные на рисунке П.3.19 три метода оценки безопасности дорожного движения в зависимости от числа конфликтных точек (17÷34 шт.) – при различных методах управления в моделях СОД с КЗ и одинаковых исходных данных – в приложении к классификации моделей СОД с КЗ (рис. 3.1) позволяют сделать нижеследующие выводы:

1. По показателю степени опасности пересечения  $K_a$  (табл. 3.1) для моделей СОД с КЗ в разделах П.3.1, П.3.2, и разделе П.3.3 решены соответственно задачи 2) и 3). Они по классификации моделей СОД с КЗ (рис.3.1) обеспечивают ПрУТБД (>3–≤8 ед. промежуточный) и ПУТБД (≤3 ед. повышенный) уровни требований к безопасности движения с I методом пофазного управления. Для моделей СОД с КЗ раздела П.3.5 решены задачи 2) и 3) с ПрУТБД и ПУТБД с I методом пофазного управления. Для моделей СОД с КЗ в подразделах П.3.4 и П.3.6 – П.3.8 решена задача с III методом светофорного управления на РП 18) при ПУТБД. Полиномиальная оценка  $K_a$  на рисунке П.3.19 демонстрирует наличие конфликтных точек (КТ) от 17 до 34 шт. Однако их не должно быть в моделях СОД с КЗ для ПУТБД, а для ПрУТБД они допускаются только частично. Следовательно, этот метод оценки через  $K_a$  не отражает реальную безопасность движения (БД) на одноуровневых регулируемых пересечениях (перекрестках).

2. По показателю оценки уровня конфликтной загрузки (КЗ)  $R_{Шел}$  в двухполосно-однополосных Х-образных РП, решается задача 1) (ДУТБД) с допустимым уровнем требований к безопасности движения (> 8 –≤ 12 ед.) только для моделей СОД с КЗ в разделе П.3.3 при организации отдельной пешеходной фазы. Во всех остальных моделях СОД с КЗ разделов приложения П.3 получается (НУТБД) недопустимый уровень требований к дорожной безопасности (>12 ед.). Следовательно, показатель  $R_{Шел}$  конфликтной загрузки для класса двухполосно-однополосных Х-образных РП дает запрет на их эксплуатацию. Эта оценка БД также не соответствует действительности для управляемых светофорами перекрестков.

3. Третий метод оценки уровней КЗ по двум методам – диагностической (аудиторской) оценки БД –  $R_{Пл\ max}$  и БД с уточненной оценкой  $R_{Пл}$ , на двухполосно-однополосных X-образных РП для их моделей СОД с КЗ в разделах П.3.1–П.3.3 решает задачи –1) и 2), обеспечивая ДУТБД и ПрУТБД по I методу управления. В разделах П.3.4–П.3.8 для моделей СОД с КЗ обеспечены оценки БД, численные значения которых соответствуют ПрУТБД с III методом светового управления на РП и решаются задачи 12) – 15), 17) и 21) из перечня классификации рис. 3.1. Общие результаты оценок БД из всех разделов П.3.1–П.3.8, представленные для  $R_{Пл\ max}$  и  $R_{Пл}$  на рисунке П.3.19 демонстрируют адекватное и стабильное соответствие этих оценок БД по третьему методу, отражающему реальную практику состояния безопасности движения на РП улично-дорожных сетей мегаполисов и поселений России.

## **П.4 Методика оценки УТБД и ПС двухполосных и трехполосных Т-образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП**

### **Содержание**

П.4.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых двухполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дороге.....	363
П.4.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосных Т-образных РП при разных специализациях движения ТП на примыкающей дороге и видах отсечки.....	366
П.4.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дорогеи отдельной пешеходной фазой .....	371
П.4.4 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дороге.....	373
П.4.5 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разных специализациях движения ТП на примыкающей дороге и видах отсечки.....	377
П.4.6 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дороге с неконфликтной фазой.....	380
П.4.7 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания без пешеходных потоков (ПП) .....	384
П.4.8 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания с отдельной фазой для ПП .....	387
П.4.9 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых комбинированным методом трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания .....	392
П.4.10 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания с отдельной фазой для ПП .....	395

П.4.11 Функциональные зависимости оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ для двух- и трехполосных Т-образных РП по СОД с КЗ.....	401
--	-----

### П.4.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых двухполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дороге

Специализация движения ТП в модели СОД с КЗ на входе А по типу 1

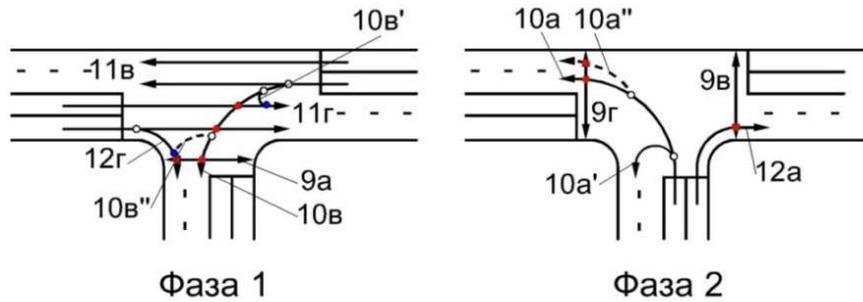


Рисунок П.4.1 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного движения на РП с предписывающими ДЗ для ТП по входу А с типом 1 и пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, при условии – движения ТП 12а направо и 10а налево на подходе А однозначно определены предписывающими ДЗ (4.1.2 и 4.1.3) по отдельным полосам с просачиванием через ПП 9в и 9г, а для ТП по входам В и Г определены ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11г и ПП 9а,  $T_{ц} = 38$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 7; слияния ● – 2; отклонений ○ – 6; всего 15; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 7; слияния ● – 1; отклонения ○ – 4; всего 12; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 2; отклонения ○ – 6; всего 10

Таблица П.4.1 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	500	10в	100	10г	–
11а	–	11в	800	11г	700
12а	500	12в	–	12г	300

Таблица П.4.2 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	8,5	3,6	4,7	5,0	38	0,68–0,75
2. Нет только разворотов	7,8	3,4	4,0	4,9	38	0,68–0,75
3. Нет только ПП	2,4	1,5	1,9	0,1	35	0,68–0,75

*Расчет режима светофорного регулирования*

Таблица П.4.3 – Потoki насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прямo}}$	3675			$y_{10A}$	0,29
$M_{H10A} =$	1712,926			$y_{12A}$	0,31
$M_{H12A} =$	1633,888			$y_B$	0,27
$M_{HB} =$		3392,308		$y_\Gamma$	0,29
$M_{H\Gamma} =$		3418,605			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,31 + 0,29 = 0,60$ .

Таблица П.4.4 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{o1} =$	14,76
$t_{o2} =$	14,11

Длительность разрешающего сигнала для пешеходных потоков:  $t_{\text{пеш}} = 16$  с  
(ширина полосы движения принимается равной 3,5 м).

Длительность основных разрешающих сигналов принимается из условия обеспечения пропуска пешеходных потоков:

$$T_{\text{ц}} = 16 + 3 + 16 + 3 = 38 \text{ с.}$$

Таблица П.4.5 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2			
$N_{\text{п}} =$	663,16					С	
$N_{12A} =$	663,16	$z_{12A} =$	0,75	$c_A =$	673,68	673,68	$z_A =$
$N_{10A} =$	663,16	$z_{10B} =$	0,75	$c_{10A} =$	673,68	673,68	$z_{10B} =$
$N_B =$	1326,32	$z_B =$	0,68	$c_B =$	673,68	1347,37	$z_B =$
$N_\Gamma =$	1326,32	$z_\Gamma =$	0,75	$c_\Gamma =$	673,68	1347,37	$z_\Gamma =$

*Специализация движения ТП в модели СОД с КЗ на входе А по типу 2*

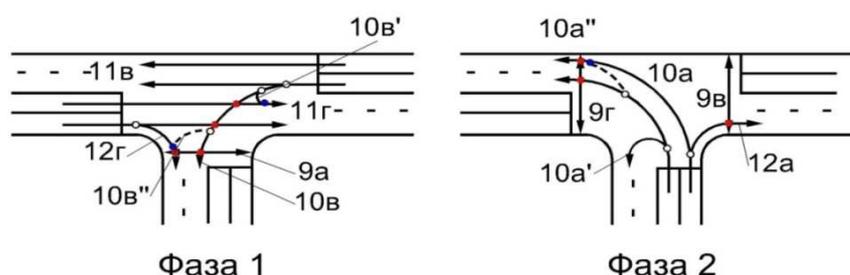


Рисунок П.4.2 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного движения на РП с предписывающими ДЗ для ТП по входу А с типом 2 и пофазном

I методе управления в фазах 1 и 2, при условии – движения ТП на подходе А определены предписывающими ДЗ: из правого ряда ДЗ (4.1.6), а из левого – ДЗ (4.1.3) с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г определены

ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11Г и ПП 9а,  $T_{ц} = 38$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 7; слияний ● – 3; отклонений ○ – 7; всего 17; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 7; слияния ● – 2; отклонения ○ – 5; всего 14; вариант – 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 3; отклонения ○ – 7; всего 12

Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч, здесь и далее, как в таблице П.4.1.

Таблица П.4.6 Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	8,5	3,6	4,7	5,0	38	0,68–0,75
2. Нет только разворотов	7,8	3,4	4,0	4,9	38	0,68–0,75
3. Нет только ПП	2,4	1,5	1,9	0,11	35	0,68–0,75

Расчет режима светофорного регулирования:

$$T_{ц} = 16 + 3 + 16 + 3 = 38^* \text{ с.}$$

\* Длительность основных разрешающих сигналов принята из условия обеспечения пропуска пешеходных потоков.

Таблица П.4.7 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{п} =$	663,2					$C$		
$N_{12A} =$	663,2	$z_{12A} =$	0,75	$c_A =$	673,7	673,7	$z_A =$	0,74
$N_{10A} =$	663,2	$z_{10B} =$	0,75	$c_{10A} =$	673,7	673,7	$z_{10B} =$	0,74
$N_B =$	1326,3	$z_B =$	0,68	$c_B =$	673,7	1347,4	$z_B =$	0,67
$N_{Г} =$	1326,3	$z_{Г} =$	0,75	$c_{Г} =$	673,7	1347,4	$z_{Г} =$	0,74

Специализация движения ТП в модели СОД с КЗ на входе А по типу 3

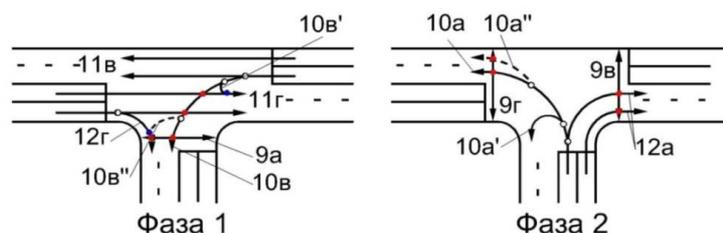


Рисунок П.4.3 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосного движения на РП с предписывающими ДЗ для ТП по входу А с типом 3 и пофазном

I методе управления в фазах 1 и 2, при условии – движения ТП на подходе А определены предписывающими ДЗ: из правого ряда ДЗ (4.1.2), а из левого – ДЗ (4.1.6) с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г определены ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11г и ПП 9а,  $T_{ц} = 38$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 8; слияний ● – 2; отклонений ○ – 7; всего 17; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 7; слияния ● – 1; отклонения ○ – 5; всего 13; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 2; отклонения ○ – 7; всего 11

Таблица П.4.8 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{цел}$	$R_{пл}$	$R_{л\max}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	8,5	3,6	4,7	5,0	38	0,68–0,75
2. Нет только разворотов	7,8	3,4	4,0	4,9	38	0,68–0,75
3. Нет только ПП	2,4	1,5	1,9	0,11	35	0,68–0,75

Расчет режима светофорного регулирования:

$$T_{ц} = 16 + 3 + 16 + 3 = 38^* \text{ с.}$$

\* Длительность основных разрешающих сигналов принята из условия обеспечения пропуска пешеходных потоков (ПП).

Таблица П.4.9 – Пропускная способность РП

Вариант № 1		ф2			Вариант № 2				
$N_{п} =$	663,16	663,16					С		
$N_{12A} =$	663,16		$z_{12A} =$	0,75	$c_A =$	673,68	673,68	$z_A =$	0,74
$N_{10A} =$	663,16		$z_{10B} =$	0,75	$c_{10A} =$	673,68	673,68	$z_{10B} =$	0,74
$N_B =$	1326,32		$z_B =$	0,68	$c_B =$	673,68	1347,37	$z_B =$	0,67
$N_{Г} =$	1326,32		$z_{Г} =$	0,75	$c_{Г} =$	673,68	1347,37	$z_{Г} =$	0,74

#### П.4.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосных Г-образных РП при разных специализациях движения ТП на примыкающей дороге и видах отсечки

*Отсечка 1 по входу Г в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП при специализации движения ТП на входе А по типу 1*

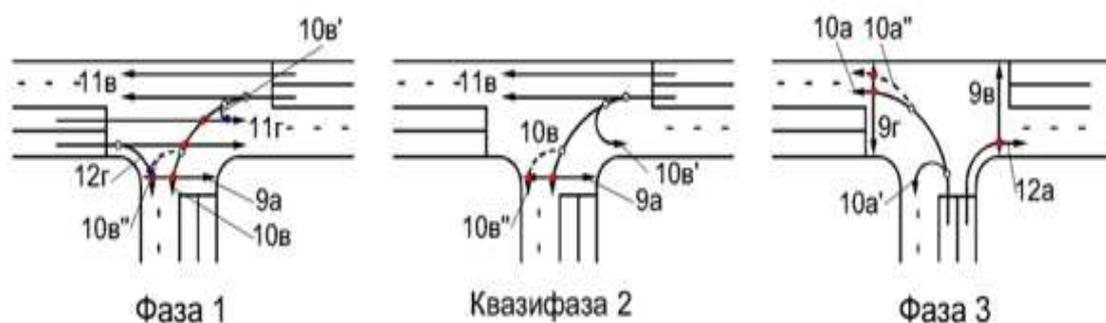


Рисунок П.4.4 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных Т-образных РП с транспортными светофорами Т.1 с предписывающими ДЗ для ТП и организацией отсечки ТП в квазифазе 2 по входу Г при просачивании через ПП 9а для специализации движения ТП на входе А по типу 1 и пофазном I методе управления в фазах 1–3, когда ПП 9а достаточно длительность разрешающих сигналов фазы 1 и квазифазы 2, интенсивность ТП  $11в > 11г$  (12%) больше, левоповоротный поток 10а организован в фазе 3 с конфликтом с ПП 9г,  $T_{ц} = 41$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 7; слияний ● – 2; отклонений ○ – 6; всего 15; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 7; слияния ● – 1; отклонения ○ – 4; всего 12; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 2; отклонения ○ – 6; всего 10

Таблица П.4.10 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	500	10б	–	10в	100	10г	–
11а	0	11б	–	11в	800	11г	700
12а	500	12б	–	12в	–	12г	300

Таблица П.4.11 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	8,6	3,5	4,7	5,0	41	0,80–0,87
2. Нет только разворотов	8,0	3,3	4,3	5,0	41	0,80–0,87
3. Нет только ПП	3,1	1,6	2,6	0,2	38	0,75–0,96

*Расчет режима светофорной сигнализации для СОД с пешеходными потоками*

Таблица П.4.12 – Потoki насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прямo}}$	3675			$y_{10A}$	0,29
$M_{H10A} =$	1712,926			$y_{12A}$	0,31
$M_{H12A} =$	1633,888			$y_B$	0,27
$M_{HB} =$		3392,308		$y_\Gamma$	0,19
$M_{H\Gamma} =$		3474,545			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,31 + 0,27 = 0,49$ .

Длительность разрешающего сигнала для пешеходных потоков:

$t_{\text{пш}} = 16$  с. (ширина полосы движения принимается равной 3,5 м).

Режим работы светофорного регулирования:

$T_{\text{ц}} = 12 + 7 + 3 + 16 + 3 = 41$  с.

Таблица П.4.13 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\text{п}} =$	439,1	$\phi 1$	614,6	$\phi 3$					
	219,5	$\phi 2$					C		
$N_{10A} =$	614,6		$z_{12A} =$	0,81	$c_A =$	624,4	624,4	$z_A =$	0,80
$N_{12A} =$	614,6		$z_{10B} =$	0,81	$c_{10A} =$	624,4	624,4	$z_{10B} =$	0,80
$N_B =$	1119,5		$z_B =$	0,80	$c_B =$	741,5	1482,9	$z_B =$	0,61
$N_\Gamma =$	746,3		$z_\Gamma =$	0,87	$c_\Gamma =$	624,4	1248,8	$z_\Gamma =$	0,52

*Расчет режима светофорной сигнализации для СОД без пешеходных потоков*

Таблица П.4.14 – Потoki насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прямo}}$	3675			$y_{10A}$	0,29
$M_{H10A} =$	1712,926			$y_{12A}$	0,31
$M_{H12A} =$	1633,888			$y_B$	0,27
$M_{HB} =$		3392,308		$y_\Gamma$	0,19
$M_{H\Gamma} =$		3474,545			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,31 + 0,27 = 0,49$ .

Таблица П.4.2.6 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{010A} =$	13
$t_{012A} =$	13
$t_{0B} =$	12
$t_{0\Gamma} =$	8

Режим работы светофорного регулирования, с:

$T_{\text{ц}} = 12 + 7 + 3 + 13 + 3 = 38$  с.

Таблица П.4.15 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{\Pi} =$	473,7	$\phi 1$	521,1	$\phi 3$					
	236,8	$\phi 2$					С		
$N_{10A} =$	521,1		$z_{10A} =$	0,96	$c_{10A} =$	547,4	547,4	$z_{10A} =$	0,91
$N_{12A} =$	521,1		$z_{12A} =$	0,96	$c_{12A} =$	547,4	547,4	$z_{12A} =$	0,91
$N_B =$	1207,9		$z_B =$	0,75	$c_B =$	800,0	600,0	$z_B =$	0,56
$N_{\Gamma} =$	805,3		$z_{\Gamma} =$	0,81	$c_{\Gamma} =$	547,4	094,7	$z_{\Gamma} =$	0,59

*Отсечка 2 по входу Г в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП при специализации движения ТП на входе А по типу 1*

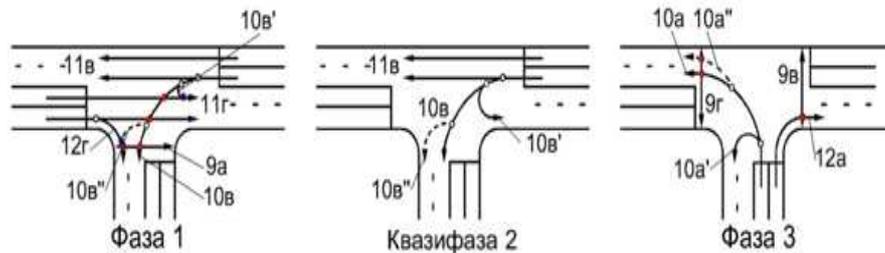


Рисунок П.4.5 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ двухполосных Т-образных РП с транспортными светофорами Т.1 с предписывающими ДЗ для ТП, организацией отсечки ТП в квазифазе 2 по входу Г без просачивания через ПП 9а при специализации ТП на входе А по типу 1 и пофазном I методе управления в фазах 1–3, когда ПП 9а достаточна длительность разрешающего сигнала фазы 1, интенсивность ТП  $11в > 11г$  (12 %) больше, левоповоротный поток 10а организован в фазе 3 с конфликтом с ПП 9г,  $T_{ц} = 41$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 7; слияний ● – 2; отклонений ○ – 6; всего 15; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 7; слияния ● – 1; отклонения ○ – 4; всего 12; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 2; отклонения ○ – 6; всего 10

Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч, как в табл. П.4.10.

Таблица П.4.16 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	8,4	3,3	4,7	5,0	41	0,80–0,87
2. Нет только разворотов	8,2	3,2	4,3	5,0	41	0,80–0,87
3. Нет только ПП	3,1	1,6	2,6	0,2	38	0,75–0,96

## Расчет режима светофорной сигнализации для СОД с пешеходными потоками

Таблица П.4.17 – Потоки насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прям}} =$	3675			$y_{10A} =$	0,29
$M_{H10A} =$	1712,926			$y_{12A} =$	0,31
$M_{H12A} =$	1633,888			$y_B =$	0,27
$M_{HB} =$		3392,308		$y_\Gamma =$	0,19
$M_{H\Gamma} =$		3474,545			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,31 + 0,27 = 0,49$ .

Длительность разрешающего сигнала для пешеходных потоков:

$t_{\text{пш}} = 16$  с (ширина полосы движения принимается равной 3,5 м).

Режим работы светофорного регулирования:

$T_{\text{ц}} = 12 + 7 + 3 + 16 + 3 = 41$  с.

Таблица П.4.18 – Пропускная способность РП с учетом ПП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\text{п}} =$	439,1	$\phi 1$	614,6	$\phi 3$					
	219,5	$\phi 2$					С		
$N_{10A} =$	614,6		$z_{10A} =$	0,81	$c_{10A} =$	624,4	624,4	$z_{10A} =$	0,80
$N_{12A} =$	614,6		$z_{12A} =$	0,81	$c_{12A} =$	624,4	624,4	$z_{12A} =$	0,80
$N_B =$	1119,5		$z_B =$	0,80	$c_B =$	741,5	1482,9	$z_B =$	0,61
$N_\Gamma =$	746,4		$z_\Gamma =$	0,87	$c_\Gamma =$	624,4	1248,8	$z_\Gamma =$	0,52

## Расчет режима светофорной сигнализации для СОД без пешеходных потоков

Таблица П.4.19 – Потоки насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прям}} =$	3675			$y_{10A} =$	0,29
$M_{H10A} =$	1712,926			$y_{12A} =$	0,31
$M_{H12A} =$	1633,888			$y_B =$	0,27
$M_{HB} =$		3392,308		$y_\Gamma =$	0,19
$M_{H\Gamma} =$		3474,545			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,31 + 0,27 = 0,49$ .

Таблица П.4.20 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{010A} =$	13
$t_{012A} =$	13
$t_{0B} =$	12
$t_{0\Gamma} =$	8

Режим работы светофорного регулирования:

$T_{\text{ц}} = 12 + 7 + 3 + 13 + 3 = 38$  с.

Таблица П.4.20 – Пропускная способность РП без учета ПП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{\Pi} =$	473,68	ф1	521,05	ф3					
	236,84	ф2					С		
$N_{10A} =$	521,05		$z_{10A} =$	0,96	$c_{10A} =$	547,37	547,37	$z_{10A} =$	0,91
$N_{12A} =$	521,05		$z_{12A} =$	0,96	$c_{12A} =$	547,37	547,37	$z_{12A} =$	0,91
$N_B =$	1207,89		$z_B =$	0,75	$c_B =$	800,00	1600,00	$z_B =$	0,56
$N_{\Gamma} =$	805,26		$z_{\Gamma} =$	0,81	$c_{\Gamma} =$	547,37	1094,74	$z_{\Gamma} =$	0,59

Расчеты оценок БД для других комбинаторных движений ТП на входе А по типам 2 и 3 с соответствующими отсечками 3, 4 и 5, 6 опущены, поскольку не несут новой информации в своих расчетных таблицах конфликтных загрузок и пропускной способности РП.

### П.4.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых двухполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дороге отдельной пешеходной фазой

Тип 1 движения ТП на примыкающем входе А и отдельная пешеходная фаза

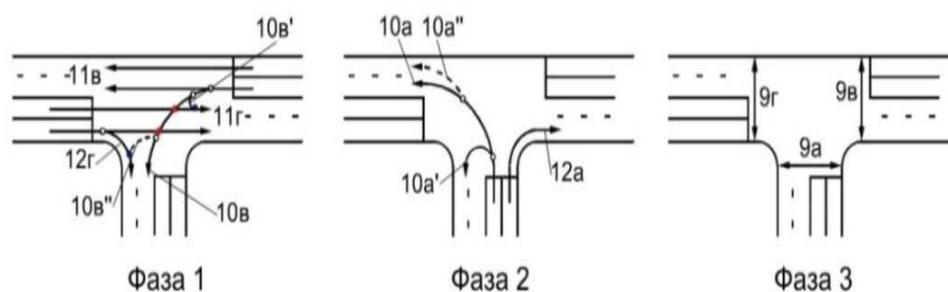


Рис. П.4.6. Трехфазно управляемая модель СОД с КЗдвухполосных Т-образных РП для 1 типа движения ТП на примыкающей дороге по входу А с организацией отдельной пешеходной фазы 3 и пофазном I методе управления в фазах 1, 2, когда пешеходным потокам 9а – 9г не допускается пересекаться с ТП, тогда организуется отдельная пешеходная фаза 3 (или, когда фаза 3 следует за фазой 2, чтобы выдержать временной интервал «терпеливого» ожидания для ПП),  $T_{\Pi} = 82$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 2; слияний ● – 2; отклонений ○ – 6; всего 10; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 1; отклонения ○ – 4; всего 7

Таблица П.4.21 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	500	10б	0	10в	100	10г	–
11а	0	11б	0	11в	800	11г	700
12а	500	12б	0	12в	–	12г	300

Таблица П.4.22 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	3,1	1,8	2,6	0,2	82	0,91–0,96
6. По п.5 нет разворотов	2,6	1,7	2,5	0,2	82	0,91–0,96

### Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.23 – Потoki насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{Hпрямo}$	3675		$y_{10A}$	0,29
$M_{H10A} =$	1712,926		$y_{12A}$	0,31
$M_{H12A} =$	1633,888		$y_B$	0,27
$M_{HB} =$	3392,308		$y_G$	0,29
$M_{HG} =$	3418,605			

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,31 + 0,29 = 0,60$ .

Длительность сигнала, разрешающего движение пешеходов:

$$t_{пш} = 16 \text{ с.}$$

Режим работы светофорного регулирования:

$$T_{ц} = 30 + 3 + 27 + 3 + 16 + 3 = 82 \text{ с.}$$

Таблица П.4.24 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{п} =$	614,63	ф1						
	548,78	ф2				С		
$N_{10A} =$	548,78		$z_{10A} =$	0,91	$c_{10A} =$	312,20	$z_{10A} =$	1,60
$N_{12A} =$	548,78		$z_{12A} =$	0,91	$c_{12A} =$	312,20	$z_{12A} =$	1,60
$N_B =$	932,93		$z_B =$	0,96	$c_B =$	585,37	$z_B =$	0,77
$N_G =$	1044,88		$z_G =$	0,96	$c_G =$	312,20	$z_G =$	1,60

Результаты расчетов таблиц для соответствующих конфликтных загрузок и пропускной способности РП при 2-м и 3-м типах специализаций движения ТП на примыкающей дороге по входу А и организации отдельных пешеходных фаз аналогичны полученным выше для типа 1, поэтому не приводятся.

### П.4.4 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дороге

Тип 1 специализации движения ТП в примыкающей дороге по входу А

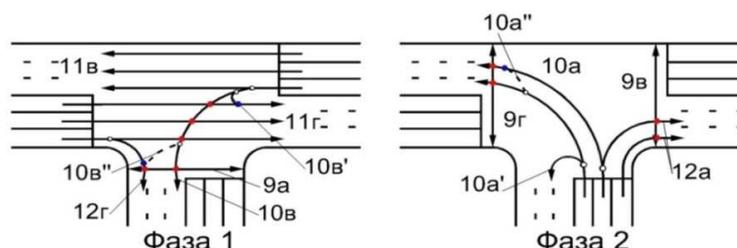


Рисунок П.4.7 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосного Т-образного РП с транспортными светофорами типа Т.1 и предписывающими ДЗ для транспортных потоков по входу А с типом специализации 1 и пофазном I методе управления в фазах 1,2, при условии – тип движения ТП на входе А определен предписывающими ДЗ: для левой, средней и правой полос соответственно 4.1.3, 4.1.6 и 4.1.2 с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г направления движений определены ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11г и ПП 9а,  $T_{ц} = 66$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 9; слияний ● – 3; отклонений ○ – 7; всего 19; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 9; слияния ● – 2; отклонения ○ – 5; всего 16; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 3; отклонения ○ – 7; всего 12

Таблица П.4.25 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	120	–	–
–	–	11в	1500	11г	1500
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.26 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	10,6	4,3	5,8	5,4	66	0,67–0,76
2. Нет только разворотов	10,6	4,3	5,5	5,4	66	0,67–0,76
3. Нет только ПП	5,0	2,0	3,2	0,4	41	0,72–0,87

*Расчет режима светофорной сигнализации с учетом ПП*

Таблица П.4.27 – Потоки насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

		1 полоса			
$M_{H\text{прям}} =$	5512,5	1837,5		$y_A =$	0,23
$M_{H_{10A}} =$	1712,92	1225		$y_B =$	0,31
$M_{H_{12A}} =$	1633,88		$M_{HA} = 4571,814$	$y_C =$	0,35
$M_{HB} =$	5222,36				
$M_{HT} =$	5263,54				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,23 + 0,35 = 0,58$ .

Длительности основного разрешающего сигнала для пешеходных потоков:

$$t_{\text{пш}} = 16 \text{ с.}$$

Таблица П.4.28 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{o1} =$	20
$t_{o2} =$	13

Таблица П.4.29 – Уточненная длительность цикла регулирования

$A$	0,42
$B$	42,35
$C$	510,00
$T_{\text{ц}}$	87
$k$	1,13
$t_{o1} =$	35
$t_{o2} =$	23

Режим работы светофорного регулирования:  $T_{\text{ц}} = 35 + 4 + 23 + 4 = 66 \text{ с.}$

Таблица П.4.30 – Пропускная способность РП с учетом ПП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	900,00	$\phi 1$						
	572,73	$\phi 2$				C		
$N_A =$	1546,36	$z_A =$	0,68	$c_{10A} =$	848,48	848,48	$z_{10A} =$	0,62
$N_B =$	2430,00	$z_B =$	0,67	$c_B =$	557,58	1672,73	$z_B =$	0,97
$N_{\Gamma} =$	2430,00	$z_{\Gamma} =$	0,76	$c_{\Gamma} =$	557,58	1672,73	$z_{\Gamma} =$	1,11

*Расчет режима светофорной сигнализации без учета пешеходных потоков*

Потоки насыщения и фазовые коэффициенты те же.

Режим работы светофорного регулирования:

$$T_{\text{ц}} = 20 + 4 + 13 + 4 = 41 \text{ с.}$$

Таблица П.4.31 – Пропускная способность РП без учета ПП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{\Pi} =$	790,24	$\phi 1$						
	482,93	$\phi 2$				С		
$N_A =$	1448,78		$z_A =$	0,72	$c_{10A} =$	780,49	$z_{10A} =$	0,67
$N_B =$	2133,66		$z_B =$	0,76	$c_B =$	507,32	$z_B =$	1,06
$N_{\Gamma} =$	2133,66		$z_{\Gamma} =$	0,87	$c_{\Gamma} =$	507,32	$z_{\Gamma} =$	1,22

Тип 2 специализации движения ТП в примыкающей дороге по входу А

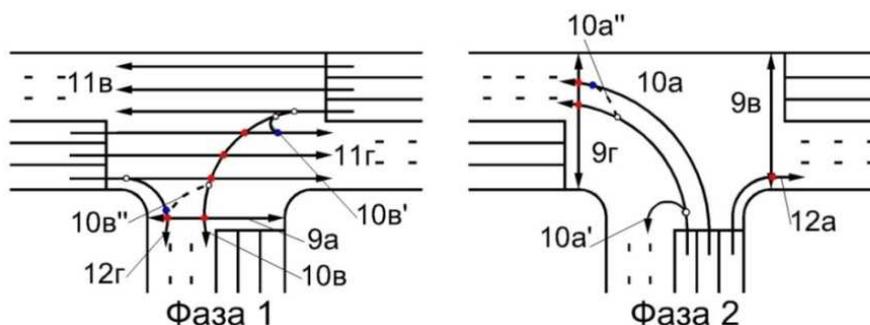


Рисунок П.4.8 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосного Т-образного РП с транспортными светофорами типа Т.1 и предписывающими ДЗ для ТП по входу А с типом специализации 2, при пофазном I методе управления в фазах 1, 2, при условии – тип движения ТП на входе А определен предписывающими ДЗ: для левой, средней и правой полос соответственно 4.1.3, 4.1.3 и 4.1.2 с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г направления движений определены ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11г и ПП 9а,  $T_{\Pi} = 66$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений

● – 8; слияний ● – 3; отклонений ○ – 6; всего 17; вариант – 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 2; отклонения ○ – 4; всего 14; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 3; отклонения ○ – 6; всего 12

Таблица П.4.32 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	120	–	–
–	–	11в	1500	11г	1500
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.33 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	8,7	3,7	5,3	5,3	66	0,67–0,76
2. Нет только разворотов	8,6	3,6	4,9	5,2	66	0,67–0,76
3. Нет только ПП	4,5	1,8	3,1	0,3	41	0,72–0,87

Тип 3 специализации движения ТП в примыкающей дороге по входу А

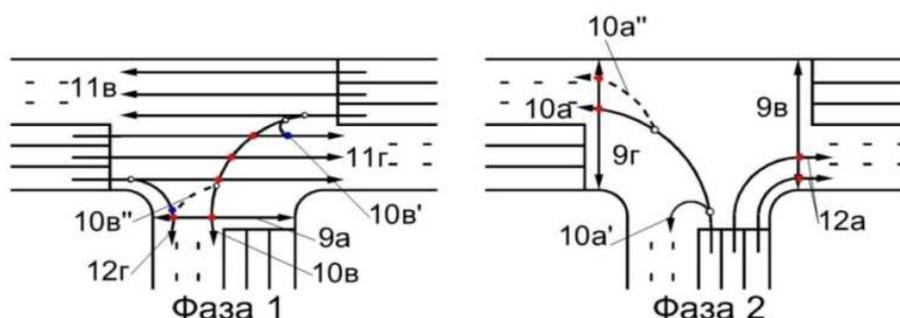


Рисунок П.4.9 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосного Т-образного РП с транспортными светофорами типа Т.1 и предписывающими ДЗ для ТП по входу А с типом специализации 3, при пофазном I методе управления в фазах 1, при условии – тип движения ТП на входе А определен предписывающими ДЗ: для левой, средней и правой полос соответственно 4.1.3, 4.1.2 и 4.1.2 с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г направления движений определены ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11г и ПП 9а,  $T_{ц} = 66$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 9; слияний ● – 2; отклонений ○ – 6; всего 17; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 9; слияния ● – 1; отклонения ○ – 4; всего 14; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 2; отклонения ○ – 6; всего 11

Таблица П.4.34 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	120	–	–
–	–	11в	1500	11г	1500
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.35 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	10,3	4,2	5,7	5,3	66	0,67–0,76
2. Нет только разворотов	10,2	4,2	5,3	5,2	66	0,67–0,76
3. Нет только ПП	4,6	1,9	3,2	0,3	41	0,72–0,87

### П.4.5 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разных специализациях движения ТП на примыкающей дороге и видах отсечки

*Тип 1 специализации ТП на входе А с отсечкой вида 1 по входу Г в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП*

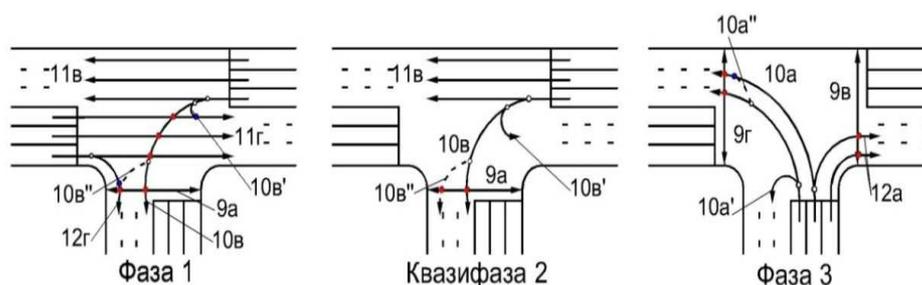


Рисунок П.4.10 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосного Т-образного РП с транспортными светофорами типа Т.1 и предписывающими ДЗ для специализации ТП на дороге примыкания вход А по типу 1 с отсечкой ТП вида 1 в квазифазе 2 по входу Г и просачиванием через ПП 9а, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, при условии –интенсивность ТП  $11в > 11г$  (на 50 %), движение ТП на входе А определено предписывающими ДЗ: для левой, средней и правой полос соответственно 4.1.3, 4.1.6 и 4.1.2 с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г направления движений определены ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11г и ПП 9а,  $T_{\text{ц}} = 57$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 9; слияний ● – 3; отклонений ○ – 7; всего 19; вариант – 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 9; слияния ● – 2; отклонения ○ – 5; всего 16; вариант – 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный

переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 3; отклонения ○ – 7; всего 12

Таблица П.4.36 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	200	–	–
–	–	11в	1500	11г	1000
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.37 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	10,6	4,1	5,5	5,4	57	0,55–0,88
2. Нет только разворотов	10,6	4,0	5,1	5,4	57	0,55–0,88
3. Нет только ПП	5,0	1,8	3,0	0,4	43	0,76–0,92

### Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.38 – Потоки насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

$M_{\text{Нпрям}}$	5512,5	1837,5			$y_A$	0,23
$M_{\text{Н10А}}$	1712,92				$y_B$	0,34
$M_{\text{Н12А}}$	1633,88	1225	$M_{\text{НА}}=4571,8$		$y_G$	0,26
$M_{\text{НВ}}$	5065,54					
$M_{\text{НГ}}$	5176,95					

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,23 + 0,34 = 0,57$ .

Длительности основного разрешающего сигнала для пешеходных потоков:

$$t_{\text{пш}} = 22 \text{ с.}$$

Режим работы светофорного регулирования:

$$T_{\text{ц}} = 20 + 7 + 4 + 22 + 4 = 57 \text{ с.}$$

Таблица П.4.39 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	568,42	$\phi 1$	631,58	$\phi 3$					
	157,89	$\phi 2$					С		
$N_A =$	1894,74		$z_A =$	0,55	$c_{10A} =$	561,40	561,40	$z_{10A} =$	0,94
$N_B =$	1961,05		$z_B =$	0,87	$c_B =$	617,54	1852,63	$z_B =$	0,92
$N_G =$	1534,74		$z_G =$	0,88	$c_G =$	814,04	2442,11	$z_G =$	0,55

Расчет режима светофорной сигнализации без учета пешеходного движения:

Потоки насыщения, фазовые коэффициенты те же.

Режим работы светофорного регулирования:

$$T_{\text{ц}} = 13 + 7 + 4 + 15 + 4 = 43 \text{ с.}$$

Таблица П.4.40 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2			
$N_{\text{п}} =$	544,19	φ1	460,5	φ3			
	209,30	φ2				С	
$N_{\text{А}} =$	1381,40		$z_{\text{А}} =$	0,76	$c_{10\text{А}} =$	483,72	$z_{10\text{А}} =$
$N_{\text{В}} =$	2034,42		$z_{\text{В}} =$	0,84	$c_{\text{В}} =$	818,60	$z_{\text{В}} =$
$N_{\text{Г}} =$	1469,30		$z_{\text{Г}} =$	0,92	$c_{\text{Г}} =$	558,14	$z_{\text{Г}} =$
						1674,42	0,81

*Тип 1 специализации ТП на входе А с отсечкой вида 2 по входу Г в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП*

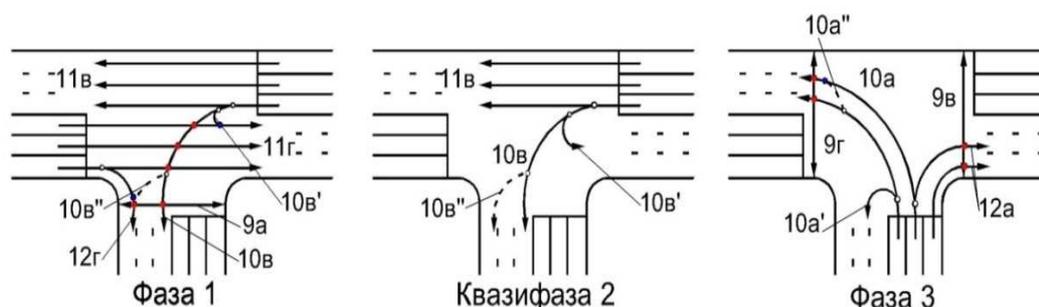


Рисунок П.4.11 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосного Т-образного РП с транспортными светофорами типа Т.1 и предписывающими ДЗ для специализации ТП на дороге примыкания вход А по типу 1 и отсечкой в квазифазе 2 ТП с видом 2 по входу Г без просачивания ТП через ПП, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, при условии –интенсивность ТП  $11_{\text{в}} > 11_{\text{г}}$  (на 50 %), временной интервал в фазе 1 достаточен для ПП 9а, движение ТП на входе А определено предписывающими ДЗ: для левой, средней и правой полос соответственно 4.1.3, 4.1.6 и 4.1.2 с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г направления движений определены ДЗ особых предписаний (5.15.2) с просачиванием через ТП 11г и ПП 9а,  $T_{\text{ц}} = 20 + 7 + 4 + 22 + 4 = 57$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 9; слияний ● – 3; отклонений ○ – 7; всего 19; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 9; слияния ● – 2; отклонения ○ – 5; всего 16; вариант – 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или

надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 3; отклонения ○ – 7; всего 12

Таблица П.4.41 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	200	–	–
–	–	11в	1500	11г	1000
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.42 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	10,6	3,9	5,2	5,4	57	0,55–0,88
2. Нет только разворотов	10,6	3,9	4,9	5,4	57	0,55–0,88
3. Нет только ПП	5,0	1,8	3,0	0,4	43	0,76–0,92

Расчет режима работы светофорного регулирования для модели СОД с КЗ рисунок П.4.11 аналогичен представленному для рисунка П.4.10.

Расчеты оценок БД для двух других комбинаторных 2-го и 3-го типов специализации ТП на входе А с отсечками по входу Г в квазифазе 2 с видами 1 и 2 соответственно не несут новой информации в своих расчетных таблицах конфликтных загрузок и пропускной способности РП, поэтому не приводятся.

#### П.4.6 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на примыкающей дороге с неконфликтной фазой

Тип 1 специализации ТП на входе А с неконфликтной фазой 2

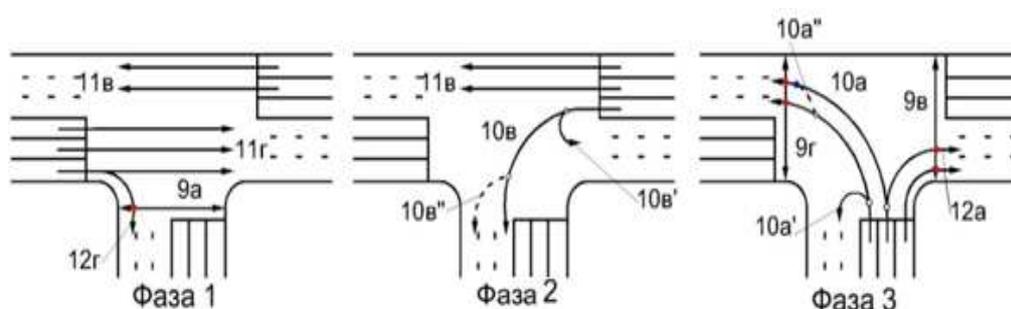


Рисунок П.4.12 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП для 1 типа специализации движения ТП на примыкающей дороге по входу А с организацией неконфликтной фазы 2 при установке транспортных

светофоров типа Т.1 и Т.1.л по входам А, Г и В с соответствующими ДЗ – предписывающими и особыми предписаниями, при комбинированном III методе управления в цикле с пофазным I методом в фазах 1,3 и II методом управления по отдельным направлениям в фазе 2, при условии – интенсивность ТП 11в требует временной интервал фаз 1 и 2, а ТП 11г успевает проехать в фазе 1, временной интервал в фазе 1 достаточен для ПП 9а, движение ТП на входе А определено предписывающими ДЗ: для левой, средней и правой полос соответственно 4.1.3, 4.1.6 и 4.1.2 с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г направления движений определены ДЗ особых предписаний (5.15.2),  $T_{ц} = 76$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 5; слияний ● – 1; отклонений ○ – 6; всего 12; вариант – 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 5; слияния ● – 1; отклонения ○ – 4; всего 10; вариант – 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 0; слияния ● – 1; отклонения ○ – 6; всего 7

Таблица П.4.43 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	200	–	–
–	–	11в	1500	11г	1500
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.44 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{ГЛ}$	$R_{ГЛпак}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	8,0	3,0	3,6	4,8	76	0,78–0,96
2. Нет только разворотов	7,8	2,9	3,6	4,8	76	0,78–0,96
3. Нет только ПП	2,3	1,1	1,5	0,2	76	0,78–0,96

### Расчет режима светофорного регулирования

Таблица П.4.45 – Потoki насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

		Первая полоса	Вторая полоса		
$M_{Hпрямo}$	5512,50	1837,50	3675,00		
$M_{H10A} =$	1712,93			$y_A$	0,23
$M_{H12A} =$	1633,89	1225,00		$y_{10B}$	0,12
$M_{H11B} =$	3377,03			$y_{11B}$	0,44
$M_{HГ} =$	5263,55			$y_Г$	0,35
$M_{H10B} =$	1712,93				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,23 + 0,12 + 0,35 = 0,70$ .

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 32 + 4 + 11 + 4 + 21 + 4 = 76 \text{ с.}$$

Таблица П.4.46 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2			
$N_{\text{п}} =$	710,53	φ1	450,0	φ3			
	213,1	φ2				С	
$N_{\text{А}} =$	1350,0		$z_{\text{А}} =$	0,78	$c_{10\text{А}} =$	673,7	$z_{10\text{А}} =$
$N_{10\text{В}} =$	213,2		$z_{10\text{В}} =$	0,94	$c_{10\text{В}} =$	231,6	$z_{10\text{В}} =$
$N_{11\text{В}} =$	1847,4		$z_{11\text{В}} =$	0,92	$c_{11\text{В}} =$	673,7	$z_{\text{В}} =$
$N_{\text{Г}} =$	1918,4		$z_{\text{Г}} =$	0,96	$c_{\text{Г}} =$	442,1	$z_{\text{Г}} =$
						1326,3	1,39

Тип 2 специализации ТП на входе А с неконфликтной фазой 2

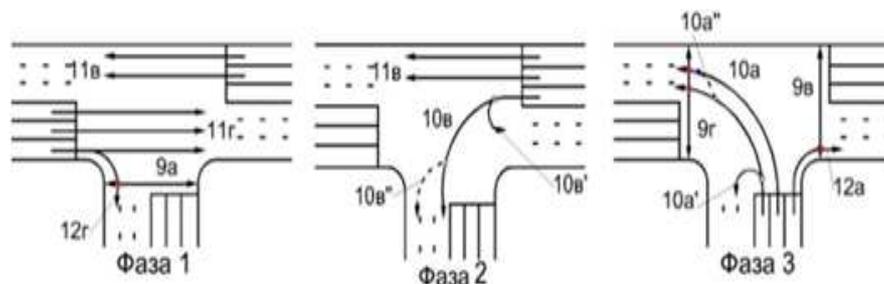


Рисунок П.4.13 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП для 2 типа специализации движения ТП на примыкающей дороге по входу А с организацией неконфликтной фазы 2 при установке транспортных светофоров типа Т.1 и Т.1.л по входам А, Г и В с соответствующими ДЗ – предписывающими и особыми предписаниями, при комбинированном III методе управления в цикле с пофазным I методом в фазах 1,3 и II методом управления по отдельным направлениям в фазе 2, при условии – интенсивность ТП 11в требует временной интервал фаз 1 и 2, а ТП 11г успевает проехать в фазе 1, временной интервал в фазе 1 достаточен для ПП 9а, движение ТП на входе А определено предписывающими ДЗ: для левой, средней и правой полос соответственно 4.1.3, 4.1.3 и 4.1.2 с просачиванием через ПП 9в и 9г, для ТП по входам В и Г направления движений определены ДЗ особых предписаний (5.15.2),  $T_{\text{ц}} = 77$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 4; слияний ● – 1; отклонений ○ – 5; всего 10; вариант – 2, если разворот запрещен, конфликт-

ные точки, шт.: пересечения ● – 4; слияния ●-0; отклонения ○ – 3; всего 7; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземные переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 0; слияния ● – 1; отклонения ○ – 5; всего 6

Таблица П.4.47 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	200	–	–
–	–	11в	1000	11г	1000
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.48 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	6,0	2,4	3,0	4,3	77	0,79–0,97
2. Нет только разворотов	6,0	2,4	2,9	4,6	77	0,79–0,97
3. Нет только ПП	1,8	1,0	1,2	0,1	77	0,79–0,97

### Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.49 – Потоки насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

	3п	2п			
$M_{\text{Нпрям}}$	5512,50	3675,00			$y_{10A}$ 0,18
$M_{H10A} =$	2854,88				$y_{12A}$ 0,32
$M_{H12A} =$	1633,89				$y_{11B}$ 0,23
$M_{H10B} =$	1712,93				$y_{\Gamma}$ 0,26
$M_{H11B} =$	4410,00				$y_{10B}$ 0,12
$M_{H\Gamma} =$	5176,96				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,32 + 0,26 + 0,12 = 0,70$ .

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 24 + 4 + 11 + 4 + 30 + 4 = 77 \text{ с.}$$

Таблица П.4.50 – Пропускная способность РП

$N_{\text{п}} =$	514,29	ф1	654,55	ф3					
	210,39	ф2						С	
$N_{12A} =$	665,55		$z_{12A} =$	0,79		$c_{12A} =$	851,95	851,95	$z_{12A} =$ 0,62
$N_{10A} =$	654,55		$z_{10A} =$	0,80		$c_{10A} =$	623,38	623,38	$z_{10A} =$ 0,84
$N_{11B} =$	1231,95		$z_{11B} =$	0,97		$c_{\text{B}} =$	727,27	1454,55	$z_{\text{B}} =$ 0,83
$N_{\Gamma} =$	1542,86		$z_{\Gamma} =$	0,88		$c_{\Gamma} =$	498,70	1496,10	$z_{\Gamma} =$ 0,90
$N_{10B} =$	210,39		$z_{10B} =$	0,95		$c_{10B} =$	228,57	228,57	$z_{10B} =$ 0,88

Тип 3 специализации ТП на входе А с неконфликтной фазой 2

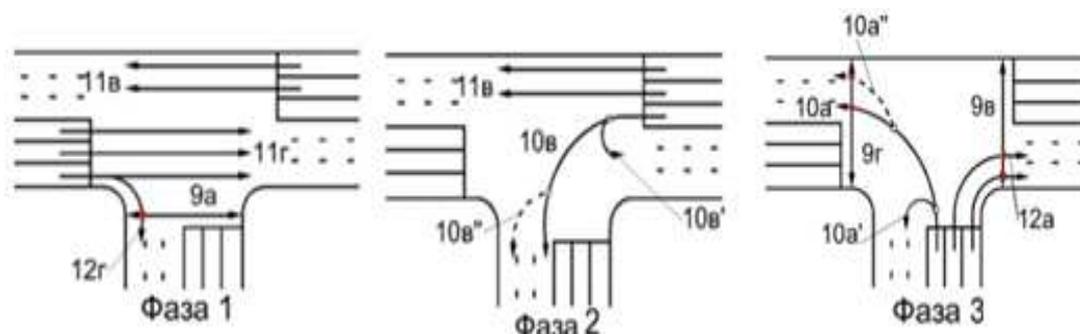


Рисунок П.4.14 – Для этой модели СОД с КЗ результаты в таблице конфликтных загрузок и пропускной способности РП не несут существенных отличий от полученных для модели рис. П.4.13, поэтому не приводятся

#### П.4.7 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания без пешеходных потоков (ПП)

*Тип 1 специализации ТП на входе А со светофорами Т.1.п – по входам А, Г и Т.1.л – на входе В при переносе ПП в другой уровень движения*

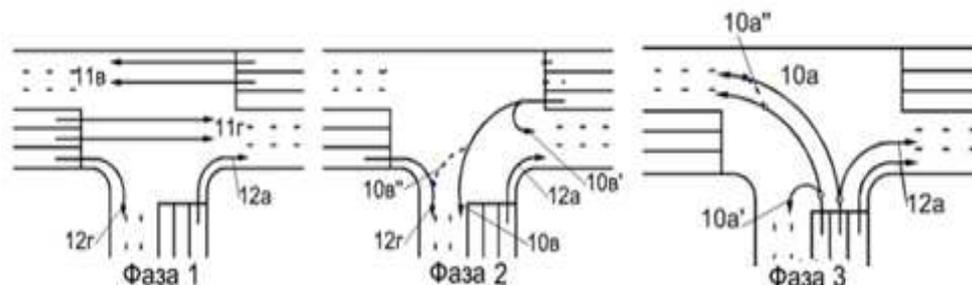


Рисунок П.4.15 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП для 1 типа специализации движения ТП на примыкающей дороге по входу А с транспортными светофорами по входам А, Г и В типа Т.1.п и Т.1.л с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП при переносе пешеходных переходов в другой уровень движения от ТП в комбинированном **III** методе управления в цикле с пофазным **I** методом в фазе 3 и **II** методом управления по отдельным направлениям в фазах 1 и 2

Эта модель и далее модель СОД с КЗ рисунок П.4.17 приведены для иллюстрации типов специализации средней полосы движения ТП по входу А и условий разъезда транспортных средств при запрещении (отсутствии) пешеходных

переходов или при наличии развязок для ПП с ТП в разных уровнях. Для таких моделей СОД с КЗ результаты расчета таблиц конфликтных загрузок и пропускной способности РП не приведены, поскольку не существенно отличаются от приведенных результатов одноименной таблицы к модели СОД с КЗ рисунок П.4.16. Такие модели СОД с КЗ решают задачу 18) по III методу комбинированного управления перекрестками (см. классификацию рисунок 3.1) для концепции "нулевой смертности" на РП.

*Тип 2 специализации ТП на входе А со светофорами Т.1.п – по входам А, Г и Т.1.л – на входе В при переносе ПП в другой уровень движения*

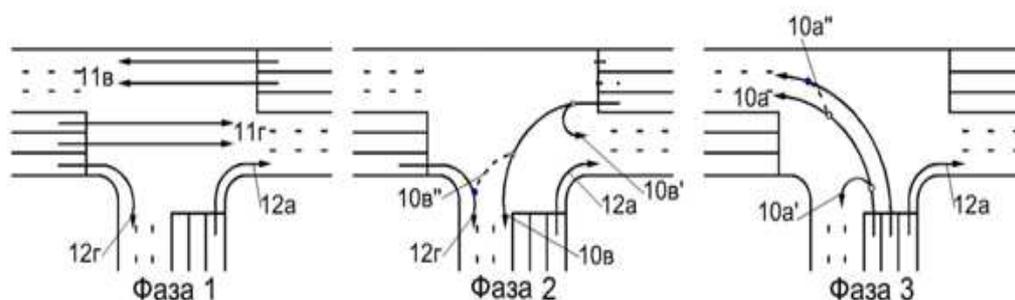


Рисунок П.4.16 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП для 2 типа специализации движения ТП на примыкающей дороге по входу А с транспортными светофорами по входам А, Г и В типа Т.1.п и Т.1.л с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП и переносом пешеходных переходов в другой уровень движения от ТП, при II методе управления по отдельным направлениям в фазах 1–3, при условии – пешеходные переходы отсутствуют (вынесены в другой уровень),  $T_{ц} = 53$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 2; отклонений ○ – 4; всего 6; вариант – 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 0; слияния ● – 2; отклонения ○ – 2; всего 4

Таблица П.4.51 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	200	–	–
–	–	11в	1000	11г	1000
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.52 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шелл}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	2,7	0,9	1,6	0,1	53	0,34–0,84
6. По п.5 нет разворотов	2,4	0,8	1,45	0,08	53	0,34–0,84

### Расчет цикла регулирования

Потоки насыщения и фазовые коэффициенты те же, что и для СОД с КЗ рис. П.4.13.

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{ц} = 15 + 4 + 9 + 4 + 17 + 4 = 53 \text{ с.}$$

Таблица П.4.53 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{П} =$	441,51	ф1	509,43	ф3					
	237,74	ф2				С			
$N_{12A} =$	1188,68		$z_{12A} =$	0,34	$c_{12A} =$	785,19	$z_{12A} =$	0,51	
$N_{10A} =$	1018,87		$z_{10A} =$	0,64	$c_{10A} =$	513,21	1026,42	$z_{10A} =$	0,63
$N_{11B} =$	1358,49		$z_{11B} =$	0,81	$c_{11B} =$	724,53	1449,06	$z_B =$	0,76
$N_{11Г} =$	883,02		$z_{Г} =$	0,79	$c_{11Г} =$	452,83	905,66	$z_{Г} =$	0,77
$N_{10B} =$	237,74		$z_{10B} =$	0,84	$c_{10B} =$	271,70	271,70	$z_{10B} =$	0,74
$N_{12Г} =$	441,51		$z_{12Г} =$	0,79	$c_{12Г} =$	724,53	724,53	$z_{12Г} =$	0,48

Тип 3 специализации ТП на входе А со светофорами Т.1. п – по входам А, Г и Т.1.л – на входе В при переносе ПП в другой уровень движения

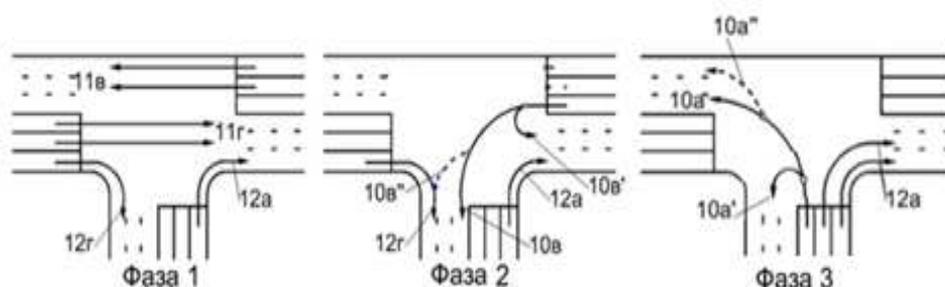


Рисунок П.4.17 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП для 3 типа специализации движения ТП на примыкающей дороге по входу А с транспортными светофорами по входам А, Г и В типа Т.1.п и Т.1.л с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП и переносом пешеходных переходов в другой уровень движения от ТП, при II методе управления по отдельным направлениям в фазах 1–3

Таблица конфликтных загрузок и пропускной способности РП аналогична, как и для типа 2.

#### П.4.8 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания с отдельной фазой для ПП

Тип 1 специализации ТП на входе А при отдельной пешеходной фазе

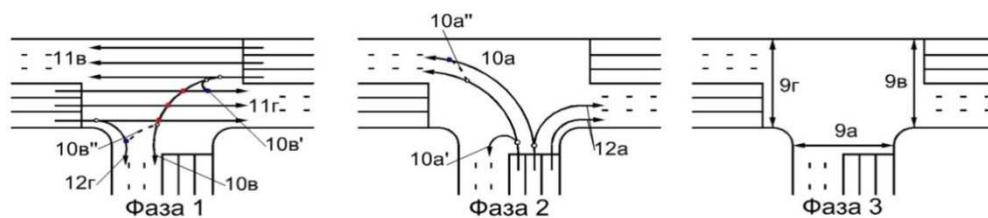


Рисунок П.4.18 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП с организацией отдельной пешеходной фазы 3 для 1 типа специализации движения ТП на примыкающей дороге по входу А с установкой ДЗ особых предписаний и установкой по входам А, В и Г одностипных транспортных светофоров Т.1, при пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, при условии – интенсивность ТП  $10в \leq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 96$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 3; слияний ● – 3; отклонений ○ – 7; всего 13; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 2; отклонения ○ – 5; всего 10

Таблица П.4.54 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	120	–	–
–	–	11в	1500	11г	1500
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.55 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Гл}$	$R_{Глmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	4,5	1,8	3,1	0,3	96	0,84–0,96
6. По п. 5 нет разворотов	4,3	1,7	3,0	0,28	96	0,84–0,96

*Расчет режима светофорной сигнализации*

Таблица П.4.56 – Поток насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прям}} =$	5512,50	1837,50			$y_A =$	0,23
$M_{H_{10A}} =$	1712,93	1225,00			$y_B =$	0,31
$M_{H_{12A}} =$	1633,89		4571,81		$y_G =$	0,35
$M_{H_B} =$	5222,37					
$M_{H_G} =$	5263,55					

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,23 + 0,35 = 0,58$ .

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 40 + 4 + 22 + 4 + 22 + 4 = 96 \text{ с.}$$

Таблица П.4.57 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	712,50	φ1						
	375,00	φ2				С		
$N_A =$	1125,00		$z_A =$	0,93	$c_{10A} =$	666,67	$z_{10A} =$	0,79
$N_{11B} =$	1923,75		$z_{11B} =$	0,84	$c_{11B} =$	366,67	$z_B =$	1,36
$N_G =$	1923,75		$z_G =$	0,96	$c_G =$	366,67	$z_G =$	1,68

\* Для этой модели СОД с КЗ, а также для ниже следующих моделей с типами 2 и 3 специализации ТП на входе А имеет место малое число конфликтных точек (КТ) только в ТП. При этом отдельную пешеходную фазу для ПП необходимо размещать после фазы 1, затем после фазы 2 в циклической последовательности, чтобы в каждом цикле светофорного регулирования выполнялся режим «терпеливого ожидания» для пешеходных потоков.

*Тип 2 специализации ТП на входе А при отдельной пешеходной фазе*

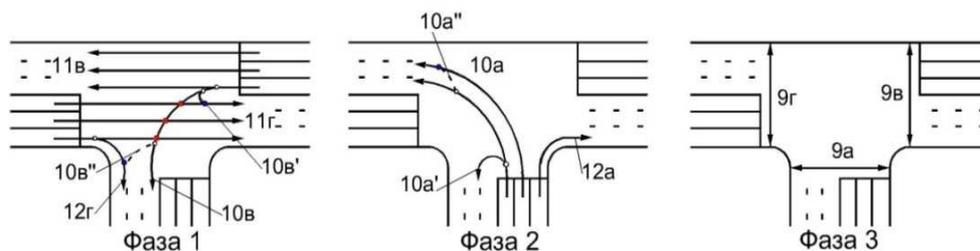


Рисунок П.4.19 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП с организацией отдельной фазы 3 (желательно фазы 2) пешеходного движения с транспортными светофорами по входам А, В и Г типа Т.1 с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП с типом 2 специализации по-

лос по входу А, при условии – интенсивность ТП  $10в \leq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 96$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 3; слияний ● – 3; отклонений ○ – 6; всего 12; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 2; отклонения ○ – 4; всего 9

Таблица П.4.58 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	650	10в	120	–	–
–	–	11в	1500	11г	1500
12а	400	–	–	12г	350

Таблица П.4.59 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Гл}$	$R_{Глmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	6,0	2,0	3,2	0,4	96	0,75–0,94
6. По п. 5 нет разворотов	5,4	1,8	2,9	0,38	96	0,75–0,94

### Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.60 – Поток насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

$M_{Нпрям}$	5512,5				$y_{10A}$	0,23
$M_{H10A} =$	2854,877				$y_{12A}$	0,24
$M_{H12A} =$	1633,888				$y_B$	0,31
$M_{HB} =$	5222,368				$y_{Г}$	0,35
$M_{HГ} =$	5263,548					

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,24 + 0,35 = 0,59$ .

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{ц} = 37 + 4 + 25 + 4 + 22 + 4 = 96 \text{ с.}$$

Таблица П.4.61 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{ц} =$	656,25	φ1							
	431,25	φ2				С			
$N_{10A} =$	862,50		$z_{10A} =$	0,75	$c_{10A} =$	416,67	833,33	$z_{10A} =$	0,78
$N_{12A} =$	431,25		$z_{12A} =$	0,93	$c_{12A} =$	416,67	416,67	$z_{12A} =$	0,96
$N_B =$	1771,88		$z_B =$	0,91	$c_B =$	616,67	1850,00	$z_B =$	0,88
$N_{Г} =$	1968,75		$z_{Г} =$	0,94	$c_{Г} =$	616,67	1850,00	$z_{Г} =$	1,00

Тип 3 специализации ТП на входе А при отдельной пешеходной фазе

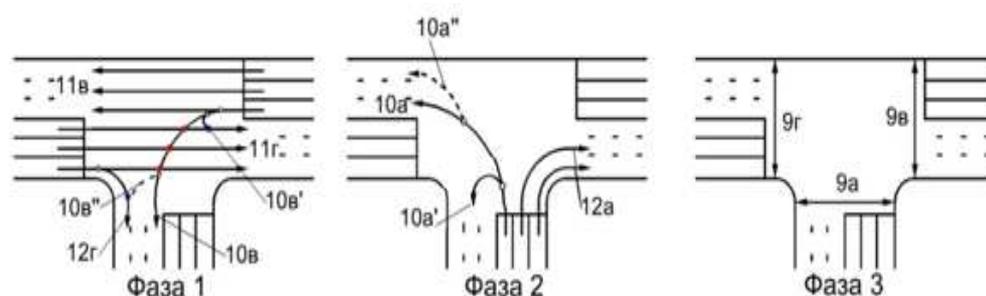


Рисунок П.4.20 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП с организацией отдельной пешеходной фазы 3 (желательно фазы 2) с транспортными светофорами по входам А, В и Г типа Т.1 и соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП с 3 типом специализации полос по входу

А, при условии – интенсивность ТП  $10в \leq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 96$  с, при пофазном I методе управления в фазах 1 и 2, где вариант –5: – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 3; слияний ● – 2; отклонений ○ – 5; всего 10; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 1;

отклонения ○ – 3; всего 7

Таблица П.4.62 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	400	10в	120	–	–
–	–	11в	1500	11г	1500
12а	650	–	–	12г	350

Таблица П.4.63 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{цел}$	$R_{гл}$	$R_{глmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	4,6	1,9	3,2	0,3	96	0,75–0,94
6. По п. 5 нет разворотов	4,4	1,8	2,6	0,27	96	0,75–0,94

Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.64 – Потоки насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{Нпрям}$	5512,5			$y_{10A}$	0,23
$M_{Н10A} =$	1712,92			$y_{12A}$	0,24
$M_{Н12A} =$	2723,14			$y_B$	0,31
$M_{HB} =$	5222,36			$y_G$	0,35
$M_{HG} =$	5263,54				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,24 + 0,35 = 0,59$ .

Длительность разрешающего сигнала для пешеходных потоков:  $t_{\text{пш}} = 22$  с.

Таблица П.4.65 – Уточненная длительность  $T_{\text{ц}}$  и основных разрешающих сигналов, с

$A$	0,41
$B$	49,92
$C$	782,00
$T_{\text{ц}}$	103
$k$	1,14
$t_{01} =$	28
$t_{02} =$	41
$t_{03} =$	22

Данные длительности разрешающих сигналов не обеспечивают пропускную способность.

Таблица П.4.66 – Пропускная способность РП

Вариант № 1			Вариант № 2						
$N_{\text{п}} =$	454,37	$\phi 1$							
	681,55	$\phi 2$					C		
$N_{10A} =$	681,55		$z_{10A} =$	0,59	$c_{10A} =$	636,89	1273,79	$z_{10A} =$	0,31
$N_{12A} =$	1363,11		$z_{12A} =$	0,48	$c_{12A} =$	636,89	636,89	$z_{12A} =$	1,02
$N_B =$	1226,80		$z_B =$	1,32	$c_B =$	434,95	1304,85	$z_B =$	1,24
$N_{\Gamma} =$	1363,11		$z_{\Gamma} =$	1,36	$c_{\Gamma} =$	434,95	1304,85	$z_{\Gamma} =$	1,42

Скорректируем длительности основных разрешающих сигналов:

$$T_{\text{ц}} = 37 + 4 + 25 + 4 + 22 + 4 = 96 \text{ с.}$$

Проверка пропускной способности светофорного объекта

Таблица П.4.67 – Пропускная способность РП

Вариант № 1			Вариант № 2						
$N_{\text{п}} =$	656,3	$\phi 1$							
	431,3	$\phi 2$					C		
$N_{10A} =$	431,3		$z_{10A} =$	0,93	$c_{10A} =$	416,7	833,3	$z_{10A} =$	0,48
$N_{12A} =$	862,5		$z_{12A} =$	0,75	$c_{12A} =$	416,7	833,3	$z_{12A} =$	0,78
$N_B =$	1771,9		$z_B =$	0,91	$c_B =$	616,7	1850,0	$z_B =$	0,88
$N_{\Gamma} =$	1968,8		$z_{\Gamma} =$	0,94	$c_{\Gamma} =$	616,7	1850,0	$z_{\Gamma} =$	1,00

**П.4.9 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых комбинированным методом трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания**

**Тип 2 специализации ТП на входе А со светофорами Т.1.п и Т.1.л на входах А, Г и В**

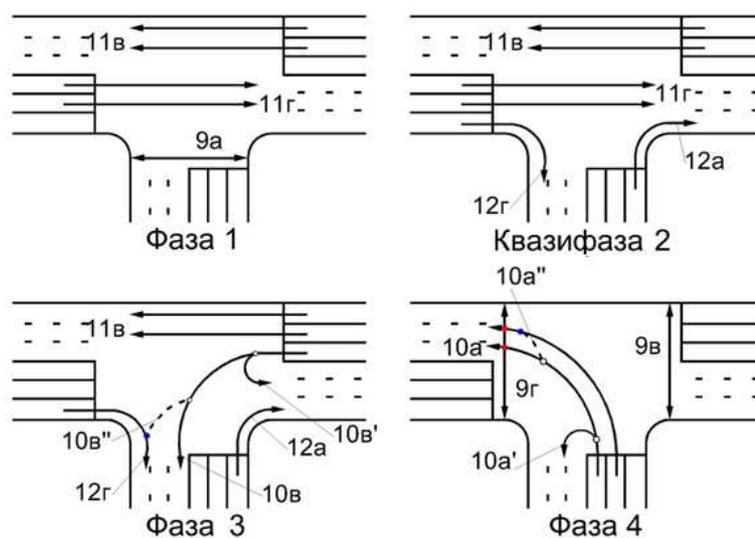


Рисунок П.4.21 – Четырехфазно управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП с транспортными светофорами по входам А, Г и В типа Т.1.п и Т.1.л с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП с типом 2 специализации полос по входу А, с организацией квазифазы 2 для отключения в конце фазы 1 ПП 9а и включения ТП 12г и 12а, при комбинированном III методе управления в цикле – со II методом управления по отдельным направлениям в фазах 1–3 и с пофазным I методом управлением в фазе 3, при условии – просачивание разрешено только через ПП 9г, ТП 11в > 11 г (на 50 %),  $T_{ц} = 80$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 2; слияний ● – 2; отклонений ○ – 4; всего 8; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 2; отклонения ○ – 2; всего 6; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 0; слияния ● – 2; отклонения ○ – 4; всего 6

Таблица П.4.68 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	200	–	–
–	–	11в	1500	11г	1000
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.69 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	3,0	1,8	2,4	1,7	80	0,59–0,89
2. Нет только разворотов	2,8	1,7	2,3	1,8	80	0,59–0,89
3. Нет только ПП	0,7	0,9	1,6	0,1	53	0,59–0,81

*Расчет режима светофорной сигнализации с учетом пешеходных потоков*

Таблица П.4.70 – Потоки насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{\text{Нпрям0}}$	3675,00				$y_{10A}$	0,23
$M_{\text{Н10A}} =$	2854,88				$y_{12A}$	0,24
$M_{\text{Н12A}} =$	1633,89				$y_{11B}$	0,25
$M_{\text{Н10B}} =$	1712,93				$y_{11Г}$	0,21
$M_{\text{Н11B}} =$	4343,18				$y_{10B}$	0,12
$M_{\text{Н11Г}} =$	3392,31				$y_{12Г}$	0,21
$M_{\text{Н12Г}} =$	1633,89					

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,24 + 0,21 + 0,12 = 0,57$ .

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 22 + 7 + 4 + 17 + 4 + 22 + 4 = 80 \text{ с.}$$

Таблица П.4.71 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				С	
$N_{\text{п}} =$	450,00	ф1	337,50	ф3					
	112,50	ф2	450,00	ф4					
$N_{12A} =$	450,00		$z_{12A} =$	0,89	$c_{12A} =$	480,00	480,00	$z_{12A} =$	0,83
$N_{10A} =$	900,00		$z_{10A} =$	0,72	$c_{10A} =$	440,00	880,00	$z_{10A} =$	0,74
$N_{11B} =$	1800,00		$z_B =$	0,61	$c_{11B} =$	580,00	1160,00	$z_B =$	0,95
$N_{11Г} =$	1125,00		$z_{Г} =$	0,62	$c_{11Г} =$	440,00	880,00	$z_{Г} =$	0,80
$N_{10B} =$	337,50		$z_{10B} =$	0,59	$c_{10B} =$	340,00	340,00	$z_{10B} =$	0,59
$N_{12Г} =$	450,00		$z_{12Г} =$	0,78	$c_{12Г} =$	480,00	480,00	$z_{12Г} =$	0,73

*Режим работы светофорной сигнализации без учета пешеходных потоков*

Потоки насыщения и фазовые коэффициенты те же.

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 15 + 4 + 9 + 4 + 17 + 4 = 53 \text{ с}$$

в этом случае рисунок П.4.21 будет состоять из 3 фаз (без квазифазы 2).

Таблица П.4.72 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\text{п}} =$	441,51	ф1	509,43	ф3					
	237,74	ф2					С		
$N_{12\text{A}} =$	679,25		$z_{12\text{A}} =$	0,59	$c_{12\text{A}} =$	271,98	271,98	$z_{12\text{A}} =$	1,47
$N_{10\text{A}} =$	1018,87		$z_{10\text{A}} =$	0,64	$c_{10\text{A}} =$	513,21	1026,42	$z_{10\text{A}} =$	0,63
$N_{11\text{B}} =$	1358,49		$z_{\text{B}} =$	0,81	$c_{11\text{B}} =$	724,53	1449,06	$z_{\text{B}} =$	0,76
$N_{11\text{Г}} =$	883,02		$z_{\text{Г}} =$	0,79	$c_{11\text{Г}} =$	452,83	905,66	$z_{\text{Г}} =$	0,77
$N_{10\text{B}} =$	237,74		$z_{10\text{B}} =$	0,84	$c_{10\text{B}} =$	271,70	271,70	$z_{10\text{B}} =$	0,74
$N_{12\text{Г}} =$	441,51		$z_{12\text{Г}} =$	0,79	$c_{12\text{Г}} =$	724,53	724,53	$z_{12\text{Г}} =$	0,48

Тип 3 специализации ТП на входе А со светофорами Т.1. п и Т.1.л на входах А, Г и В

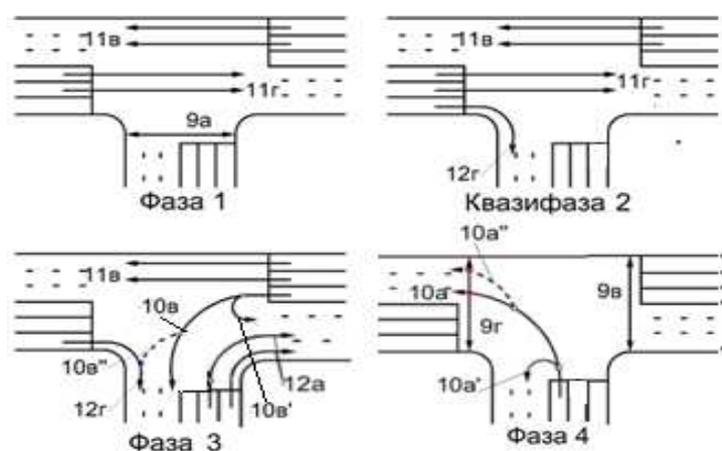


Рисунок П.4.22 – Модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП со специализацией ТП типа 3 по входу А при комбинированном III методе управления, где в фазах 1–3 осуществлено управление по II методу – управления по отдельным направлениям без конфликтных точек на «просачивание» ТП, а в 3 фазе по I метод пофазного управления с точками «просачивания» для ТП через III

Для этой модели все параметры и результаты расчета таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП аналогичны, что и для модели для специализации ТП типа 2 (рисунок П.4.21), поэтому они опущены. Все рассмотренные модели этого раздела имеют высокий уровень БД (<3 ед.) на РП, хотя и допускают пересечения ТП с ПП.

Целесообразно в таких моделях СОД с КЗ запрещать лишь один ПП – 9г в фазе 4, тогда модели такого класса станут решать задачу 18) ПУТБД по классификации рисунка 3.1 с концепцией «нулевой смертности» на РП.

#### П.4.10 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП при разной специализации движения ТП на дороге примыкания с отдельной фазой для ПП

*Тип 1 специализации ТП на входе А со светофорами на входах А, Г, В – Т.1*

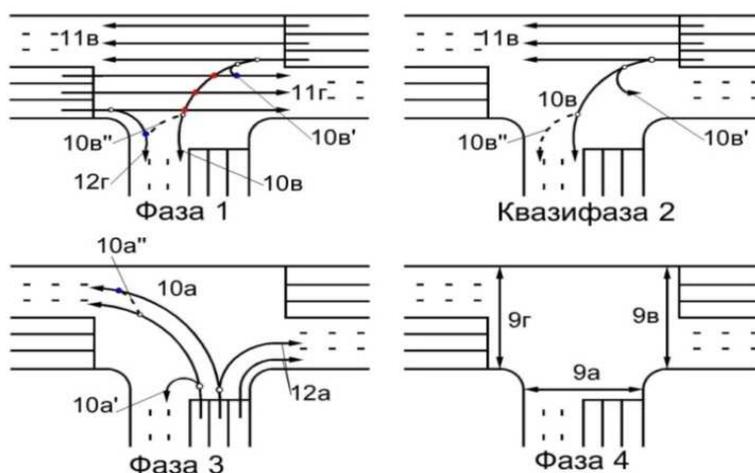


Рисунок П.4.23 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП с отдельной пешеходной фазой 4 и отсечкой в квазифазе 2 ТП 11г и 12г, с транспортными светофорами по входам А, В и Г типа Т.1, с соответствующими ДЗ особых предписаний по 1 типу специализации полос ТП на входе А, при пофазном I методе управления в фазах 1–3, при условии – частичное просачивание левоповоротного ТП 10в через ТП 11г разрешено только в фазе 1, а в квазифазе 2 просачивания нет, ТП 11в > 11 г (на 50 %), отдельная пешеходная фаза 4 может иметь другой необходимый порядковый номер 3 в цикле светофорного регулирования, чтобы выполнять условия «терпеливого» ожидания для пешеходов в цикле светофорного регулирования,  $T_{\text{п}} = 93$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 3; слияний ● – 3; отклонений ○ – 7; всего 13; вариант – 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 2; отклонения ○ – 5; всего 10

Таблица П.4.73 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		В		Г	
10а	525	10в	200	–	–
–	–	11в	1500	11г	1000
12а	525	–	–	12г	350

Таблица П.4.74 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	5,0	1,8	3,0	0,4	93	0,90–0,94
6. По п. 5 нет разворотов	4,8	1,7	2,9	0,36	93	0,90–0,94

### Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.75 – Потоки насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

	3 полосы	1 полоса			
$M_{\text{Нпрям}}$	5512,50	1837,50			$y_A$ 0,23
$M_{\text{Н10Л}} =$	1712,93	1225,00			$y_B$ 0,31
$M_{\text{Н12Л}} =$	1633,89		4571,81		$y_G$ 0,26
$M_{\text{НВ}} =$	5222,37				
$M_{\text{НГ}} =$	5176,96				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,23 + 0,31 + 0,26 = 0,49$ .

Таблица П.4.76 – Уточненная длительность цикла регулирования

$A$	0,51
$B$	51,11
$C$	782,00
$k$	1,19

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 30 + 7 + 4 + 22 + 4 + 22 + 4 = 93 \text{ с.}$$

Таблица П.4.77 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{\text{п}} =$	541,94	ф1	387,10	ф3					
	96,77	ф2					С		
$N_A =$	1161,29		$z_A =$	0,90	$c_A =$	378,49	1135,48	$z_{10A} =$	0,92
$N_B =$	1724,52		$z_B =$	0,94	$c_B =$	636,56	1909,68	$z_B =$	0,79
$N_G =$	1463,23		$z_G =$	0,92	$c_G =$	516,13	1548,39	$z_G =$	0,87

Тип 2 специализации ТП на входе А со светофорами на входах А, Г и В типа

Т.1.п и Т.1.л

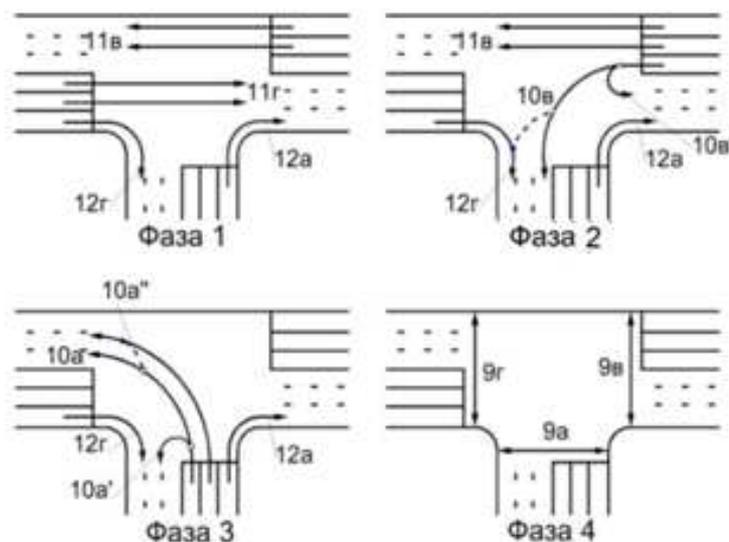


Рисунок П.4.24 – Четырехфазно управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП, при отдельной пешеходной фазе 4, с транспортными светофорами с дополнительными секциями по входам А, Г и В типа Т.1.п и Т.1.л, с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП по 2 типу специализации полос дороги примыкания на входе А, при II методе управления по отдельным направлениям в фазах 1–3, при условии: – просачивания ТП нет, ТП 11в > 11г (на 50 %); отдельная пешеходная фаза 4 может иметь другой необходимый порядковый номер 3 в цикле детерминированного светофорного регулирования под условие «терпеливого» ожидания для пешеходов; через кнопки на табло вызова пешеходов (ТВП) возможны адаптивные включения формирования фазы 4 в цикле светофорной сигнализации по запросу пешеходов,  $T_{ц} = 106$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 2; отклонений ○ – 4; всего 6; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 0; слияния ● – 2; отклонения ○ – 2; всего 3

Таблица П.4.78 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{ГЛ}$	$R_{ГЛmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	0,7	0,9	1,6	0,1	106	0,33–0,86
6. По п. 5 нет разворотов	0,6	0,87	1,5	0,08	106	0,33–0,86

## Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.79 – Поток насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прям}} =$	3675,00			$y_{10A}$	0,23
$M_{H10A} =$	2854,88			$y_{12A}$	0,24
$M_{H12A} =$	1633,89			$y_{11B}$	0,25
$M_{H10B} =$	1712,93			$y_{11Г}$	0,21
$M_{H11B} =$	4343,18			$y_{10B}$	0,12
$M_{H11Г} =$	3392,31			$y_{12Г}$	0,21
$M_{H12Г} =$	1633,89				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,23 + 0,21 + 0,12 = 0,56$ .

Длительность разрешающего сигнала для пешеходных потоков:  $t_{\text{пш}} = 22$  с.

Таблица П.4.80 – Уточненная длительность  $T_{\text{ц}}$  и основных разрешающих сигналов, с

$A$	0,45
$B$	58,19
$C$	202,98
$T_{\text{ц}}$	126
$k$	1,13
$t_{01} =$	29
$t_{02} =$	17
$t_{03} =$	33
$t_{04} =$	22

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{\text{ц}} = 29 + 4 + 17 + 4 + 33 + 4 + 22 + 4 = 117 \text{ с.}$$

Таблица П.4.81 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				
$N_{\text{ц}} =$	423,86	$\phi 1$	470,87	$\phi 3$				
	226,44	$\phi 2$				$C$		
$N_{12A} =$	1121,17	$z_{12A} =$	0,36	$c_{12A} =$	674,68	674,68	$z_{12A} =$	0,59
$N_{10A} =$	941,74	$z_{10A} =$	0,69	$c_{10A} =$	445,98	891,95	$z_{10A} =$	0,73
$N_{11B} =$	1300,60	$z_{11B} =$	0,85	$c_{11B} =$	632,90	1265,80	$z_B =$	0,87
$N_{11Г} =$	847,72	$z_{Г} =$	0,83	$c_{11Г} =$	404,19	808,39	$z_{Г} =$	0,87
$N_{10B} =$	226,44	$z_{10B} =$	0,88	$c_{10B} =$	228,71	228,71	$z_{10B} =$	0,87
$N_{12Г} =$	1121,17	$z_{12Г} =$	0,31	$c_{12Г} =$	1078,88	1078,88	$z_{12Г} =$	0,32

Проведем уменьшение некоторых длительностей основных разрешающих сигналов для фаз:

$$T_{\text{ц}} = 26 + 4 + 17 + 4 + 25 + 4 + 22 + 4 = 106 \text{ с.}$$

Таблица П.4.82 – Пропускная способность РП

Вариант №1				Вариант №2					
$N_{\Pi} =$	407,55	$\phi 1$	390,57	$\phi 3$					
	254,72	$\phi 2$				С			
$N_{12A} =$	1052,83		$z_{12A} =$	0,38	$c_{12A} =$	633,96	$z_{12A} =$	0,63	
$N_{10A} =$	781,13		$z_{10A} =$	0,83	$c_{10A} =$	377,36	754,72	$z_{10A} =$	0,86
$N_{11B} =$	1324,53		$z_{11B} =$	0,83	$c_{11B} =$	649,06	1298,11	$z_B =$	0,85
$N_{11\Gamma} =$	815,09		$z_{\Gamma} =$	0,86	$c_{11\Gamma} =$	392,45	784,91	$z_{\Gamma} =$	0,89
$N_{10B} =$	254,72		$z_{10B} =$	0,79	$c_{10B} =$	256,60	256,60	$z_{10B} =$	0,78
$N_{12\Gamma} =$	1052,83		$z_{12\Gamma} =$	0,33	$c_{12\Gamma} =$	1026,42	1026,42	$z_{10B} =$	0,34

Тип 2 специализации ТП на входе А со светофорами на входах А, В и Г

типа Т.1.п, Т.1.л и Т.1

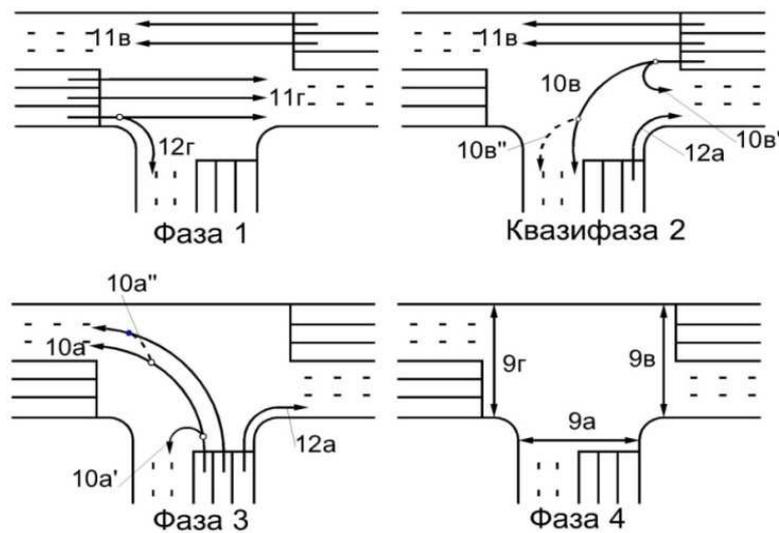


Рисунок П.4.25 – Четырехфазно комбинированно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП с отдельной пешеходной фазой 4, и отсечкой в квазифазе 2 ТП 11г и 12г, с транспортными светофорами по входам А, В и Г типа Т.1.п, Т.1.л и Т.1 с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП по типу 2 специализации полос на входе А, при комбинированном III методе управления в цикле – с пофазным I методом в 1 фазе и II методом управления по отдельным направлениям в фазах 2 и 3, при условии – просачивания ТП нет, ТП 11в > 11г (на 50 %), отдельная пешеходная фаза может иметь другой необходимый порядковый номер в цикле светофорного регулирования, чтобы выполнять условия «терпеливого» ожидания для пешеходов в ПП,  $T_{\Pi} = 106$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 1; откля-

нений  $\circ$  – 5; всего 6; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.:  
пересечения  $\bullet$  – 0; слияния  $\bullet$  – 1; отклонения  $\circ$  – 3; всего 3

Таблица П.4.83 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

		В		Г	
10а	650	10В	200	–	–
–	–	11В	1100	11Г	700
12а	400	–	–	12Г	350

Таблица П.4.84 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	0,8	1,0	1,4	0,14	106	0,38–0,86
6. По п. 5 нет разворотов	0,7	0,9	1,3	0,13	106	0,38–0,86

### Расчет режима светофорной сигнализации

Таблица П.4.85 – Поток насыщения, ед./ч

Фазовые коэффициенты

$M_{Hпрям}$	3675,00			$y_{10A}$	0,23
$M_{H10A} =$	2854,88			$y_{12A}$	0,24
$M_{H12A} =$	1633,89			$y_{11B}$	0,25
$M_{H10B} =$	1712,93			$y_{Г}$	0,31
$M_{H11B} =$	4343,18			$y_{10B}$	0,12
$M_{HГ} =$	3392,31				

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,31 + 0,23 + 0,12 = 0,65$ .

Режим работы светофорной сигнализации:

$$T_{ц} = 26 + 4 + 17 + 4 + 25 + 4 + 22 + 4 = 106 \text{ с.}$$

Таблица П.4.86 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2					
$N_{п} =$	407,55	$\phi 1$	390,57	$\phi 3$					
	254,72	$\phi 2$					С		
$N_{12A} =$	1052,83		$z_{12A} =$	0,38	$c_{12A} =$	633,96	633,96	$z_{12A} =$	0,63
$N_{10A} =$	781,13		$z_{10A} =$	0,83	$c_{10A} =$	377,36	754,72	$z_{10A} =$	0,86
$N_{11B} =$	1324,53		$z_{11B} =$	0,83	$c_{11B} =$	649,06	1298,11	$z_{B} =$	0,85
$N_{Г} =$	1222,64		$z_{Г} =$	0,86	$c_{Г} =$	392,45	784,91	$z_{Г} =$	0,89
$N_{10B} =$	254,72		$z_{10B} =$	0,79	$c_{10B} =$	256,60	256,60	$z_{10B} =$	0,78

Тип 3 специализации ТП на входе А со светофорами на входах А, В и Г типа

Т.1. п, Т.1.л и Т.1.н

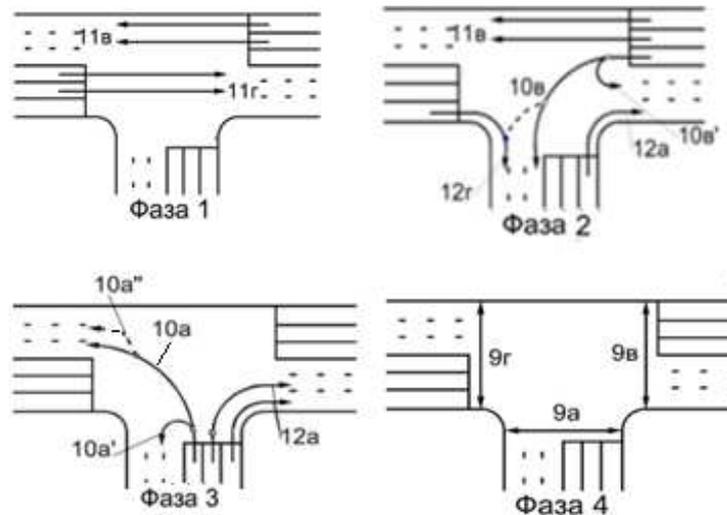


Рисунок П.4.26 – Четырехфазно управляемая II методом по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Т-образных РП, при отдельной пешеходной фазе 4, с транспортными светофорами с дополнительными секциями по входам А, В и Г типа Т.1.п, Т.1.ли Т.1.п, с соответствующими ДЗ особых предписаний для ТП по 3 типу специализации полос дороги примыкания на входе А

Не представленные виды комбинаторных моделей СОД с КЗ для четырехфазно управляемых трехполосных Т-образных РП аналогичны, представленной модели рисунка П.4.25 с отдельной пешеходной фазой и специализацией средней полосы для ТП по типу 3 на входе А. Результаты конфликтных загрузок и пропускной способности их РП – аналогичны рассмотренным выше вариантам, поэтому не приводятся.

#### **П.4.11 Функциональные зависимости оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ для двух- и трехполосных Т-образных РП по СОД с КЗ**

Информация таблиц конфликтных загрузок и пропускных способностей РП, полученная в разделах П.4.1–П.4.10 на базе исследования двухполосных и трехполосных Т-образных РП по их моделям СОД с КЗ при разных методах пофазовых разъездов ТПП и типах специализации полос движения ТП на примыкающей дороге обобщена и систематизирована для построения графиков

функциональных зависимостей (номограммы) оценок обеспечиваемой безопасности движения (БД) и ПС.

Функциональные зависимости графиков оценок обеспечиваемой БД (номограмма)  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  и ПС (пропускной способности) через циклы светофорного управления ( $T_{ц}$ ) для транспортно-пешеходных потоков двухполосных и трехполосных движений на Т-образных РП при различных методах управления в их моделях СОД с КЗ от числа конфликтных точек (6–19 шт.) представлены на рисунке П.4.27.

Функциональные зависимости, построенные по трем методикам оценки БД с учетом классификации рисунок 3.1 позволяют сделать следующие выводы:

1. По первому методу оценки степени опасности пересечения  $K_a$  для всех рассмотренных моделей СОД с КЗ в разделах П.4.1–П.4.10 решен обширный перечень задач. Задача 2) с ПрУТБД решена **I** методом двух- и трехфазного управления в двухполосных моделях СОД с КЗ в разделах П.4.1 и П.4.2. Задача 3) с ПУТБД решена **I** методом трехфазного управления без ПП в двухполосных моделях раздела П.4.3. Задача 2) с ПрУТБД решена **I** методом двух- и трехфазного управления в трехполосных моделях СОД с КЗ подразделов П.4.4, П.4.5. Задачи 12)–15), 17), 21) с ПрУТБД решены **III** методом трехфазного комбинированного управления в трехполосных моделях СОД с КЗ раздела П.4.6. Задача 18) с ПУТБД решена **III** методом трехфазного и четырехфазного управления в трехполосных моделях СОД с КЗ разделов П.4.7 и П.4.10. Задача 3) с ПУТБД решена **I** методом трехфазного управления в трехполосных моделях СОД с КЗ в разделе П.4.8. Задачи 6) и 18) с ПУТБД решены **II** и **III** методами светофорного четырехфазного управления в трехполосных моделях СОД с КЗ в разделе П.4.9. На графике рисунок П.4.27 результирующую оценку безопасности движения (БД) ТПП методом оценки  $K_a$  по моделям СОД с КЗ на РП можно считать адекватно отражающей реальное положение для Т-образных перекрестков подобного класса. А именно: – для обеспечения ПУТБД ( $\leq 3$  ед.) при изменяющемся

числе конфликтных точек от 6 до 15 шт., и – для обеспечения ПрУТБД ( $>3 \leq 8$  ед.) при изменяющемся числе конфликтных точек от 15 до 19 шт.

2. По второму методу оценки уровня конфликтной загрузки  $R_{\text{Шел}}$  – для всего класса исследованных моделей СОД с КЗ на РП в разделах П.4.1 – П.4.10 решен широкий круг задач согласно их классификации по рисунку 3.1. А именно: – решены задачи 1) с обеспечением ДУТБД методом **I** при двух- и трехфазных управлениях в двухполосных моделях СОД с КЗ в разделах П.4.1 и П.4.2, а также в трехполосных моделях СОД с КЗ в разделах П.4.4 и П.4.5; – решены задачи 2), 12)–15), 17) и 21) с обеспечением ПрУТБД методами управления **I** и **III** в разделах П.4.3, П.4.6, П.4.10; – решена задача 18) с обеспечением ПУТБД методом светофорного управления **III** в моделях СОД с КЗ на РП в разделах П.4.7, П.4.9 и частично в – П.4.10. Перечисленный класс задач использовал **III** и **I** методы светофорного управления на РП. Они обеспечивают соответствующие уровни требований к безопасности движения на регулируемых пересечениях УДС мегаполисов: – ПУТБД в задаче 18) ( $R_{\text{Шел}} \leq 3$  ед.) с числом конфликтных точек до 9 шт.; – ПрУТБД в задачах 2), 12)–15), 17) и 21) ( $3 < R_{\text{Шел}} \leq 8$  ед.) с числом конфликтных точек от 9 до 15 шт.; – ДУТБД в задаче 1) ( $8 < R_{\text{Шел}} \leq 12$  ед.) с числом конфликтных точек от 15 до 19 шт. Метод оценки БД через конфликтную загрузку пересечения (перекрестка)  $R_{\text{Шел}}$  дает завышение оценок уровней БД относительно оценки первого метода оценки через уровень  $K_a$ , что затрудняет принятие решений у разработчиков транспортной инфраструктуры на РП.

3. По третьему методу оценки уровней БД на Т-образных РП в их моделях СОД с КЗ для этого же класса (см. рисунки разделов П.4.1 – П.4.10) решены задачи классификации рисунок 3.1 по двум авторским методам – для диагностической оценки (аудиторского контроля)  $R_{\text{Пmax}}$  и уточненной оценки уровня БД  $R_{\text{Пн}}$ . А именно: – решена задача 2) с обеспечением ПрУТБД первым (**I**) методом управления в разделах П.4.1, П.4.2, П.4.4, П.4.5 и частично третьим (**III**)

и **I** методами для  $R_{\Gamma_{\text{лmax}}}$  в разделах П.4.6 и П.4.8; – решены задачи 3), 6), 18) в разделах П.4.3, П.4.6, П.4.7, П.4.9 и П.4.10, обеспечивающие ПУТБД –**I**, **II** и **III** методами. Решение задач с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД) для СОД с КЗ на РП обеспечивается значениями оценки для  $R_{\Gamma_{\text{лmax}}} \leq 3$  ед. в интервале числа конфликтных точек (КТ) от 6 до 11 шт., а для  $R_{\Gamma_{\text{л}}} \leq 3$  ед в интервале КТ от 6 до 15 шт. При этом ПрУТБД обеспечивается для  $3 < R_{\Gamma_{\text{лmax}}} \leq 8$  ед. в интервале изменения числа КТ от 12 до 19 шт., а для  $R_{\Gamma_{\text{л}}}$  в интервале изменений числа КТ от 15 до 19 шт. В решении указанных задач применен также весь набор светофорного управления на РП с методами **I**, **II**, **III**. При этом обеспечение ПУТБД с оценкой для  $R_{\Gamma_{\text{л}}}$  возможно реализовать во всех без исключения моделях СОД с КЗ на РП (разделы П.4.1–П.4.10), если в них пешеходные потоки (ПП) перенести в другой уровень движения относительно транспортных потоков (ТП) или организовать отдельные пешеходные фазы. Из графика рисунок П.4.27 следует, что в интервале оценок БД с ПрУТБД обеспечен наилучший диапазон пропускной способности в Т-образных регулируемых пересечениях при цикле светофорного управления  $T_{\text{ц}} = 38 \div 106$  с. Третий (авторский) метод оценки уровней БД через конфликтную загрузку Т-образных РП наилучшим образом отражает качество диагностики и оценки разработки или модернизации их моделей СОД с КЗ, поэтому он рекомендован к практическому внедрению.

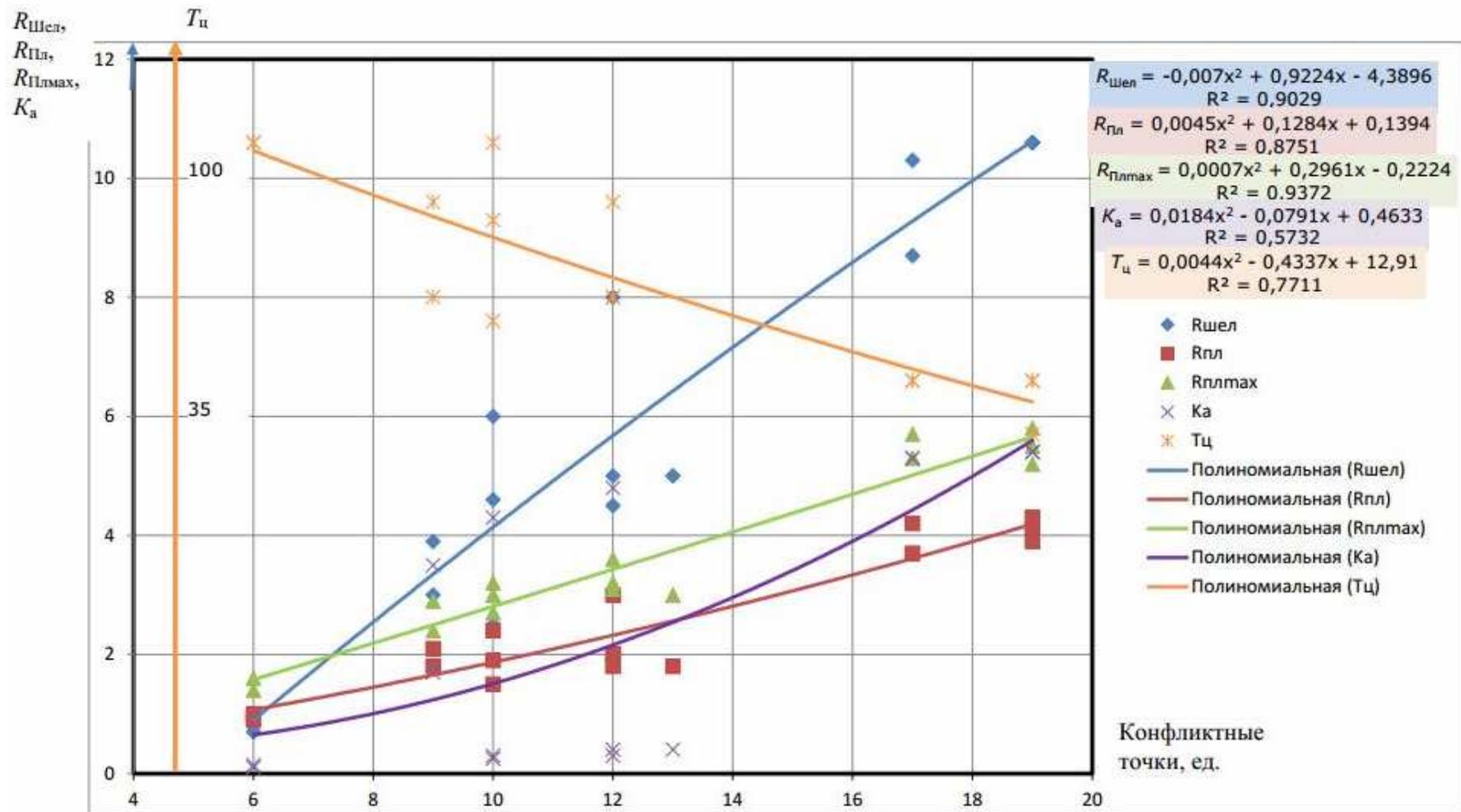


Рисунок П.4.27 – Функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения (номограммы)  $K_a$ ,  $R_{\text{шел}}$ ,  $R_{\text{пл}}$ ,  $R_{\text{плмак}}$  и циклов светофорного управления ( $T_{\text{ц}} = \text{var } 106 - 38$  с) для транспортно-пешеходных потоков двухполосных и трехполосных движений на Т-образных РПпри различных методах управления в их моделях СОД с КЗ от числа конфликтных

## **П.5 Методика оценки УТБД и ПС трехполосных Х-образных РП по СОД с КЗ при разных методах пофазных разъездов ТПП**

### **Содержание**

П.5.1 Оценка УТБД и ПС двухфазно управляемых трехполосных Х-образных РП.....	407
П.5.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых комбинированным методом трехполосных Х-образных РП .....	409
П.5.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП в комбинаторных видах отсечки ТП.....	417
П.5.4 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП с отдельной фазой для ПП .....	425
П.5.5 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофорами на всех входах Т.1.пл или Т.1.л.....	426
П.5.6 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых комбинированным методом трехполосных Х-образных РП при разных светофорах в комбинаторных видах отсечки ТП.....	431
П.5.7 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП с типовым светофором Т.1 в комбинаторных отсечках ТП.....	435
П.5.8 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофором Т.1 при отсечках ТП и отдельной фазой для ПП .....	437
П.5.9 Оценка УТБД и ПС пятифазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофором Т.1.пл при отсечках ТП.....	440
П.5.10 Оценка УТБД и ПС пятифазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофором Т.1 при отсечках ТП и отдельной фазой для ПП .....	445
П.5.11 Оценка УТБД и ПС шестифазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофорами Т.1.пл при отсечках ТП.....	446
П.5.12 Функциональные зависимости оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ в трехполосных Х-образных РП по их моделям СОД с КЗ .....	450

### П.5.1 Оценка УТДБ и ПС двухфазно управляемых трехполосных Х-образных РП

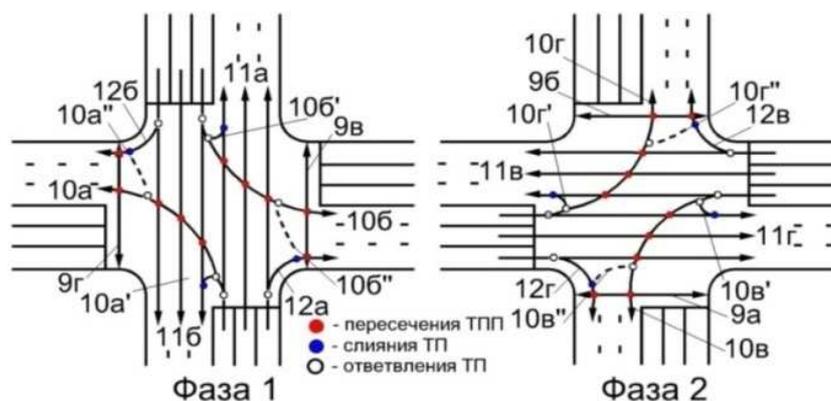


Рисунок П.5.1 – Двухфазно управляемая модель СОД с КЗ при трехполосном движении на Х-образном РП с просачиванием ТП – через встречные ТП и – ПП (I метод светофорного пофазного управления), при интенсивностях для левоповоротных транспортных потоков  $N_{ij} \leq 120$  ед./ч, фазы –  $i=1, 2$ ; направления движения –  $j=10a \dots 10г$ ,  $T_{ц} = 50$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8 отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.1 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	120	10г	120	
11а	1130	11б	850	11в	540	11г	400	
12а	330	12б	350	12в	350	12г	350	

Таблица П.5.2 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	24,7	9,0	12,2	3,9	50	0,5
2. Нет только разворотов	24,2	8,9	11,0	3,7	50	0,5
3. Нет только ПП	15,0	5,7	8,8	0,6	50	0,5

Исходные данные для расчета цикла регулирования и пропускной способности.

Количество полос 3, ширина полосы движения 3,5 м.

Таблица П.5.3 – Интенсивности движения ТП на входах в перекресток, ед./ч

Вход А			Вход Б		
	<i>N</i>	%		<i>N</i>	%
Прямо	1130	71,51	Прямо	850	60,71
Налево	120	7,59	Налево	120	14,28
Направо	330	20,88	Направо	350	25

$$M_H = 4970; \quad y_A = 0,32.$$

$$M_H = 4713; \quad y_B = 0,29.$$

Вход В			Вход Г		
	<i>N</i>	%		<i>N</i>	%
Прямо	540	53,46	Прямо	400	45,97
Налево	120	11,88	Налево	120	13,79
Направо	350	34,65	Направо	350	40,22

$$M_H = 4688,5; \quad y_B = 0,21.$$

$$M_H = 4578,4; \quad y_G = 0,19.$$

Для фазы 1 выбирается фазовый коэффициент равный  $y_1 = 0,32$ .

Для фазы 2 выбирается фазовый коэффициент равный  $y_2 = 0,21$ .

С учетом пропуска пешеходов длительность разрешающих сигналов равна:

$$T_{ц} = 21 + 4 + 21 + 4 = 50 \text{ с.}$$

Для определения пропускной способности светофорного объекта:

$t_a = 2 \text{ с}$  – время между включением зеленой фазы светофора и пресечением стоп-линии первым автомобилем;

$t_n = 2 \text{ с}$  – интервал времени между автомобилями при прохождении стоп-линии.

Пропускная способность одной полосы движения:  $N_{п} = 684 \text{ ед./ч}$

Пропускная способность в сечении стоп-линии подхода А: коэффициент, учитывающий пропускную способность полосы лево-поворотного движения:

$$\eta_n = (1580 + 120) / 1580 = 1,1; \quad N_A = 1,1 \cdot 684 \cdot 2 = 1505.$$

Пропускная способность в сечении стоп-линии подхода Б: коэффициент, учитывающий пропускную способность полосы лево-поворотного движения:

$$\eta_n = (1400 + 200) / 1400 = 1,14; \quad N_B = 1,14 \cdot 684 \cdot 2 = 1560.$$

Пропускная способность в сечении стоп-линии подхода В: коэффициент,

учитывающий пропускную способность полосы лево-поворотного движения:

$$\eta_{\text{л}} = (1010 + 120) / 1010 = 1,11; N_{\text{В}} = 1,11 \cdot 684 \cdot 2 = 1518.$$

Пропускная способность в сечении стоп-линии подхода Г: коэффициент, учитывающий пропускную способность полосы лево-поворотного движения:

$$\eta_{\text{л}} = (870 + 120) / 870 = 1,14; N_{\text{Г}} = 1,14 \cdot 684 \cdot 2 = 1560.$$

Для расчета пропускной способности по ОДМ 218.6.010-2013, поток насыщения полосы движения принимается равным 1600 приведенных ед./ч.

Таблица П.5.4 – Пропускная способность РП

	$N$	$z$	$c$	$z$
$t_{\text{А}} =$	1505	1580/1505=1,05	(21·1600·3)/50=2016	1580/2016=0,8
$t_{\text{Б}} =$	1560	1400/1560=0,89	2016	1400/2016=0,7
$t_{\text{В}} =$	1518	1010/1518=0,67	2016	1010/2016=0,5
$t_{\text{Г}} =$	1560	870/1560=0,56	2016	870/2016=0,43

### П.5.2 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых комбинированным методом трехполосных Х-образных РП

Тип 1 с комбинированием установки Т.1.пл по входам В и Г на РП

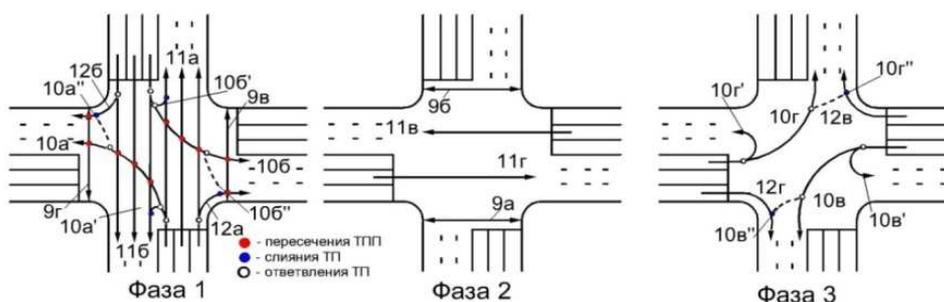


Рисунок П.5.2 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с использованием транспортных светофоров типа Т.1 на входах А, Б с «просачиванием» ТП между собой и с ПП и Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на входах В и Г без просачивания ТП (III метод комбинированного управления: – по отдельным направлениям в фазах 2,3 и пофазное управление в фазе 1), при условии – интенсивность левоповоротных ТП 10в и 10г > 120 ед./ч, а левоповоротных ТП 10а и 10б ≤ 120 ед./ч,  $T_{\text{ц}} = 94$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 10; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если

разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 24; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.5.5 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	190	10г	380
11а	700	11б	700	11в	500	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.5.6 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	14,1	5,5	7,3	2,6	94	0,5
2. Нет только разворотов	13,5	5,3	6,5	2,6	94	0,5
3. Нет только ПП	9,4	3,9	5,6	0,3	94	0,5

*Расчет режима светофорной сигнализации*

Таблица П.5.7 – Интенсивности движения ТП на входах в перекресток, ед./ч

Вход А			Вход Б		
	$N$	%		$N$	%
Прямо	1130	71,51	Прямо	850	60,71
Налево	120	7,59	Налево	200	14,28
Направо	330	20,88	Направо	350	25

$$M_H = 4969,9; \quad y_A = 0,3 \qquad M_H = 4859,1; \quad y_B = 0,27.$$

Для фазы 1 выбираем фазовый коэффициент  $y_1 = 0,32$ .

Направление 11В:  $M_H = 1837,5; \quad y_{11В} = 0,29$ .

Направление 11Г:  $M_H = 1837,5; \quad y_{11Г} = 0,22$ .

Для фазы 2 выбираем фазовый коэффициент  $y_2 = 0,29$ .

Направление 12Г:  $M_H = 1597; \quad y_{12Г} = 0,22$ .

Направление 12В:  $M_H = 1597; \quad y_{12В} = 0,22$ .

Направление 10Г:  $M_H = 1692,46; \quad y_{10Г} = 0,24$ .

Направление 10В:  $M_H = 1692,5; \quad y_{10В} = 0,11$ .

Для фазы 3 выбираем фазовый коэффициент  $y_3 = 0,24$ .

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,85$ .

Длительность цикла:  $T_{ц} = 151,5$  с, принимаем равной 120 с.

Таблица П.5.8 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_1 =$	41
$t_2 =$	37
$t_3 =$	30

$$T_{\text{ц}} = 41 + 4 + 37 + 4 + 30 + 4 = 120 \text{ с.}$$

*Определение пропускной способности светофорного объекта*

Для определения пропускной способности светофорного объекта принимаем:

$t_a = 2 \text{ с}$  – время между включением зеленой фазы светофора и пресечением стоп-линии первым автомобилем;

$t_n = 2 \text{ с}$  – интервал времени между автомобилями при прохождении стоп-линии.

Для Фазы 1:  $N_{\text{п}} = 585 \text{ ед./ч.}$  – пропускная способность одной полосы.

Пропускная способность в сечении стоп-линии подхода А: коэффициент, учитывающий пропускную способность полосы лево-поворотного движения:

$$\eta_{\text{л}} = (P + P_{\text{л}}) / P = (1580 + 120) / 1580 = 1,1; N_{\text{А}} = 1,1 \cdot 585 \cdot 2 = 1287.$$

Пропускная способность в сечении стоп-линии подхода Б: коэффициент, учитывающий пропускную способность полосы лево-поворотного движения:

$$\eta_{\text{л}} = (P + P_{\text{л}}) / P = (1320 + 120) / 1320 = 1,1; N_{\text{Б}} = 1,1 \cdot 585 \cdot 2 = 1287.$$

Для фазы 2:  $N_{\text{п}} = 525 \text{ ед./ч.}$

Для фазы 3:  $N_{\text{п}} = 420 \text{ ед./ч.}$

Таблица П.5.9 – Пропускная способность РП

	$N$	$z$	$c$	$z$
$t_{\text{А}} = 41$	1287	$1580/1287 = 1,2$	$(41 \cdot 1600 \cdot 3)/120 = 1640$	$1580/1640 = 0,96$
$t_{\text{Б}} = 41$	1287	$1320/1287 = 1,02$	1640	$1320/1640 = 0,8$
$t_{11\text{Б}} = 37$	525	$540/525 = 1,02$	$(37 \cdot 1600)/120 = 494$	$540/494 = 1,1$
$t_{11\text{Г}} = 37$	525	$400/525 = 0,76$	494	$400/494 = 0,8$
$t_{10\text{Б}} = 30$	420	$190/420 = 0,45$	$(3 \cdot 1600)/120 = 400$	$190/400 = 0,48$
$t_{10\text{Г}} = 30$	420	$400/420 = 0,95$	400	$400/400 = 1,0$
$t_{12\text{Б}} = 30$	420	$350/420 = 0,83$	400	$350/400 = 0,87$
$t_{12\text{Г}} = 30$	420	$350/420 = 0,83$	400	$350/400 = 0,87$

Длительность цикла скорректирована следующим образом:

$$T_{ц} = 30 + 4 + 30 + 4 + 22 + 4 = 94 \text{ с.}$$

**Вывод:** надо ограничить интенсивность движения по полосе  $\leq 700$  ед./ч.

*Тип 2 с комбинированием установки Т.1.пл по входам А и Б на РП*

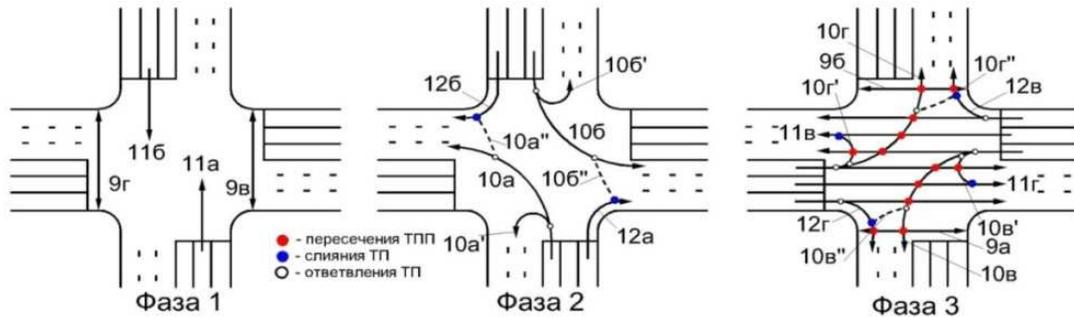


Рисунок П.5.3 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с использованием транспортных светофоров типа Т.1 на входах В и Г с «просачиванием» ТП между собой и с ПП и Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на входах А, Б без просачивания ТП (III метод комбинированного управления: – по отдельным направлениям в фазах 1, 2 и пофазное управление в фазе 3), при условии – интенсивность левоповоротных ТП  $10в$  и  $10г \leq 120$  ед./ч, а левоповоротных ТП  $10а$  и  $10б > 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 82$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 30; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 8; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12; всего 26

Данную СОД допускается применять на РП, при условии, что интенсивность прямого движения в фазе 1 не превышает 850–900 ед./ч.

Таблица П.5.10 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	190	10б	380	10в	120	10г	120	
11а	500	11б	400	11в	700	11г	700	
12а	60	12б	100	12в	330	12г	135	

Таблица П.5.11 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	14,1	5,5	7,3	2,6	82	0,5
2. Нет только разворотов	13,5	5,3	6,5	2,6	82	0,5
3. Нет только ПП	9,4	3,9	5,6	0,3	82	0,5

$$T_{ц} = 30 + 4 + 20 + 4 + 20 + 4 = 82 \text{ с.}$$

Таблица П.5.12 – Пропускная способность РП

Пропускная способность			
$N_{П=}$	395,12		
$N_{В=}$	869,26	$z =$	0,82
$N_{Г=}$	869,26	$z =$	0,82
$N_{11А=}$	614,63	$z =$	0,87
$N_{11Б=}$	614,63	$z =$	0,65
$N_{10А=}$	395,12	$z =$	0,30
$N_{12А=}$	395,12	$z =$	0,15
$N_{10Г=}$	395,12	$z =$	0,30
$N_{12Г=}$	395,12	$z =$	0,25

Тип 3 с комбинированием установки Т.1. л по входам А и Б на ОРП

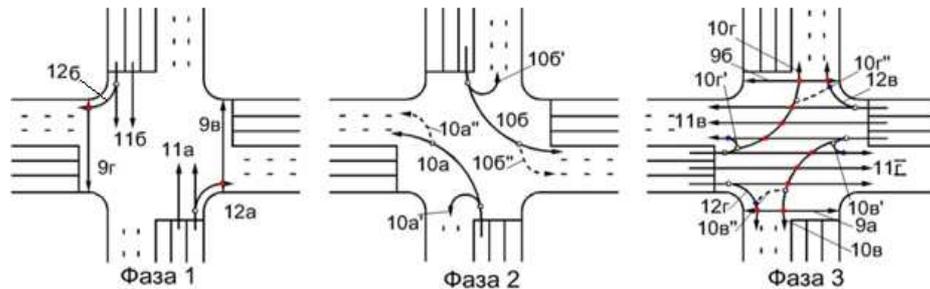


Рисунок П.5.4 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с использованием транспортных светофоров типа Т.1 на входах В и Г с «просачиванием» ТП между собой и с ПП и Т.1.л с ДЗ 5.15.2 на входах А, Б с частичным просачиванием ТП (III метод комбинированного управления: – по отдельным направлениям для левых поворотов в фазе 2 и пофазное управление в фазах 1 и 3), при условии – интенсивность левоповоротных ТП 10в и 10г  $\leq 120$  ед./ч, а левоповоротных ТП 10а и 10б  $> 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 63$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 4; отклонений ○ – 14; всего 30; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 2; отклонения ○ – 12; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы),

конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 4; отклонения ○ – 14;  
всего 24

Таблица П.5.13 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	200	10в	120	10г	120
11а	750	11б	750	11в	540	11г	400
12а	350	12б	350	12в	350	12г	350

Таблица П.5.14 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	15,3	5,8	7,9	2,7	63	0,57–0,88
2. Нет только разворотов	14,6	5,6	7,3	2,6	63	0,57–0,88
3. Нет только ПП	8,8	3,6	5,3	0,3	63	0,57–0,88

*Расчет цикла светофорного регулирования*

Таблица П.5.15 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г		
10а	15,38	10б	15,38	10в	11,88	10г	13,79	<i>b</i>
11а	57,69	11б	57,69	11в	53,46	11г	45,97	<i>a</i>
12а	26,92	12б	26,92	12в	34,65	12г	40,22	<i>c</i>

Таблица П.5.16 – Потоки насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{Нпрям}$	5512,50						
$M_{Нв} =$	5023,42				$y_{в}$	0,20	
$M_{Нг} =$	4905,43				$y_{г}$	0,18	
$M_{Н11,12А} =$	3675,00				$y_{11,12А}$	0,30	
$M_{Н11,12Б} =$	3564,75				$y_{11,12Б}$	0,31	
$M_{Н10А} =$	1733,90				$y_{10А}$	0,12	
$M_{Н10Б} =$	1633,89				$y_{10Б}$	0,12	

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,63$ .

Длительности основных разрешающих сигналов:

$$T_{ц} = 25 + 3 + 10 + 3 + 19 + 3 = 63 \text{ с.}$$

Таблица П.5.17 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{03} =$	19
$t_{01} =$	25
$t_{02} =$	10

Таблица П.5.18 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{\Pi} =$	485,7	$\phi 1$							
$N_{\Pi} =$	657,2	$\phi 2$							
$N_B =$	1573,7		$z =$	0,83	$c_B =$	482,5	1447,6	$z =$	0,90
$N_{\Gamma} =$	1709,7		$z =$	0,76	$c_{\Gamma} =$	482,5	1447,6	$z =$	0,90
$N_{11,12A} =$	1314,3		$z =$	0,68	$c_{11,12A} =$	634,9	1269,9	$z =$	0,70
$N_{11,12B} =$	1314,3		$z =$	0,57	$c_{11,12B} =$	634,9	1269,9	$z =$	0,70
$N_{10A} =$	228,6		$z =$	0,88	$c_{10A} =$	253,97	253,97	$z =$	0,79
$N_{10B} =$	228,6		$z =$	0,88	$c_{10B} =$	253,97	253,97	$z =$	0,79

**Вывод:** пропускная способность обеспечена.

*Тип 4 с комбинированием установки Т.1.л по входам В и Г на ОРП*

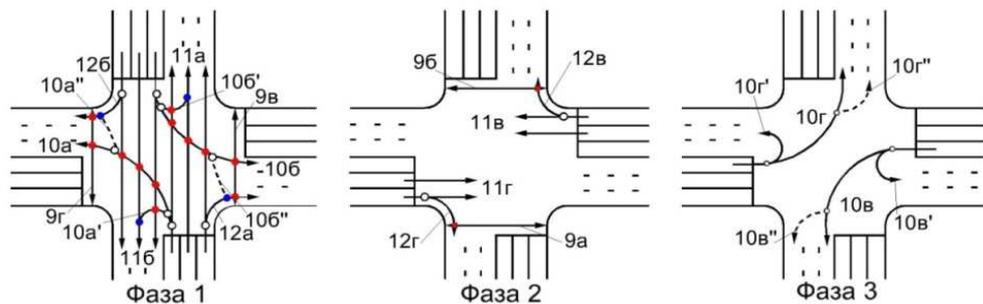


Рисунок П.5.5 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, с использованием транспортных светофоров типа Т.1 на входах А и Б с «просачиванием» ТП между собой и с ПП и Т.1.л с ДЗ 5.15.2 на входах В и Г с частичным просачиванием ТП (III метод комбинированного управления: – по отдельным направлениям для левых поворотов в фазе 3 и пофазное управление в фазах 2 и 3), при условии – интенсивность левоповоротных ТП  $10a$  и  $10b \leq 120$  ед./ч, а левоповоротных ТП  $10v$  и  $10g > 120$  ед./ч,  $T_{\Pi} = 71$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 4; отклонений ○ – 14; всего 30; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 2; отклонения ○ – 12; всего 26; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 4; отклонения ○ – 14; всего 24

Таблица П.5.19 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	110	10б	100	10в	300	10г	310
11а	1130	11б	1100	11в	800	11г	750
12а	330	12б	280	12в	90	12г	120

Таблица П.5.20 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Лл}}$	$R_{\text{Ллmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	14,8	5,7	7,9	2,7	71	0,74–0,87
2. Нет только разворотов	14,4	5,6	7,1	2,6	71	0,74–0,87
3. Нет только ПП	8,4	3,5	5,3	0,3	71	0,74–0,87

*Расчет цикла светофорного регулирования*

Таблица П.5.21 – Интенсивности движения ТП, %

А		Б		В		Г		
10а	7,01	10б	6,76	10в	25,21	10г	26,27	<i>b</i>
11а	71,97	11б	74,32	11в	67,23	11г	63,56	<i>a</i>
12а	21,02	12б	18,92	12в	7,56	12г	10,17	<i>c</i>

Таблица П.5.22 – Потoki насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

$M_{\text{Нпрям}}$	5512,50							
$M_{\text{НА}} =$	5344,56					$y_A =$	0,29	
$M_{\text{Нб}} =$	5379,23					$y_B =$	0,28	
$M_{\text{Н11,12в}} =$	3675,00					$y_{11,12в} =$	0,24	
$M_{\text{Н11,12г}} =$	3564,75					$y_{11,12г} =$	0,24	
$M_{\text{Н10в}} =$	1733,90					$y_{10в} =$	0,17	
$M_{\text{Н10г}} =$	1633,89					$y_{10г} =$	0,19	

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,29 + 0,24 + 0,19 = 0,72$ .

Таблица П.5.23 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	24
$t_{02} =$	22
$t_{03} =$	16

$$T_{\text{ц}} = 24 + 3 + 22 + 3 + 16 + 3 = 71 \text{ с}$$

Таблица П.5.24 – Пропускная способность РП

Вариант № 1					Вариант № 2				
$N_{\text{п}} =$	565,71	ф1				Полосы движения	Пр. части		
$N_{\text{п}} =$	514,29	ф2							
$N_A =$	1832,91		$z =$	0,86	$c_A =$	548,57	1645,71	$z =$	0,95
$N_B =$	1991,31		$z =$	0,74	$c_B =$	502,86	1508,57	$z =$	0,98
$N_{11,12в} =$	1028,57		$z =$	0,87	$c_{11,12в} =$	502,86	1005,71	$z =$	0,88
$N_{11,12г} =$	1028,57		$z =$	0,85	$c_{11,12г} =$	502,86	1005,71	$z =$	0,87
$N_{10в} =$	360,00		$z =$	0,83	$c_{10в} =$	365,71	365,71	$z =$	0,82
$N_{10г} =$	360,00		$z =$	0,86	$c_{10г} =$	365,71	365,71	$z =$	0,85

**Вывод:** пропускная способность обеспечена.

### П.5.3 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП в комбинаторных видах отсечки ТП

*Отсечка вид 1 по входу Б в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП*

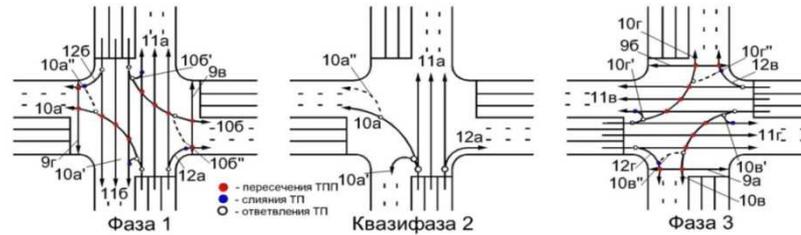


Рисунок П.5.6 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки (прерывания) ТП 11б в квазифазе 2 по входу Б без просачивания через ПП (I метод пофазного управления), когда пешеходным потокам 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала фазы 1, а интенсивность ТП 11а > 11б (на 25 %) больше,  $T_{ц} = 57$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.25 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	120	10г	120	
11а	1130	11б	850	11в	540	11г	400	
12а	330	12б	350	12в	350	12г	350	

Таблица П.5.26 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	24,6	8,1	13	3,9	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,2	8,0	10,6	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,0	5,3	9,5	0,6	57	0,5

Таблица П.5.27 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	7
$t_{03} =$	21

$$T_{ц} = 21 + 7 + 4 + 21 + 4 = 57 \text{ с}$$

Отсечка 2 по входу Б в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП

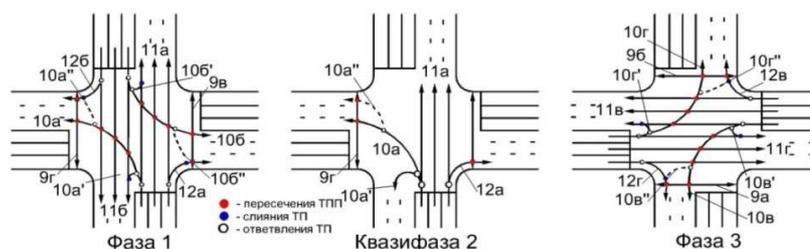


Рисунок П.5.7 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП 11б в квазифазе 2 по входу Б с просачиванием через ПП (I метод пофазного управления), когда ПП 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала фазы 1 и квазифазы 2, интенсивность ТП 11а > 11б (25 %) больше,  $T_{ц} = 57 \text{ с}$ , где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.28 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	120	10г	120	
11а	1130	11б	850	11в	540	11г	400	
12а	330	12б	350	12в	350	12г	350	

Таблица П.5.29

Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	25,3	8,7	11,8	3,8	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,5	8,4	10,5	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,6	5,4	8,4	0,6	57	0,5

Таблица П.5.30 – Длительности основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	7
$t_{03} =$	21

$$T_{ц} = 21 + 7 + 4 + 21 + 4 = 57 \text{ с}$$

Отсечка 3 по входу А в квазифазе 2 без «просачивания» ТП через ПП

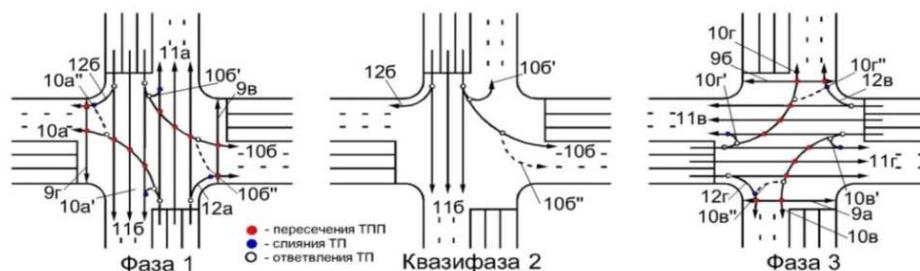


Рисунок П.5.8 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП 11а в квазифазе 2 по входу А без просачивания через ПП (I метод пофазного управления), когда ПП 9в и 9г достаточна длительность разрешающего сигнала фазы 1, интенсивность ТП 11б > 11а (17 %) больше,  $T_{ц} = 57$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16;

всего 36

Таблица П.5.31 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	100	106	200	10в	100	10г	100	
11а	850	116	1130	11в	540	11г	400	
12а	135	126	350	12в	60	12г	100	

Таблица П.5.32 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	24,6	8,1	11,1	3,9	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,2	8,0	10,0	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,0	5,3	8,1	0,6	57	0,5

Таблица П.5.33 – Длительности основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	7
$t_{03} =$	21

$$T_{ц} = 21 + 7 + 4 + 21 + 4 = 57 \text{ с}$$

Отсечка 4 по входу А в квазифазе 2 с «просачиванием» ТП через ПП

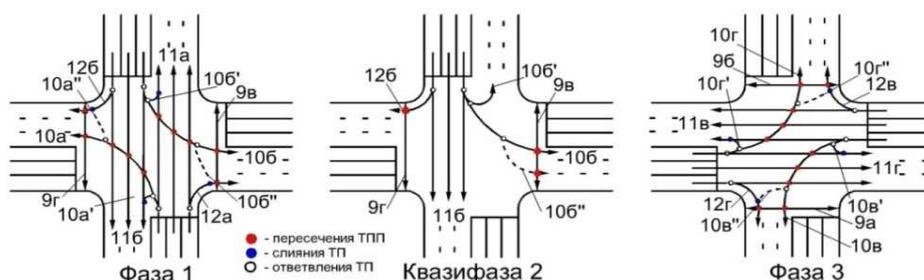


Рисунок П.5.9 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП 11а в квазифазе 2 по входу А с просачиванием через ПП (I метод пофазного управления), когда ПП 9в и 9г требуется длительность разрешающего сигнала фазы 1 и квазифазы 2, интенсивность ТП 11б > 11а (21 %) больше, ПП 9в и 9г необходим временной интервал ф1 и кф2,  $T_{ц} = 57 \text{ с}$ , где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.34 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	120	10г	120
11а	850	11б	1080	11в	540	11г	400
12а	135	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.5.35 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	25,2	8,3	11,4	3,8	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,4	8,0	10,0	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,6	5,4	8,4	0,6	57	0,5

Таблица П.5.36 – Длительности основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	7
$t_{03} =$	21

$$T_{ц} = 21 + 7 + 4 + 21 + 4 = 57 \text{ с}$$

Отсечка 5 по входу Г в квазифазе 3 без «просачивания» ТП через ПП

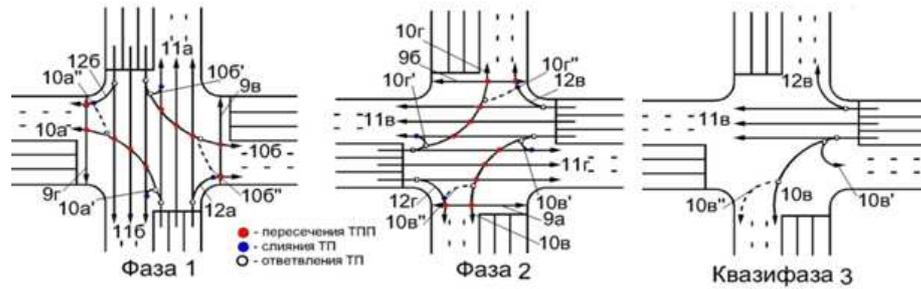


Рисунок П.5.10 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП 11Г в квазифазе 3 по входу Г без просачивания через ПП (I метод пофазного управления), когда ПП 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала фазы 2, интенсивность ТП 11в > 11Г (15 %) больше,  $T_{ц} = 57 \text{ с}$ , где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16;

всего 36

Таблица П.5.37 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	120	106	120	10в	200	10г	120	
11а	540	116	400	11в	1000	11г	850	
12а	60	126	100	12в	135	12г	135	

Таблица П.5.38 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	24,6	8,1	11,1	3,9	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,2	8,0	10,0	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,0	5,3	8,1	0,6	57	0,5

Таблица П.5.39 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	21
$t_{03} =$	7

$$T_{ц} = 21 + 4 + 21 + 7 + 4 = 57 \text{ с.}$$

Отсечка б по входу Г в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП

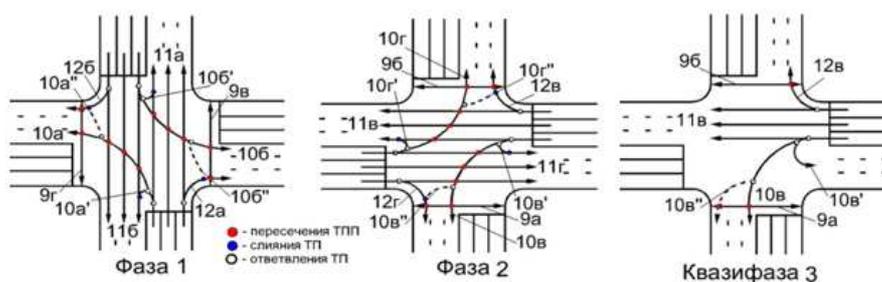


Рисунок П.5.11 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП 11Г в квазифазе 3 по входу Г с просачиванием через ПП (I метод пофазного управления), когда ПП 9а и 9б необходима длительность разрешающих сигналов фазы 2 и кф3, интенсивность ТП 11в > 11Г (15 %) больше,  $T_{ц} = 21 + 4 + 21 + 7 + 4 = 57 \text{ с}$ , где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.40 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	120	106	120	10в	200	10Г	120	
11а	540	116	400	11в	1000	11Г	850	
12а	60	126	100	12в	135	12Г	135	

Таблица П.5.41 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	24,6	8,6	11,5	3,8	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,2	8,4	10,3	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,0	5,3	8,1	0,6	57	0,5

Таблица П.5.42 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	21
$t_{03} =$	7

$$T_{ц} = 21 + 4 + 21 + 7 + 4 = 57 \text{ с.}$$

Отсечка 7 по входу В в квазифазе 3 без «просачивания» ТП через ПП

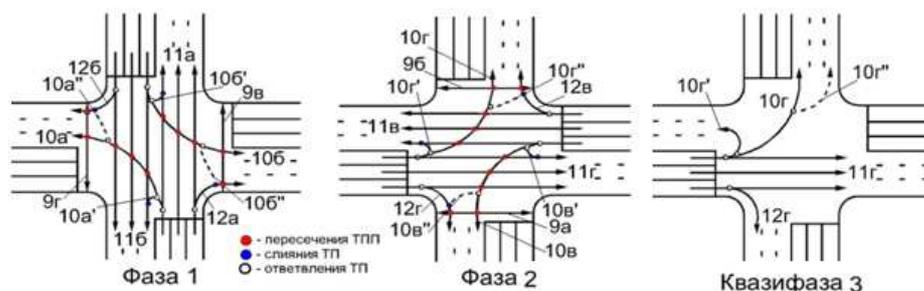


Рисунок П.5.12– Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП (11в) в квазифазе 3 по входу В без просачивания через ПП (I метод пофазного управления), когда ПП 9а и 9б достаточна длительность разрешающего сигнала фазы 2, интенсивность ТП  $11г > 11в$  (15 %) больше,  $T_{ц} = 57$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.43 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	24,6	8,1	11,1	3,9	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,2	8,0	10,0	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,0	5,3	8,1	0,6	57	0,5

Таблица П.5.44 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	21
$t_{03} =$	7

$$T_{\text{ц}} = 21 + 4 + 21 + 7 + 4 = 57 \text{ с.}$$

Отсечка 8 по входу В в квазифазе 3 с «просачиванием» ТП через ПП

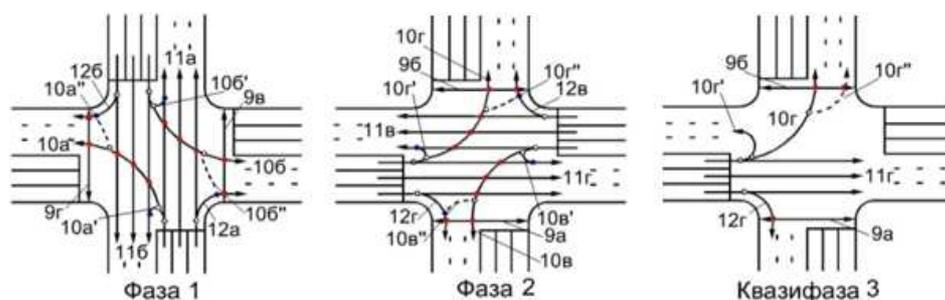


Рисунок П.5.13 – Трехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП (11в) в квазифазе 3 по входу В с просачиванием через ПП (I метод пофазного управления), когда ПП 9а и 9б необходима длительность разрешающих сигналов фазы 2 и кф3, интенсивность ТП  $11\Gamma > 11\text{в}$  (15 %) больше,  $T_{\text{ц}} = 21 + 4 + 21 + 7 + 4 = 57 \text{ с}$ , где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.45 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{\text{Шел}}$	$R_{\text{Пл}}$	$R_{\text{Плmax}}$	$K_a$	$T_{\text{ц}}$	$z$
1. Все маневры разрешены	24,6	8,6	11,5	3,8	57	0,5
2. Нет только разворотов	24,2	8,4	10,3	3,7	57	0,5
3. Нет только ПП	15,0	5,3	8,1	0,6	57	0,5

Таблица П.5.46 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	21
$t_{02} =$	21
$t_{03} =$	7

Длительность цикла регулирования аналогична СОД на рисунке П.5.6.

$$T_{\text{ц}} = 21 + 4 + 21 + 7 + 4 = 57 \text{ с.}$$

### П.5.4 Оценка УТБД и ПС трехфазно управляемых трехполосных X-образных РП с отдельной фазой для ПП

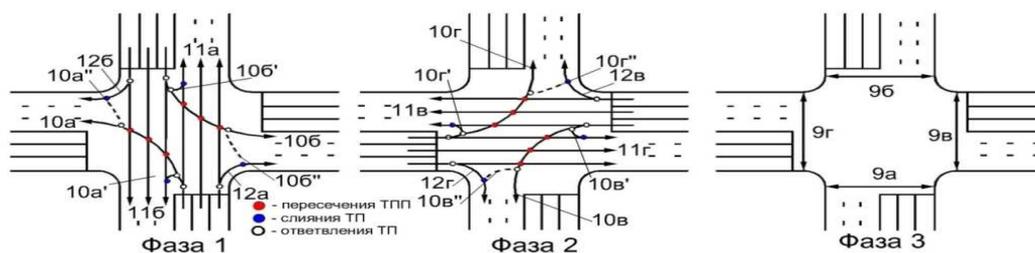


Рисунок П.5.14 – Трехфазная управляемая модель СОД с КЗ трехполосных X-образных РП с организацией отдельной пешеходной фазы 3 (I метод пофазного управления – при организации отдельной пешеходной фазы движения ПП), когда не допускается пересечение пешеходных потоков (ПП) 9а–9г с транспортными потоками (ТП) в одной фазе регулирования и нужна отдельная пешеходная фаза 3 с размещением ее между фазами 1 и 2 для соблюдения интервала «терпеливого ожидания» пешеходов,  $T_{ц} = 73$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 36; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 28

Таблица П.5.47 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	120	106	120	10в	120	10г	120	
11а	1130	116	850	11в	540	11г	400	
12а	330	126	350	12в	350	12г	350	

Таблица П.5.48 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	15,0	5,7	8,8	0,6	73	0,76–0,93

При проверке пропускной способности по Фишельсону(вариант №1) и по ОДМ 218.2.020-201 (вариант №2) – далее по ОДМ требуемая длительность цикла регулирования имеет вид:

$$T_{ц} = 20 + 4 + 20 + 4 + 21 + 4 = 73 \text{ с.}$$

Уровень загрузки при определении пропускной способности по Фишельсону составляет 0,76 ед., по ОДМ – 0,93.

Таблица П.5.49 – Пропускная способность РП по Фишельсону, ед./ч

Одной полосы движения:				
$N_{\Pi} =$	616,4384			
Проезжей части:			Уровень загрузки	
$N_A =$	2095,89	$z_A =$	0,76	
$N_B =$	2028,082	$z_B =$	0,54	
$N_B =$	1947,945	$z_B =$	0,40	
$N_{\Gamma} =$	1824,658	$z_{\Gamma} =$	0,49	

Таблица П.5.50 – Пропускная способность по ОДМ, ед./ч

Одной полосы движения		Проезжей части	Уровень загрузки	
$c_A =$	568,42	1705,26	$z_A =$	0,93
$c_B =$	568,42	1705,26	$z_B =$	0,64
$c_B =$	336,84	1010,52	$z_B =$	0,78
$c_{\Gamma} =$	336,84	1010,52	$z_{\Gamma} =$	0,89

### П.5.5 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофорами на всех входах Т.1.пл или Т.1.л

Тип 1 с установкой светофоров Т.1. пл по всем входам А – Г на ОРП

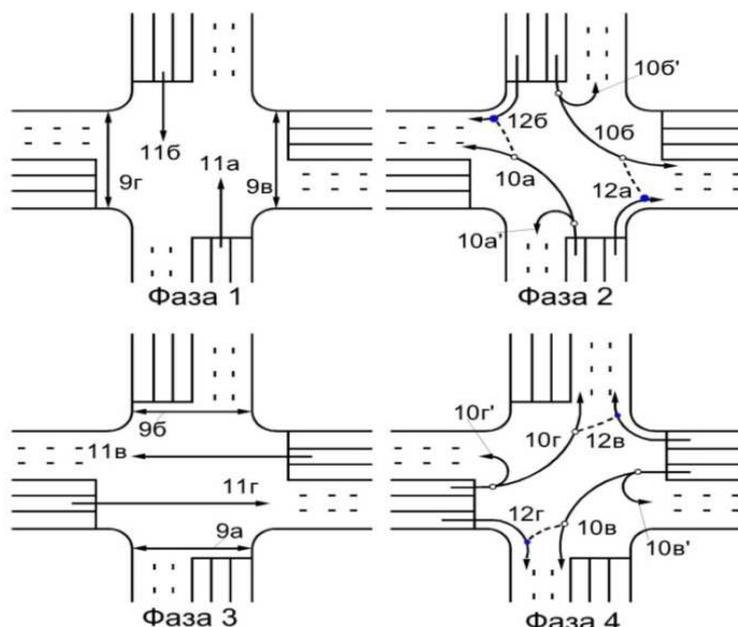


Рисунок П.5.15 – Четырехфазная, управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А–Г, без просачивания ТП

через ПП (II метод метод управления по отдельным направлениям), при условии – интенсивность всех левоповоротных ТП  $10a - 10г > 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 120$  с, где вариант 1 – нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

Такие модели СОД с КЗ решают задачу концепции "нулевой смертности" на РП.

Таблица П.5.51 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	200	10в	200	10г	200
11а	500	11б	500	11в	500	11г	500
12а	200	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.5.52 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
Все маневры разрешены	2,4	1,5	2,4	0,1	120	0,48–0,95

Таблица П.5.53 – Потоки насыщения, ед./ч Фазовые коэффициенты

$M_{H11A} =$	1837,5				$y_{11A} =$	0,27
$M_{H10A} =$	1733,89				$y_{10A} =$	0,11
$M_{H12A} =$	1633,88				$y_{12A} =$	0,12
$M_{H11B} =$	1837,5				$y_{11B} =$	0,27
$M_{H10B} =$	1733,89				$y_{10B} =$	0,1
$M_{H12B} =$	1633,88				$y_{12B} =$	0,08
$M_{H11B} =$	1837,5				$y_{11B} =$	0,27
$M_{H10B} =$	1733,89				$y_{10B} =$	0,11
$M_{H12B} =$	1633,88				$y_{12B} =$	0,03
$M_{H11Г} =$	1837,5				$y_{11Г} =$	0,27
$M_{H10Г} =$	1733,89				$y_{10Г} =$	0,1
$M_{H12Г} =$	1633,88				$y_{12Г} =$	0,06

Таблица П.5.54 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	37,92398	38
$t_{02} =$	16,07602	16
$t_{03} =$	37,92398	38
$t_{04} =$	16,07602	16

Структура цикла регулирования:

$$T_{ц} = 38 + 3 + 16 + 3 + 38 + 3 + 16 + 3 = 120 \text{ с.}$$

Таблица П.5.55 – Пропускная способность РП, ед./ч

Пропускная способность по Фишельсону				Пропускная способность по ОДМ			
$N_{11A} =$	540	$z =$	0,93	$c_{11A} =$	506,67	$z =$	0,99
$N_{11B} =$	540	$z =$	0,93	$c_{11B} =$	506,67	$z =$	0,99
$N_{10A} =$	210	$z =$	0,95	$c_{10A} =$	213,33	$z =$	0,94
$N_{12A} =$	210	$z =$	0,95	$c_{12A} =$	213,33	$z =$	0,94
$N_{10B} =$	210	$z =$	0,90	$c_{10B} =$	213,33	$z =$	0,89
$N_{12B} =$	210	$z =$	0,64	$c_{12B} =$	213,33	$z =$	0,63
$N_{11B} =$	540	$z =$	0,93	$c_{11B} =$	506,67	$z =$	0,99
$N_{10B} =$	210	$z =$	0,95	$c_{10B} =$	213,33	$z =$	0,94
$N_{12B} =$	210	$z =$	0,29	$c_{12B} =$	213,33	$z =$	0,28
$N_{11Г} =$	540	$z =$	0,93	$c_{11Г} =$	506,67	$z =$	0,99
$N_{10Г} =$	210	$z =$	0,90	$c_{10Г} =$	213,33	$z =$	0,89
$N_{12Г} =$	210	$z =$	0,48	$c_{12Г} =$	213,33	$z =$	0,47

Тип 2 с установкой светофоров Т.1.л по всем входам А – Г на РП

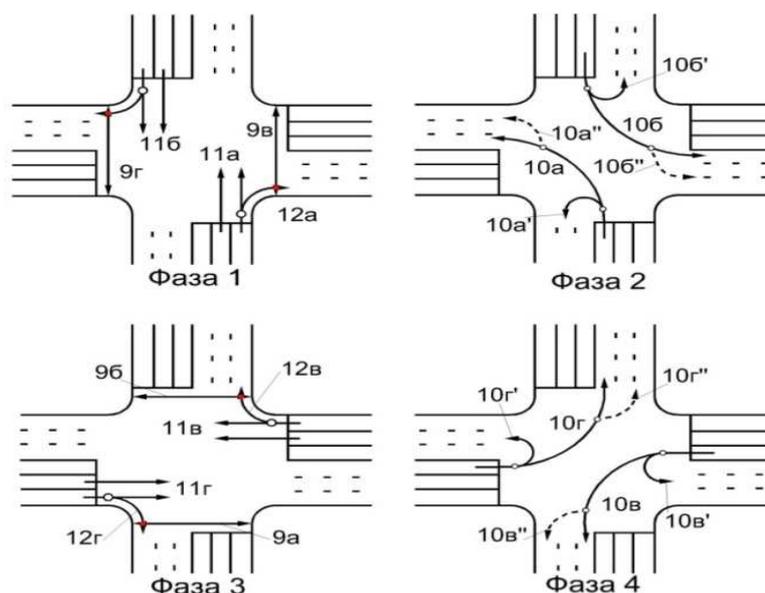


Рис. П.5.16. Четырехфазная управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.л с ДЗ 5.15.2 на всех входах А-Г, с просачиванием ТП через ПП (III метод комбинированного управления: в фазах 1 и 3 – I метод пофазног управления, а в фазах 2 и 4 – II метод управления по отдельным направлениям), при условии – интенсивность всех левоповоротных ТП  $10a - 10г > 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 90$  с, где вариант 1 – нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 2; слияний ● – 0; отклонений ○

– 12; всего 14; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 2; слияния ● – 0; отклонения ○ – 8; всего 10

Такие модели СОД с КЗ решают задачу концепции "нулевой смертности" на РП, если интенсивность транспортных потоков не превышает исходной.

Таблица П.5.56 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	280	10б	270	10в	275	10г	270
11а	700	11б	650	11в	690	11г	700
12а	90	12б	120	12в	90	12г	100

Таблица П.5.57 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	6,1	2,8	3,4	1,4	90	0,43–0,96
2. Нет только разворотов	5,8	2,7	3,1	1,4	90	0,43–0,96

Таблица П.5.58 – Потоки насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{H11,12A} =$	3675,00			$y_{11,12A} =$	0,21
$M_{H11,12B} =$	3675,00			$y_{11,12B} =$	0,21
$M_{H11,12B} =$	3675,00			$y_{11,12B} =$	0,21
$M_{H11,12Г} =$	3675,00			$y_{11,12Г} =$	0,22
$M_{H10A} =$	1733,90			$y_{10A} =$	0,16
$M_{H10B} =$	1733,90			$y_{10B} =$	0,16
$M_{H10B} =$	1733,90			$y_{10B} =$	0,16

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,22 + 0,16 + 0,21 + 0,16 = 0,74$ .

Сумма промежуточных тактов:  $T_{ц} = 12$  с.

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 23 + 3 + 17 + 3 + 22 + 3 + 16 + 3 = 90$  с.

Таблица П.5.59 – Длительности основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	23
$t_{02} =$	17
$t_{03} =$	22
$t_{04} =$	16

Таблица П.5.60 – Пропускная способность РП, ед./ч

Пропускная способность по Фишельсону					Пропускная способность по ОДМ				
						Полосы движения	Пр. части		
$N_{\Pi} =$	420,00	ф1,ф3							
$N_{\Pi} =$	300,00	ф2,ф4							
$N_{11,12A} =$	840,00		$z =$	0,94	$c_{11,12A} =$	408,89	817,78	$z =$	0,97
$N_{11,12B} =$	840,00		$z =$	0,92	$c_{11,12B} =$	408,89	817,78	$z =$	0,94
$N_{11,12B} =$	840,00		$z =$	0,93	$c_{11,12B} =$	391,11	782,22	$z =$	0,89
$N_{11,12Г} =$	840,00		$z =$	0,95	$c_{11,12Г} =$	391,11	782,22	$z =$	0,83
$N_{10A} =$	300,00		$z =$	0,93	$c_{10A} =$	302,22	302,22	$z =$	0,93
$N_{10B} =$	300,00		$z =$	0,90	$c_{10B} =$	284,44	284,44	$z =$	0,95
$N_{10B} =$	280,00		$z =$	0,96	$c_{10B} =$	284,44	284,44	$z =$	0,95
$N_{10Г} =$	280,00		$z =$	0,43	$c_{10Г} =$	284,44	284,44	$z =$	0,95

Попытка увеличить интенсивности ТП в табл.П.5.61 –относительно исходной таблицы П.5.56 –далее дает затор на РП по пропускной способности:

Таблица П.5.61 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	300	10б	310	10в	300	10г	310
11а	800	11б	750	11в	800	11г	750
12а	90	12б	120	12в	90	12г	120

Таблица П.5.62 – Поток насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{H\text{прям}} =$	3675,00				$y_{11,12A} =$	0,24
$M_{H11,12A} =$	3675,00				$y_{11,12B} =$	0,24
$M_{H11,12B} =$	3675,00				$y_{11,12B} =$	0,24
$M_{H11,12B} =$	3675,00				$y_{11,12Г} =$	0,24
$M_{H11,12Г} =$	3675,00				$y_{10A} =$	0,17
$M_{H10A} =$	1733,90				$y_{10B} =$	0,18
$M_{H10B} =$	1733,90				$y_{10B} =$	0,17
$M_{H10B} =$	1733,90				$y_{10Г} =$	0,18
$M_{H10Г} =$	1733,90					

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,84$ .

Таблица П.5.63 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	31
$t_{02} =$	23
$t_{03} =$	31
$t_{04} =$	23

Таблица П.5.64 – Пропускная способность РП, ед./ч

Пропускная способность по Фишельсону				Пропускная способность по ОДМ				
$N_{II} =$	435,00	ф1,ф3			Полосы			
$N_{II} =$	315,00	ф2,ф4			движения			
$N_{11,12A} =$	870,00		$z =$	1,02	$c_{11,12A} =$	413,33	826,67 $z =$	1,08
$N_{11,12B} =$	870,00		$z =$	1,00	$c_{11,12B} =$	413,33	826,67 $z =$	1,05
$N_{11,12B} =$	870,00		$z =$	1,02	$c_{11,12B} =$	413,33	826,67 $z =$	0,97
$N_{11,12Г} =$	870,00		$z =$	1,00	$c_{11,12Г} =$	413,33	826,67 $z =$	0,91
$N_{10A} =$	315,00		$z =$	0,95	$c_{10A} =$	306,67	306,67 $z =$	0,98
$N_{10B} =$	315,00		$z =$	0,98	$c_{10B} =$	306,67	306,67 $z =$	1,01
$N_{10B} =$	315,00		$z =$	0,98	$c_{10B} =$	306,67	306,67 $z =$	1,01
$N_{10Г} =$	315,00		$z =$	0,38	$c_{10Г} =$	306,67	306,67 $z =$	1,01

Значения пропускной способности ( $\geq 1$ ) в таблице П.5.64 дают затор на РП.

### П.5.6 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых комбинированным методом трехполосных X-образных РП при разных светофорах в комбинаторных видах отсечки ТП

Отсечка вида 1 по входу А в квазифазе 2 при светофорах на входах А, Б и В, Г – Т.1.пл и – Т.1

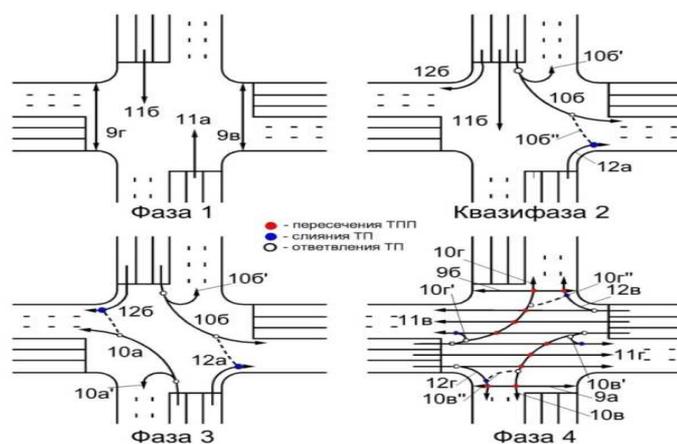


Рисунок П.5.17 – Четырехфазная, комбинированно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных X-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл и Т.1 с ДЗ 5.15.2 на входах А,Б и В,Г соответственно, с организацией отсечки ТП 11а по входу А в квазифазе 2 (III метод комбинированного управления: в фазах 1,3 и квазифазе 2 – II метод управления по отдельным направлениям, а в фазе 3 – I метод пофазного управления), при условии – интенсивность

левоповоротных ТП 10а,10б >120 ед./ч, 11б > 11а (на 25 %), а 10в,10г ≤ 120 ед./ч,  $T_{ц} = 120$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 10; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 24; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы или запрещены), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.5.65 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	400	10б	190	10в	120	10г	120
11а	700	11б	800	11в	540	11г	400
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.5.66 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	12,3	4,9	6,8	3,2	120	0,32–0,95
2. Нет только разворотов	11,9	4,7	6,5	3,2	120	0,32–0,95
3. Нет только ПП	8,0	3,4	5,1	0,2	120	0,32–0,95

Таблица П.5.67 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	52
$t_{02} =$	8
$t_{03} =$	30
$t_{04} =$	21

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 52 + 8 + 3 + 30 + 3 + 21 + 3 = 120$  с.

Таблица П.5.68 – Пропускная способность РП по Фишельсону

Пропускная способность, ед./ч		Уровень загрузки	
$N_{п} =$	285		
$N_{в} =$	923,4	$z =$	0,78
$N_{г} =$	912	$z =$	0,68
$N_{11а} =$	750	$z =$	0,93
$N_{11б} =$	870	$z =$	0,92
$N_{10а} =$	420	$z =$	0,95
$N_{12а} =$	540	$z =$	0,61
$N_{10б} =$	420	$z =$	0,45
$N_{12б} =$	420	$z =$	0,32

Таблица П.5.69 – Пропускная способность РП по ОДМ

Полосы движения, ед./ч		Презжей части, ед./ч	Уровень загрузки	
$c_B =$	280	840	$z =$	0,86
$c_\Gamma =$	280	840	$z =$	0,74
$c_{11A} =$	693,33	693,33	$z =$	1,01
$c_{11B} =$	693,33	693,33	$z =$	1,15
$c_{10A} =$	400,00	400,00	$z =$	1,00
$c_{12A} =$	506,67	506,67	$z =$	0,65
$c_{10B} =$	506,67	506,67	$z =$	0,38
$c_{12B} =$	506,67	506,67	$z =$	0,27

Отсечка 2 по входу Б в квазифазе 2 при светофорах на входах А, Б и В, Г –

Т.1. пл и – Т.1

Модель СОД с КЗ при отсечки 2 с ее рисунком и расчеты для ее таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП не несут новой информации относительно отсечки 1, поэтому не приводятся.

Отсечка 3 по входу В в квазифазе 2 при светофорах на входах В, Г и А, Б –

Т.1. пл и – Т.1

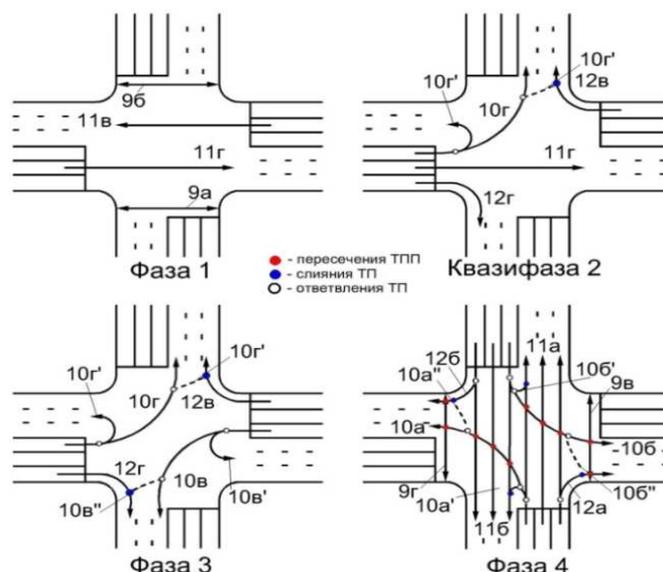


Рисунок П.5.18 – Четырехфазная, комбинированно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл и Т.1 с ДЗ 5.15.2 на входах В,Г и А,Б с организацией отсечки ТП 11в по входу В в квазифазе 2 (III метод комбинированного управления: в фазах 1,3 и квазифазе 2 – II метод управления по отдельным направлениям, а в фазе 3 – I

метод пофазного управления), при условии – интенсивность левоповоротных ТП  $10в, 10г > 120$  ед./ч,  $11г > 11в$  (на 13 %), а  $10а, 10б \leq 120$  ед./ч,  $T_{ц} = 120$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 10; слияний ● – 6; отклонений ○ – 12; всего 28; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 10; слияния ● – 4; отклонения ○ – 10; всего 24; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы или запрещены), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 6; отклонения ○ – 12; всего 24

Таблица П.5.70 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	400	10г	190
11а	700	11б	800	11в	400	11г	540
12а	330	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.5.71 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	12,3	4,9	6,8	3,2	120	0,45–0,95
2. Нет только разворотов	11,9	4,7	6,5	3,2	120	0,45–0,95
3. Нет только ПП	8,0	3,4	5,1	0,2	120	0,45–0,95

Таблица П.5.72 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	52
$t_{02} =$	8
$t_{03} =$	30
$t_{04} =$	21

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 52 + 8 + 3 + 30 + 3 + 21 + 3 = 120$  с.

Таблица П.5.73 – Пропускная способность РП по Фишельсону

Пропускная способность, ед./ч		Уровень загрузки	
$N_{П} =$	285		
$N_{В} =$	923,4	$z =$	0,78
$N_{Г} =$	912	$z =$	0,68
$N_{11А} =$	750	$z =$	0,93
$N_{11Б} =$	870	$z =$	0,92
$N_{10А} =$	420	$z =$	0,95
$N_{12А} =$	540	$z =$	0,61
$N_{10Б} =$	420	$z =$	0,45
$N_{12Б} =$	420	$z =$	0,32

Таблица П.5.74 – Пропускная способность РПпо ОДМ

Полосы движения, ед./ч		Проезжей части, ед./ч		Уровень загрузки	
$c_B =$	280	840	$z =$	0,86	
$c_\Gamma =$	280	840	$z =$	0,74	
$c_{11A} =$	693,33	693,33	$z =$	1,01	
$c_{11B} =$	693,33	693,33	$z =$	1,15	
$c_{10A} =$	400,00	400,00	$z =$	1,00	
$c_{12A} =$	506,67	506,67	$z =$	0,65	
$c_{10B} =$	506,67	506,67	$z =$	0,38	
$c_{12B} =$	506,67	506,67	$z =$	0,27	

Отсечка 4 по входу  $\Gamma$  в квазифазе 2 при светофорах на входах  $B$ ,  $\Gamma$  и  $A$ ,  $B$  –

*Т.1. пл и – Т.1*

Модель СОД с КЗ при отсечке 4 с ее рисунком и расчеты для таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП не несут новой информации относительно отсечки 3, поэтому не приводятся.

### П.5.7 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП с типовым светофором Т.1 в комбинаторных отсечках ТП

Отсечка 1 в квазифазах 2 и 4 по входам  $B$  и  $B$  при светофорах Т.1

*без просачивания ТП через ПП*

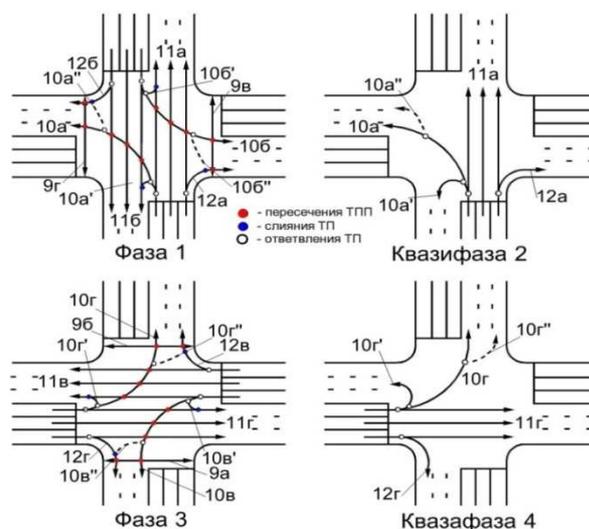


Рисунок П.5.19 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП (11б и 11в) в квазифазах 2 и 4 по входам  $B$  и  $B$  без просачивания ТП через ПП (I метод пофазного управления), когда для ПП 9в, 9г и 9а, 9б достаточны длительности раз-

решающих сигналов фаз 1 и 3, интенсивности ТП  $11a > 11б$  и  $11г > 11в$  (на 25 % и 15 %) больше,  $T_{ц} = 64$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.75 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	120	10г	120
11а	540	11б	400	11в	850	11г	1000
12а	60	12б	100	12в	135	12г	135

Таблица П.5.76 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	25,3	7,4	10,3	3,9	64	0,5
2. Нет только разворотов	24,5	7,1	9,0	3,7	64	0,5
3. Нет только ПП	15,6	4,9	7,8	0,6	64	0,5

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 21 + 7 + 4 + 21 + 7 + 4 = 64$  с.

*Отсечка 2 в квазифазах 2 и 4 по входам Б и В при светофорах Т.1 с просачиванием ТП через ПП*

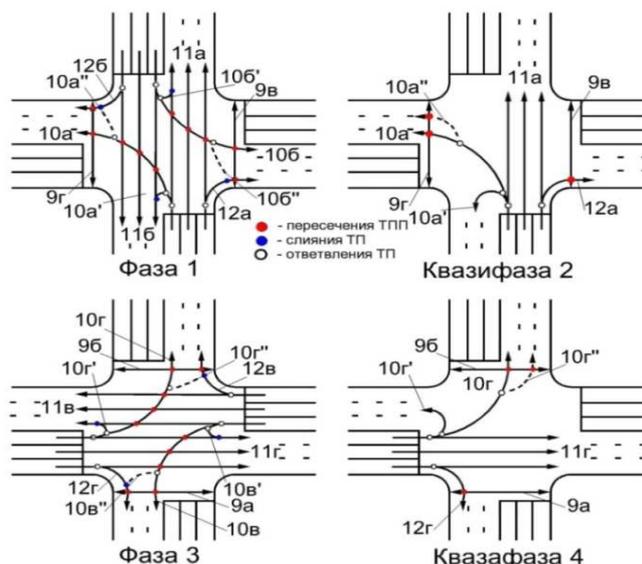


Рисунок П.5.20 – Четырехфазно управляемая модель СОД с КЗ трехполосных РП с транспортными светофорами Т.1, организацией отсечки ТП (11б и 11в) в

квазифазах 2 и 4 по входам Б и В с просачивания ТП через ПП (I метод пофазного управления), когда для ПП 9в,9г и 9а,9б недостаточны длительности разрешающих сигналов фаз 1 и 3, интенсивности ТП  $11а > 11б$  и  $11г > 11в$  (на 25 % и 15 %) больше,  $T_{ц} = 64$  с, где вариант 1 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 20; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 44; вариант 2, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 36; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 8; отклонения ○ – 16; всего 36

Таблица П.5.77 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	120	10г	120
11а	540	11б	400	11в	850	11г	1000
12а	60	12б	100	12в	135	12г	135

Таблица П.5.78 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	25,2	8,2	11,2	3,9	64	0,5
2. Нет только разворотов	24,5	8,0	9,9	3,7	64	0,5
3. Нет только ПП	15,6	5,0	7,8	0,5	64	0,5

Структура светофорного цикла:  $T_{ц} = 21 + 7 + 4 + 21 + 7 + 4 = 64$  с.

\* Остальные комбинаторные виды отсечек 3–8, полученные с помощью комбинаторной математики, дают соответствующие модели СОД с КЗ. Их рисунки, а также таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП не несут новой информации относительно полученных данных для видов отсечек 1,2 и поэтому не приводятся.

### П.5.8 Оценка УТБД и ПС четырехфазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофором Т.1 при отсечках ТП и отдельной фазой для ПП

*Отсечка 1 в квазифазе 2 по входу Б при светофорах Т.1 без просачивания ТП через ПП*

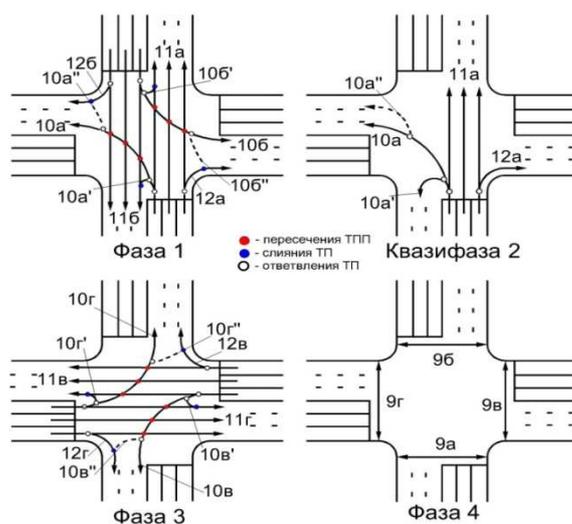


Рисунок П.5.21 – Четырехфазная управляемая модель СОД с КЗ трехполосного РП с организацией отдельной пешеходной фазы 4, с транспортными светофорами Т.1 и отсечкой ТП (11б) в квазифазе 2 по входу Б без просачивания ТП через ПП (I метод пофазного управления – при отдельной фазе для ПП), когда пешеходным потокам 9а–9г требуется отдельная пешеходная фаза 4, интенсивности ТП 11а > 11б (на 24 %) больше,  $T_{ц} = 76$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 36; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 28

Таблица П.5.79 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	100	10в	100	10г	100
11а	1130	11б	850	11в	400	11г	540
12а	350	12б	135	12в	60	12г	100

Таблица П.5.80 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Ппmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	15,6	5,4	8,5	0,6	76	0,59–0,79

Таблица П.5.81 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	20
$t_{02} =$	7
$t_{03} =$	16
$t_{04} =$	21



рами Т.1 и отсечкой ТП (11в) в квазифазе 4 по входу В без просачивания ТП через ПП, (I метод пофазного управления – при отдельной фазе для ПП) когда пешеходным потокам 9а–9г требуется отдельная пешеходная фаза 4, интенсивности ТП  $11г > 11в$  (на 25%) больше,  $T_{ц} = 20 + 4 + 16 + 4 + 21 + 7 + 4 = 76$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 36; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 28

Исходные данные интенсивности движения ТП и расчетные данные идентичны для модели СОД с КЗ рисунка П.5.21, поэтому не приводятся.

*Отсечка 4 в квазифазе 4 по входу Г при светофорах Т.1 без просачивания ТП через ПП*

Модель СОД с КЗ при отсечке 4 с ее рисунком, а также таблица конфликтных загрузок и пропускной способности РП не несут новой информации относительно отсечки 3, поэтому также не приводятся.

### П.5.9 Оценка УТБД и ПС пятифазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофором Т.1.пл при отсечках ТП

*Отсечка 1 в квазифазе 2 по входу Б при светофорах Т.1. пл без просачивания ТП через ПП*

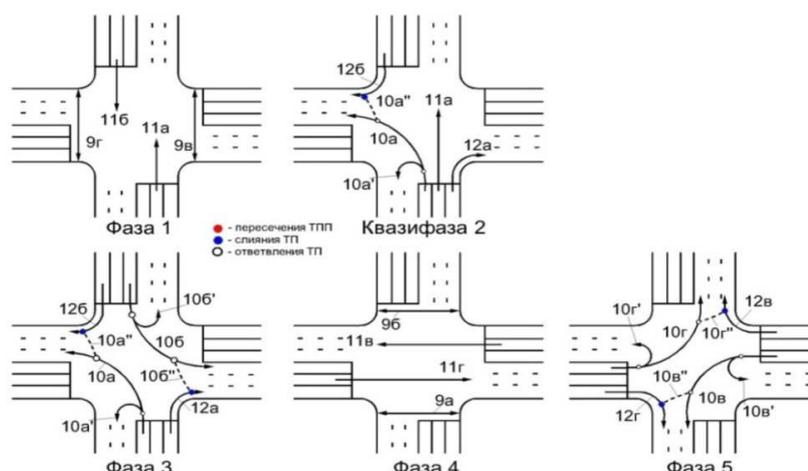


Рисунок П.5.23 – Пятифазно управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофо-

ры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А–Г и отсечку ТП (11б) в квазифазе 2 по входу Б (II метод управления по отдельным направлениям – при комбинаторных видах отсечки ТП), при условии: – интенсивность ТП  $11a > 11б$  (на 10%), а у всех левоповоротных ТП  $10a - 10г > 120$  ед./ч, временной интервал необходимый для движения ПП  $9в, 9г$  и  $9а, 9б$  не превышает длительности фаз 1 и 4,  $T_{ц} = 123$  с, где вариант 1 – во всех фазах нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, возможные конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

Такие СОД с КЗ решают задачу концепции «нулевой смертности на РП».

Таблица П.5.84 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	200	10в	200	10г	200
11а	550	11б	500	11в	500	11г	500
12а	180	12б	180	12в	180	12г	180

Таблица П.5.85 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{цел}$	$R_{пл}$	$R_{плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	1,9	1,4	2,4	0,1	123	0,89–0,99

Таблица П.5.86 – Потоки насыщения, ед./ч      Фазовые коэффициенты

$M_{H11A} =$	1837,50			$y_{11A} =$	0,30
$M_{H11B} =$	1837,50			$y_{11B} =$	0,27
$M_{H11B} =$	1837,50			$y_{11B} =$	0,27
$M_{H11Г} =$	1837,50			$y_{11Г} =$	0,27
$M_{H12A} =$	1837,50			$y_{12A} =$	0,10
$M_{H12B} =$	1837,50			$y_{12B} =$	0,10
$M_{H12B} =$	1837,50			$y_{12B} =$	0,10
$M_{H12Г} =$	1837,50			$y_{12Г} =$	0,10
$M_{H10A} =$	1733,90			$y_{10A} =$	0,12
$M_{H10B} =$	1733,90			$y_{10B} =$	0,12
$M_{H10B} =$	1733,90			$y_{10B} =$	0,12
$M_{H10Г} =$	1733,90			$y_{10Г} =$	0,12

Сумма фазовых коэффициентов:  $Y = 0,80$ .

Таблица П.5.87 – Длительности разрешающих сигналов для каждого направления движения, с

$t_{011A} =$	40,30
$t_{011B} =$	36,64
$t_{011B} =$	36,64
$t_{011Г} =$	36,64
$t_{012A} =$	13,19
$t_{012B} =$	13,19
$t_{012B} =$	13,19
$t_{012Г} =$	13,19
$t_{010A} =$	15,53
$t_{010B} =$	15,53
$t_{010B} =$	15,53
$t_{010Г} =$	15,53

Сумма промежуточных тактов:  $T_{\Pi} = 12$  с.

Таблица П.5.88 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	37,00
$t_{02} =$	4,00
$t_{03} =$	15,00
$t_{04} =$	37,00
$t_{05} =$	15,00

Структура светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 37 + 7 + 3 + 15 + 3 + 37 + 3 + 15 + 3 = 123 \text{ с.}$$

Таблица П.5.89 – Пропускная способность РП

Вариант №1				Вариант №2			
$N_{11A} =$	574,52	$z =$	0,96	$c_{11A} =$	537,35	$z =$	1,02
$N_{11B} =$	519,56	$z =$	0,96	$c_{11B} =$	488,50	$z =$	1,02
$N_{11B} =$	519,56	$z =$	0,96	$c_{11B} =$	488,50	$z =$	1,02
$N_{11Г} =$	519,56	$z =$	0,96	$c_{11Г} =$	488,50	$z =$	1,02
$N_{12A} =$	202,96	$z =$	0,89	$c_{12A} =$	207,08	$z =$	0,87
$N_{12B} =$	202,96	$z =$	0,89	$c_{12B} =$	207,08	$z =$	0,87
$N_{12B} =$	202,96	$z =$	0,89	$c_{12B} =$	207,08	$z =$	0,87
$N_{12Г} =$	202,96	$z =$	0,89	$c_{12Г} =$	207,08	$z =$	0,87
$N_{10A} =$	202,96	$z =$	0,99	$c_{10A} =$	207,08	$z =$	0,97
$N_{10B} =$	202,96	$z =$	0,99	$c_{10B} =$	207,08	$z =$	0,97
$N_{10B} =$	202,96	$z =$	0,99	$c_{10B} =$	207,08	$z =$	0,97
$N_{10Г} =$	202,96	$z =$	0,99	$c_{10Г} =$	207,08	$z =$	0,97

*Отсечка 2 в квазифазе 2 по входу А при светофорах Т.1. пл без просачивания  
ТII через III*

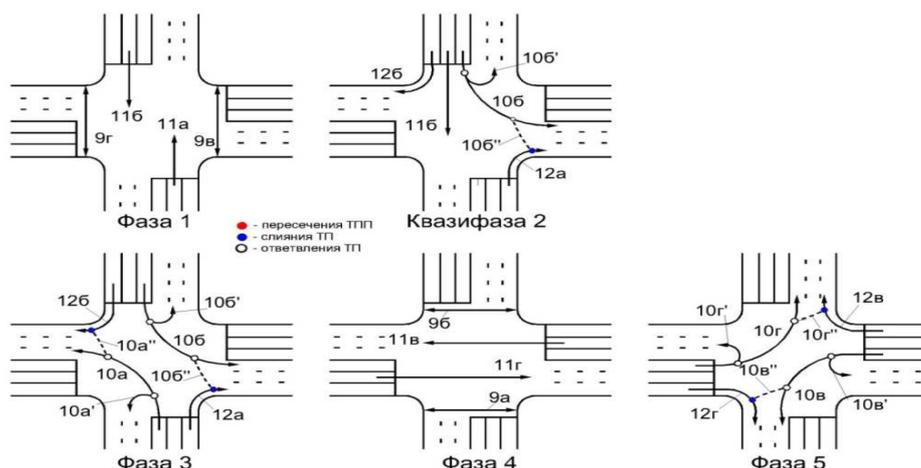


Рисунок П.5.24 – Пятифазно управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А-Г и отсечку ТП (11а) в квазифазе 2 по входу А (II метод управления по отдельным направлениям – при комбинаторных видах отсечки ТП), при условии: – интенсивность ТП  $11в > 11г$  (на 10 %), а у всех левоповоротных ТП  $10а-10г > 120$  ед./ч, временной интервал необходимый для движения ПП  $9в, 9г$  и  $9а, 9б$  не превышает длительности фаз 1 и 4,  $T_{ц} = 123$  с, где вариант 1 – во всех фазах нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, возможные конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

Такие СОД с КЗ решают задачу концепции «нулевой смертности на РП».

Таблица П.5.90 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	1,9	1,4	2,4	0,1	123	0,89–0,99

Все расчетные параметры аналогичны СОД с КЗ по рисунку П.5.23.

*Отсечка 3 в квазифазе 2 по входу Г при светофорах Т.1.пл без просачивания ТП через ПП*

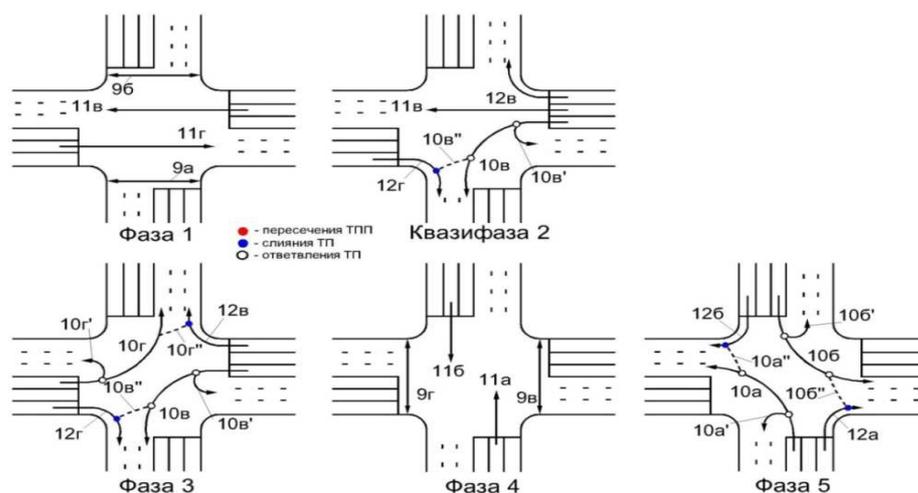


Рисунок П.5.25 – Пятифазно управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А–Г и отсечку ТП (11г) в квазифазе 2 по входу Г (II метод управления по отдельным направлениям – при комбинаторных видах отсечки ТП), при условии: – интенсивность ТП 11в > 11г (на 10 %), а у всех левоповоротных ТП 10а–10г > 120 ед./ч, временной интервал необходимый для движения ПП 9в, 9г и 9а, 9б не превышает длительности фаз 1 и 4,  $T_{ц} = 123$  с, где вариант 1 – во всех фазах нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, возможные конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

Такие СОД с КЗ решают задачу концепции «нулевой смертности» на РП.

Таблица П.5.91 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{цел}$	$R_{пл}$	$R_{плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	1,9	1,4	2,4	0,1	123	0,89–0,99

Все расчетные параметры аналогичны модели СОД с КЗ рисунка П.5.23.

*Отсечка 4 в квазифазе 2 по входу А при светофорах Т.1.пл без просачивания ТП через ПП*

Модель СОД с КЗ с рисунком при отсечке 4, а также расчеты для ее таблицы конфликтных загрузок и пропускной способности РП не несут новой информации относительно отсечки 3, поэтому не приводятся.

**П.5.10 Оценка УТБД и ПС пятифазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофором Т.1 при отсечках ТП и отдельной фазой для**

**ПП**

*Отсечка 1 в квазифазах 2 и 4 по входам Б и Г при светофорах Т.1*

*без просачивания ТП через ПП*

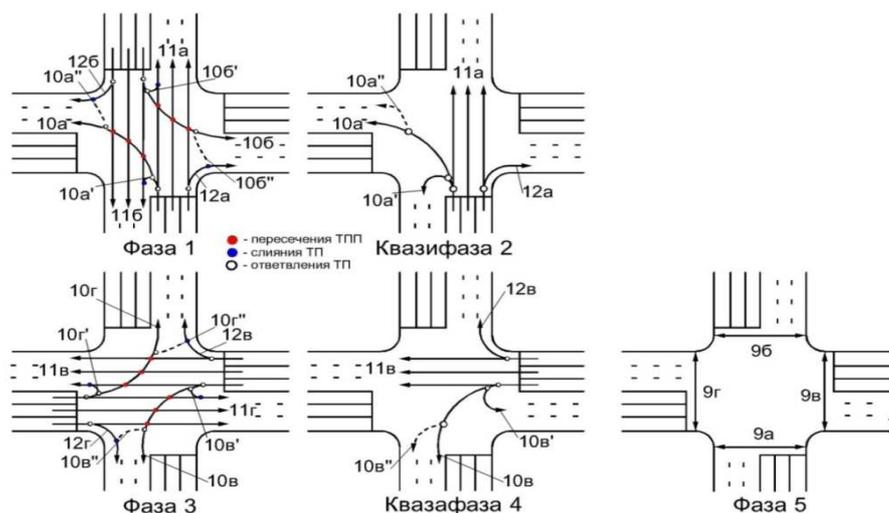


Рисунок П.5.26 – Пятифазная управляемая модель СОД с КЗ трехполосного РП с организацией отдельной пешеходной фазы 5, с транспортными светофорами Т.1 по всем входам А-Г и отсечкой ТП (11б и 11г) в квазифазах 2 и 4 по входам Б и Г (I метод пофазного управления – при отдельной фазе для ПП и отсечках ТП), когда пешеходным потокам 9а – 9г требуется отдельная пешеходная фаза 5, интенсивности ТП  $11a > 11б$  и  $11в > 11г$  (на 25 % и 15 %) больше,  $T_{ц} = 80$  с, где вариант 5 – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 12; слияний ● – 8; отклонений ○ – 16; всего 36; вариант 6, если разворот запрещен, конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 4; отклонения ○ – 12; всего 28

Таблица П.5.92 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

	А		Б		В		Г	
10а	120	10б	120	10в	200	10г	120	
11а	540	11б	400	11в	1000	11г	850	
12а	60	12б	100	12в	135	12г	135	

Таблица П.5.93 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на ОРП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
5. Все маневры разрешены при отдельной фазе для ПП	15,6	5,0	7,8	0,6	80	0,59–0,79

*Расчет режима светофорного регулирования*

Таблица П.5.94 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	15
$t_{02} =$	7
$t_{03} =$	21
$t_{04} =$	7
$t_{05} =$	21

Структура светофорного цикла:

$$T_{\text{ц}} = 15 + 7 + 3 + 21 + 7 + 3 + 21 + 3 = 80 \text{ с}$$

\* Остальные возможные виды отсечек 2 – 4, полученные с помощью комбинаторной математики, дают соответствующие модели СОД с КЗ, с их соответствующими рисунками, с таблицами конфликтных загрузок и пропускной способности РП, которые не приводятся, т. к. не несут существенно-новой информации, относительно полученных данных для отсечки вида 1.

### П.5.11 Оценка УТБД и ПС шестифазно управляемых трехполосных Х-образных РП со светофорами Т.1.пл при отсечках ТП

*Отсечка 1 в квазифазах 2 и 5 по входам Б и Г при светофорах Т.1.пл без просачивания ТП через ПП*

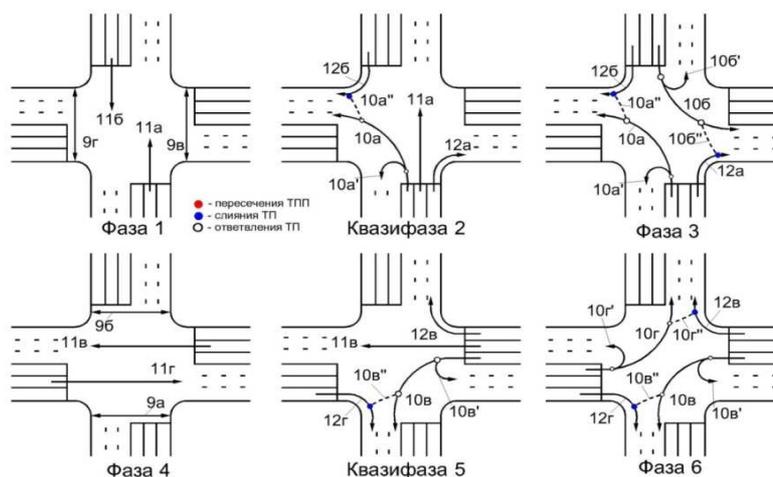


Рисунок П.5.27 – Шестифазная управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А-Г с отсечкой ТП (11б и 11г) в квазифазах 2 и 5 по входам Б и Г (II метод управления по отдельным направле-

ниям – при комбинаторных видах отсечки ТП), при условии: – интенсивность ТП  $11a > 11б$  и  $11в > 11г$  (на 23 % и – 16 %), а у всех левоповоротных ТП  $10a – 10г > 120$  ед./ч, временной интервал необходимый для движения ПП 9а–9г не превышает длительности фаз 1 и 4,  $T_{ц} = 135$  с, где вариант 1 – во всех фазах нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, возможные конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

Такие модели СОД с КЗ (рисунками П.5.27–П.5.30) решают задачу концепции «нулевой смертности на РП, однако, из-за превышения времени «терпеливого ожидания» (120 с) для водителей (на 15 с) к практическому применению они не рекомендуются.

Таблица П.5.95 – Исходные данные интенсивности движения ТП, ед./ч

А		Б		В		Г	
10а	200	10б	200	10в	200	10г	200
11а	650	11б	500	11в	600	11г	500
12а	180	12б	180	12в	180	12г	180

Таблица П.5.96 – Конфликтные загрузки и пропускная способность РП

Маневры на РП	$R_{Шел}$	$R_{Пл}$	$R_{Плmax}$	$K_a$	$T_{ц}$	$z$
1. Все маневры разрешены	1,9	1,4	2,4	0,1	135	0,57–0,96

### *Расчет режима регулирования*

Таблица П.5.97 – Длительность основных разрешающих сигналов, с

$t_{01} =$	40,00
$t_{02} =$	7,00
$t_{03} =$	16,00
$t_{04} =$	37,00
$t_{05} =$	7,00
$t_{06} =$	16,00

Сумма промежуточных тактов:  $T_{п} = 12$  с.

Длительность цикла регулирования:  $T_{ц} = 135$  с.

Таблица П.5.98 – Пропускная способность РП

Вариант № 1				Вариант № 2				
	Полосы				Полосы			
$N_{11A} =$	675,00	$z =$	0,96	$c_{11A} =$	557,1	557,04	$z =$	1,17
$N_{11B} =$	570,00	$z =$	0,88	$c_{11B} =$	474,1	474,07	$z =$	1,05
$N_{11B} =$	675,00	$z =$	0,89	$c_{11B} =$	521,5	521,48	$z =$	1,15
$N_{11Г} =$	525,00	$z =$	0,95	$c_{11Г} =$	536,0	535,98	$z =$	0,93
$N_{12A} =$	315,00	$z =$	0,57	$c_{12A} =$	272,6	272,59	$z =$	0,66
$N_{12Б} =$	315,00	$z =$	0,57	$c_{12Б} =$	272,6	272,59	$z =$	0,66
$N_{12B} =$	315,00	$z =$	0,57	$c_{12B} =$	272,6	272,59	$z =$	0,66
$N_{12Г} =$	315,00	$z =$	0,57	$c_{12Г} =$	272,6	272,59	$z =$	0,66
$N_{10A} =$	315,00	$z =$	0,63	$c_{10A} =$	272,6	272,59	$z =$	0,73
$N_{10Б} =$	210,00	$z =$	0,95	$c_{10Б} =$	189,6	189,63	$z =$	1,05
$N_{10B} =$	315,00	$z =$	0,63	$c_{10B} =$	272,6	272,59	$z =$	0,73
$N_{10Г} =$	210,00	$z =$	0,95	$c_{10Г} =$	189,6	189,63	$z =$	1,05

*Отсечка 2 в квазифазах 2 и 5 по входам Б и В при светофорах Т.1.пл без просачивания ТП через ПП*

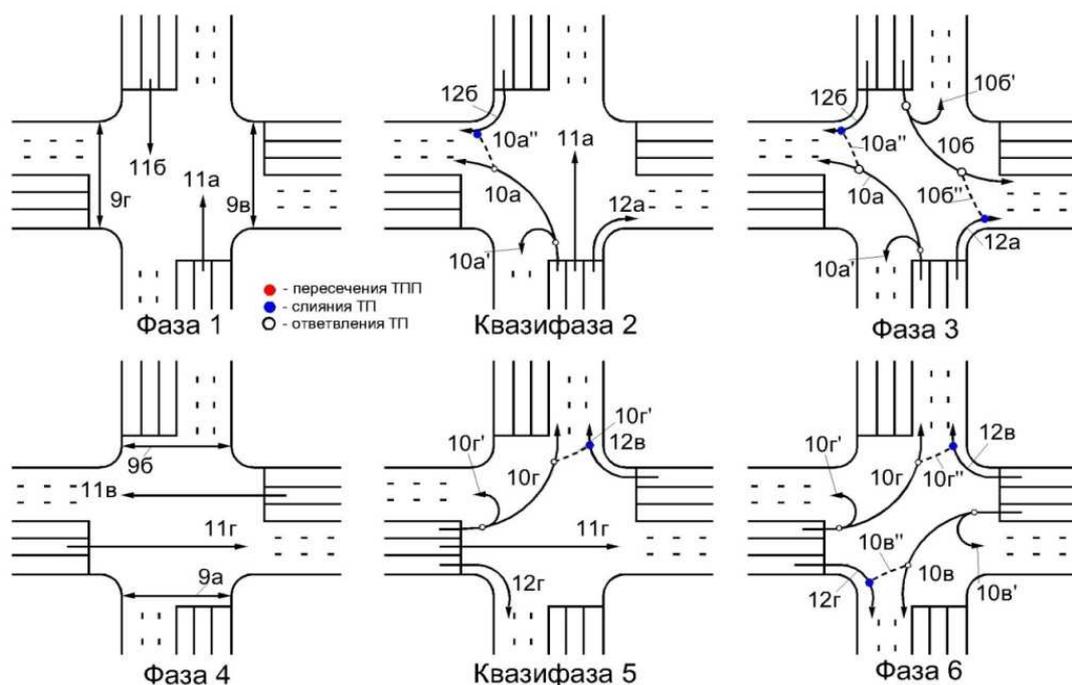


Рисунок П.5.28 – Шестифазная управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А-Г с отсечкой ТП (11б и 11в) в квазифазах 2 и 5 по входам Б и В (II метод управления по отдельным направлениям – при комбинаторных видах отсечки ТП), при условии: – интенсивность ТП  $11a > 11б$  и  $11г > 11в$  (на 23 % и – 16 %), а у всех левоповоротных ТП  $10a$  –

$10г > 120$  ед./ч, временной интервал необходимый для движения ПП 9а–9г не превышает длительности фаз 1 и 4,  $T_{ц} = 135$  с, где вариант 1 – во всех фазах нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, возможные конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

*Отсечка 3 в квазифазах 2 и 5 по входам А и В при светофорах Т.1.пл без просачивания ТП через ПП*

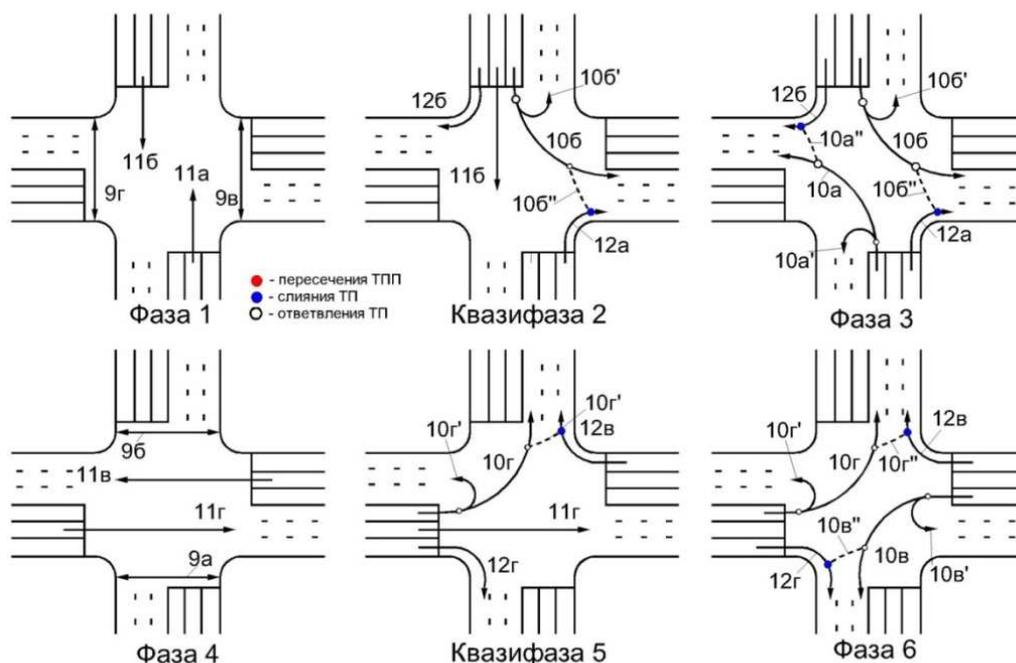


Рисунок П.5.29 – Шестифазная управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А–Г с отсечкой ТП (11а и 11в) в квазифазах 2 и 5 по входам А и В (II метод управления по отдельным направлениям – при комбинаторных видах отсечки ТП), при условии: – интенсивность ТП 11а > 11б и 11г > 11в (на 23 % и – 16 %), а у всех левоповоротных ТП 10а –  $10г > 120$  ед./ч, временной интервал необходимый для движения ПП 9а–9г не превышает длительности фаз 1 и 4,  $T_{ц} = 135$  с, где вариант –1: – во всех фазах нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, возможные конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

Отсечка 4 в квазифазах 2 и 5 по входам А и Г при светофорах Т.1.пл  
без просачивания ТП через ПП

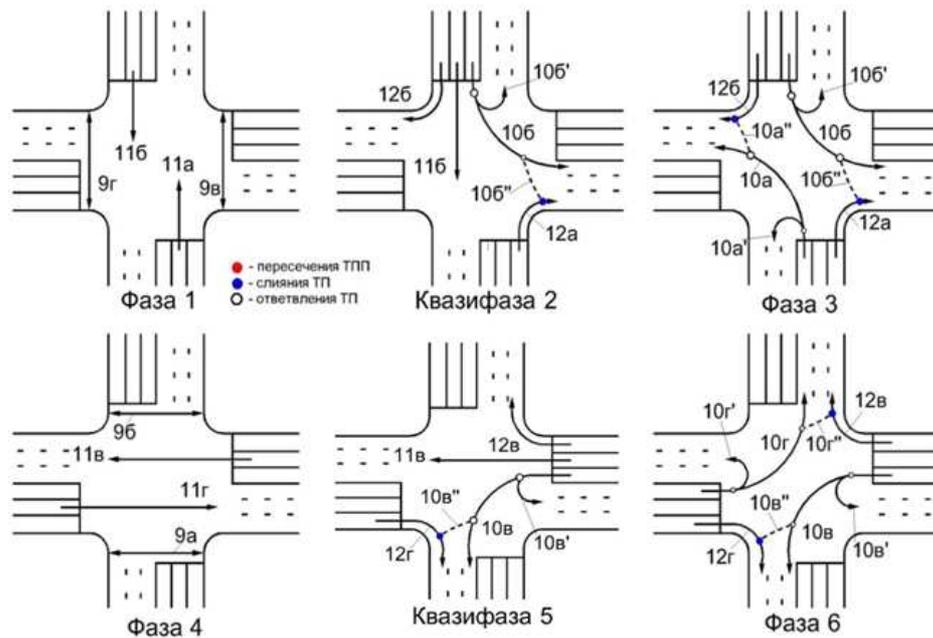


Рисунок П.5.30 – Шестифазная управляемая по отдельным направлениям модель СОД с КЗ трехполосных Х-образных РП, применяемая транспортные светофоры типа Т.1.пл с ДЗ 5.15.2 на всех входах А-Г с отсечкой ТП (11а и 11г) в квазифазах 2 и 5 по входам А и Г (II метод управления по отдельным направлениям – при комбинаторных видах отсечки ТП), при условии: – интенсивность ТП  $11а > 11б$  и  $11в > 11г$  (на 23 % и – 16 %), а у всех левоповоротных ТП  $10а – 10г > 120$  ед./ч, временной интервал необходимый для движения ПП 9а–9г не превышает длительности фаз 1 и 4,  $T_{ц} = 135$  с, где вариант 1 – во всех фазах нет «просачивания» транспортных потоков между собой и с пешеходными потоками, возможные конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 0; слияний ● – 4; отклонений ○ – 8; всего 12

**П.5.12 Функциональные зависимости оценок УТБД и циклов светофорного управления от числа КТ в трехполосных Х-образных РП по их моделям СОД с КЗ**

По таблицам конфликтных загрузок и пропускной способности трехполосных Х-образных РП с применением компьютерной графикой построены функ-

циональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения (БД)  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  и цикла светофорного управления ( $T_{ц}$ ) для транспортно-пешеходных потоков. Они представлены на рисунке П.5.31 в виде функциональных зависимостей (номограммы) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плmax}$  и цикла светофорного управления ( $T_{ц} = \text{var}$  от 135–50 с) для транспортно-пешеходных потоков в трехполосных Х-образных ОРП от числа конфликтных точек (12–44 шт.) при различных методах управления в моделях СОД с КЗ.

Анализ трех методов оценки безопасности дорожного движения (рисунок П.5.31), рассчитанных при одинаковых исходных данных и в приложении к классификации моделей СОД с КЗ (рисунок 3.1) позволяют заключить:

1. По показателю оценки опасности пересечения  $K_a$  для всех рассмотренных моделей СОД с КЗ (разделы П.5.1–П.5.11) решены задачи 2), 3), 6), 18), 12)–15), 17), 21). Они обеспечивают соответственно набор из ПрУТБД и ПУТБД (промежуточного и повышенного уровней требований к безопасности движения) с охватом **I**, **II**, **III** методов светофорного управления по классификации моделей СОД с КЗ согласно рисунка 3.1. Модели СОД с КЗ при ПУТБД в задачах 3), 6), 18) не должны допускать маневры с конфликтными точками (КТ) на пересечение в виде "просачивания" транспортных потоков (ТП), как с другими ТП, так и пешеходными потоками (ПП). Однако, при решении задач 3), 6) в моделях СОД с КЗ в разделах П.5.4 и П.5.8 имеют место КТ между ТП и ПП, где их не должно быть. Конфликтные точки имеются и при решении задачи 18) в разделе 5.2. Следовательно, при решении трех задач 3), 6), 18) с ПУТБД по моделям СОД с КЗ для рисунков П.5.2, П.5.14 и П.5.21, П.5.22 метод оценки через  $K_a$  не отражает реальную действительность по опасности пересечений на РП.

2. По показателю оценки уровня конфликтной загрузки  $R_{Шел}$  трехполосных Х-образных РП, решены задачи 6) ПУТБД только в рисунках П.5.15, П.5.23–П.5.25 и П.5.27 с методом **II** управления движением по отдельным на-

правлениям, когда конфликтные точки отсутствуют. В остальных же рисунках в разделах П.5.1–П.5.10, исключая перечисленные рисунки выше, решены задачи с НУТБД (>12 ед.). Это демонстрирует, что получен недопустимый уровень требований к безопасности движения с **IV** методом управления без светофорного управления (аварийный режим). Оценка конфликтной загрузки через  $R_{\text{Шел}}$  для класса трехполосных X-образных РП дает уровень безопасности движения (БД) –запрещающий эксплуатацию светофорных объектов. Следовательно, оценка  $R_{\text{Шел}}$  не отражает действительность по безопасности дорожного движения для широкого класса регулируемых пересечений управляемых светофорами.

3. Третий метод оценки уровней конфликтной загрузки (КЗ) регулируемых пересечений (перекрестков), используемый в разделах П.5.1–П.5.11, способен решать задачи в двух видах: – диагностической (аудиторской) оценки безопасности движения  $R_{\text{Глmax}}$  и уточненной оценки уровня безопасности движения  $R_{\text{Гл}}$ . По уточненной оценке БД –  $R_{\text{Гл}}$  – в классификационных задачах 1), 12)–15), 17), 21), 2), 6), 3) получены для РП разные уровни требований к безопасности движения ДУТБД, ПрУТБД и ПУТБД при различных методах управления **I**, **II**, **III** в СОД с КЗ. По оценке через  $R_{\text{Глmax}}$  – того же перечня задач получен аналогичный результат с некоторым превышением в численных значениях. В моделях СОД с КЗ раздела П.5.1 через  $R_{\text{Глmax}}$  – решена задача НУТБД с уровнем требований к БД, который превышает граничное значение норматива 12 ед.

Решенные задачи в других разделах отражают классификационные требования, например, к задачам 3), 6), 18) с повышенным уровнем требований к безопасности движения (ПУТБД). При оценке БД через  $R_{\text{Гл}}$ , упомянутые задачи дают результат для перехода в смежный класс с большим уровнем конфликтной загрузки, т.е. с промежуточным уровнем требований к безопасности движения (ПрУТБД). Это не противоречит физическому смыслу числового предела (интервала границ) оценки БД светофорного управления на РП по оценке  $R_{\text{Глmax}}$ .

Наилучший диапазон пропускной способности Х-образных регулируемых пересечений на улично-дорожных сетях (УДС) с изменением цикла светофорного управления ( $T_{\text{ц}} = 50\text{--}100$  с) обеспечивается для ПрУТБД. При этом оценка БД составляет 3–10 ед., что соответствует допустимым интервалам их значений для практики эксплуатации РП по классификации моделей СОД с КЗ рисунок 3.1.

Обобщенные функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{\text{Шел}}$ ,  $R_{\text{Пл}}$ ,  $R_{\text{Плmax}}$  и цикла светофорного управления ( $120 \text{ с} \geq T_{\text{ц}} > 50 \text{ с}$ ) от числа КТ в разнообразных по полосности Х- и Т- образных РП при различных методах управления ТПП в их моделях СОД с КЗ представлены на рисунке П,5.32.

В современных условиях транспортной инфраструктуры эти обобщенные функциональные зависимости демонстрируют возможности границ изменений интервалов оценки безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{\text{Шел}}$ ,  $R_{\text{Пл}}$ ,  $R_{\text{Плmax}}$  и – длительности цикла светофорного управления ( $T_{\text{ц}} = 50\text{--}120$  с) для разных методов управления **I, II, III, IV** (с приложением к классификации рисунок 3.1) в СОД с КЗ на их РП от вариаций конфликтной загрузки, т.е. изменений числа конфликтных точек.

Приведенные обобщения не противоречат сделанным ранее выводам в конце каждого из 6-ти Приложений, касающихся рекомендаций по внедрению в практику проектирования транспортной инженерии методологии обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов, в части использования для них авторских методов диагностической ( $R_{\text{Плmax}}$ ) и уточненной ( $R_{\text{Пл}}$ ) оценок безопасности движения.

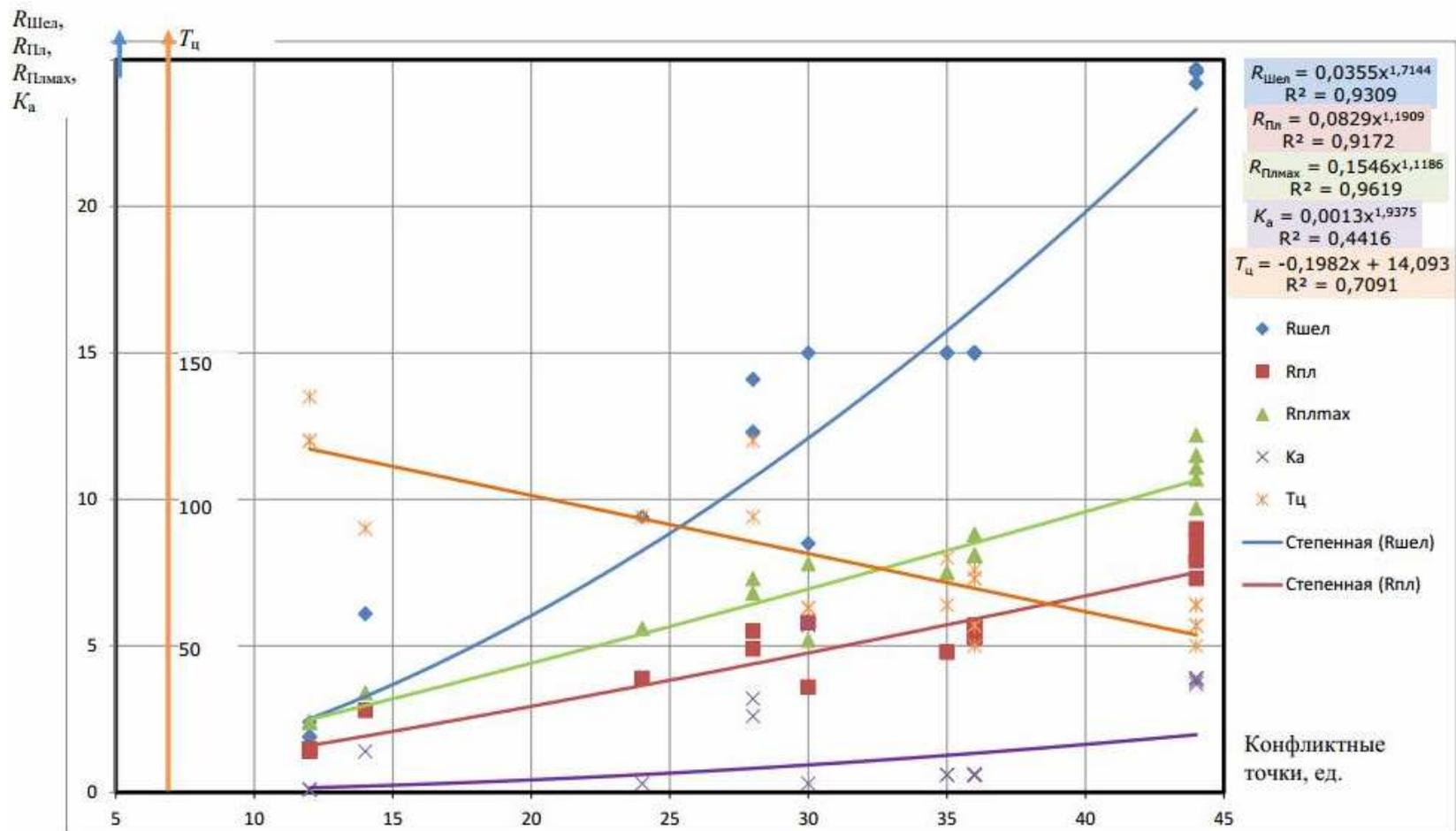


Рисунок П.5.31 – Функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения (номограммы)  $K_a$ ,  $R_{Шел}$ ,  $R_{Пл}$ ,  $R_{Плмах}$  и цикла светофорного управления ( $T_{ц} = \text{var}$  от 135–50 с) для транспортно-пешеходных потоков в трехполосных X-образных РП от числа КТ (12–44 шт.) при различных методах управления в мо-

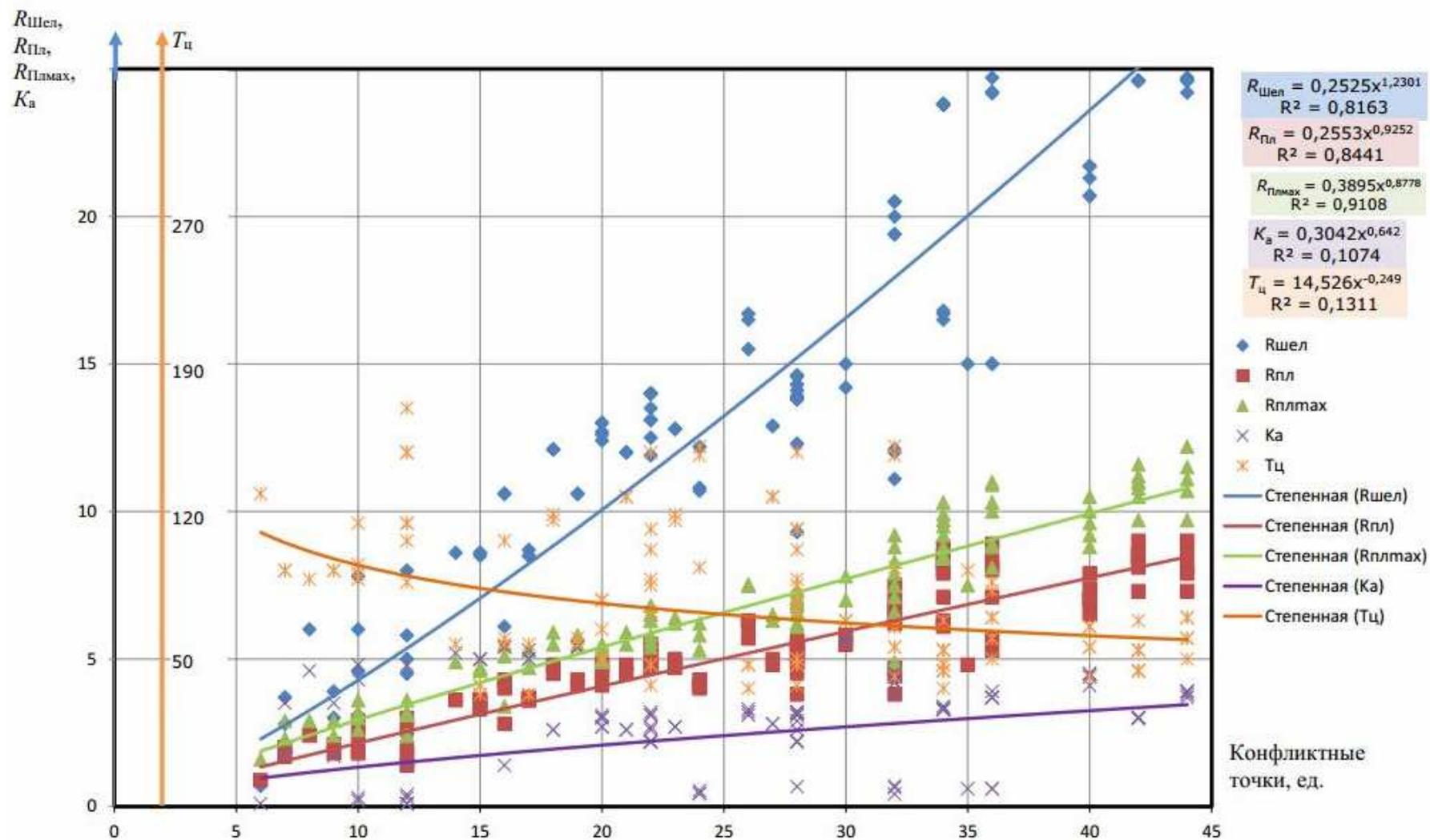


Рисунок П.5.32 – Обобщенные функциональные зависимости (номограмма) оценок обеспечиваемой безопасности движения  $K_a$ ,  $R_{\text{шел}}$ ,  $R_{\text{пл}}$ ,  $R_{\text{плмах}}$  цикла светофорного управления ( $120 \geq T_{\text{ц}} > 50$  с) от числа КТ в разнообразных по полосности Х- и Т-образных РП при различных методах управления

## **П.6 Методика диагностической оценки УТБД неуправляемых светофорами X- и Т-образных разнополосных пересечений по СОД с КЗ**

### **Содержание**

П.6.1 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами однополосных X- и Т-образных пересечениях.....	457
П.6.2 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами двухполосными двухполосно-однополосных Т- и X-образных пересечениях.....	460
П.6.3 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами трехполосными разнополосных X-образных пересечениях.....	463
П.6.4 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами четырехполосных X-образных пересечениях .....	466
П.6.5 Функциональная зависимость диагностических оценок УТБД в разнополосных моделях СОД с КЗ для X- и Т-образных НП .....	468
П.7 Акты о реализации научных результатов.....	470

### П.6.1 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами однополосных Х- и Т-образных пересечениях

Функциональные зависимости оценок безопасности движения (БД)  $K_a$ ,  $R_{\text{Шел}}$ ,  $R_{\text{Пл}}$ ,  $R_{\text{Плmax}}$  и цикла светофорного управления для транспортно-пешеходных потоков в разнополосных РП от числа конфликтных точек (КТ) при различных методах управления **I**, **II**, **III** в их моделях СОД с КЗ, представлены на рисунках П.1.11 (для однополосных Х-образных), П.2.31 (двухполосных Х-образных), П.3.19 (для двухполосно-однополосных Х-образных), П.4.27 (для двхполосных и трехполосных Т-образных), П.5.31 (для трехполосных Х-образных). Выводы, сделанные для каждой функциональной зависимости показали правомочность и целесообразность авторских оценок БД через диагностический и уточненный метод расчета  $R_{\text{Плmax}}$  и  $R_{\text{Пл}}$ .

Диагностический метод расчета оценки БД  $R_{\text{Плmax}}$  в моделях СОД с КЗ на регулируемых пересечениях (т.е. перекрестках) предлагается проводить через их конфликтную загрузку (т.е. КТ), когда перекрестки теряют электропитание для светофоров и переходят в класс неуправляемых пересечений. Такой метод оценки БД обладает быстрореализуемой и малозатратной технологией, подходящей для инвентаризации оценки уровня безопасности движения на любых регулируемых и нерегулируемых пересечениях (РП и НП). Его можно применять в качестве экспресс оценки индекса технологической готовности в обеспечении уровня БД для сравнения с действующей цифровой базой нормативно правовых рекомендаций [122, 170]. Причем он применим и к работающим перекресткам по "старинке" в режиме "желтого мигания" (ночного режима) на улично-дорожных сетях (УДС) мегаполисов и населенных пунктах РФ.

#### *Оценка конфликтной загрузки (КЗ) неуправляемых светофорами однополосных Х-образных пересечений*

Неуправляемые светофорами модели СОД с КЗ для равнозначных, однополосных Х-образных пересечений (перекрестков) могут быть представлены

соответствующей формализованной моделью рисунок 2.3. Она разработана из блок-схемы функциональных элементов ПКО интенсивности движения транспорта в модели САУ БДД для малополосного X-образного РП рисунок 1.8 (но без оснащения светофорами) при сохранении формализованной нумерации обозначений для направлений движения транспортно-пешеходных потоков (ТПП) с обозначением всех видов конфликтных точек (КТ).

Такой класс саморегулируемых моделей СОД с КЗ для равнозначных пересечений в одном уровне отражает реальные ситуации полевых условий эксплуатации регулируемых пересечений (РП), когда на них аварийно отключается электропитание или используется программа, так называемого, ночного режима – «желтого мигания» светофоров.

Для нерегулируемых светофорами перекрестков (НП) целесообразна диагностическая оценка максимально возможных уровней безопасности движений (БД) по их моделям СОД с КЗ через конфликтную загрузку с использованием формулы (2.40). Цель диагностической оценки уровня БД на НП – проводить сравнение ее значений с требованиями к дорожной безопасности по нормативно правовой базе [122, 170] – таблица 3.1, а при необходимости повышать до требуемого уровня БД разными инновационными приемами в организации дорожного движения.

Например, формализованная модель рисунок 2.3 имеет конфликтную загрузку в следующем наборе: – пересечений ● – 32 ед.; слияний ● – 12 ед.; отклонений ○ – 12 ед. Всего конфликтных точек 56 шт. Такая конфликтная загрузка является исходной информацией в расчете диагностической оценки уровня БД  $R_{Глmax} = 18,7$  ед. Это численное значение согласно нормативно правовой базы таблица 3.1 указывает на недопустимый уровень требований к безопасности движения (НУТБД). Следовательно, режим "желтого мигания" светофоров на таком РП ночью недопустим. Поэтому опасными являются и продолжительные аварийные отключения электропитания на РП, когда в эти периоды

отсутствует сотрудник УГИБДД для ручного управления до устранения неисправностей на обесточенном светофорном объекте.

Такой нерегулируемый светофорами перекресток с моделью СОД с КЗ при "очень опасном" ( $R_{\text{плmax}} = 18,7$  ед.) уровне дорожной безопасности, т.е с НУТБД согласно таблицы 3.1 нельзя эксплуатировать. Для снижения конфликтной загрузки перекрестка с 56 шт. (рисунок 2.3) конфликтных точек (КТ), например, до 32 шт. – надо ряд маневров запретить, что не приветствуется или дорого по материальным затратам. В качестве основных запретных мер могут быть: запрет – пешеходных переходов или перенос их в разные уровни движения относительно движения транспортных потоков (ТП), – запрет левых разворотов.

Расчет оценки уровня БД нерегулируемого пересечения (НП) через его модель СОД с КЗ при 32 конфликтных точках дает  $R_{\text{плmax}} = 12,4$  ед., что тоже превышает допустимый норматив БД.

Итак для снижения числа конфликтных точек в рисунке 2.3 до требуемого уровня БД в модели СОД с КЗ на нерегулируемом пересечении необходимо на одной из улиц установить знаки приоритета 2.1 "Главная дорога", или запрещающие знаки 3.18.2 "Поворот налево запрещен". Если и эти действия не дадут требуемых расчетных уровней БД, то следует перейти к введению светофорного регулирования с разными методами управления с пофазными разъездами ТПП – вплоть до организации бесконфликтных разъездов. Последние являются наиболее эффективными методами снижения КЗ до требуемого уровня БД на одноуровневых пересечениях.

#### *Оценка КЗ однополосных Т-образных нерегулируемых пересечений (НП)*

Расчет максимальной количественной оценки уровня БД на однополосном Т-образном нерегулируемом пересечении (НП) по ее модели СОД с КЗ рисунок П.6.1 с вариантом 1 (все маневры разрешены) дает результат –  $R_{\text{плmax}} = 6,6$  ед. по формуле (2.13). По вариантам: – 2 (нет только разворотов) и – 3 (нет только ТПП)  $R_{\text{плmax}}$  соответственно имеют значения – 4,6 ед. и – 4 ед.

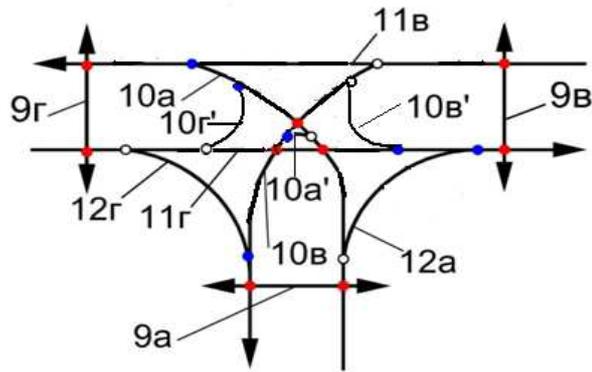


Рисунок П.6.1 – Модель СОД с КЗ для однополосного Т-образного НП с пешеходными потоками в режиме саморегулирования и разрешенными разворотами транспортных потоков, где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 9; слияния ● – 6; отклонения ○ – 5; всего 20 конфликтных точек. Уровень конфликтной загрузки такого варианта в подклассе  $R_{Пл\max} = 6,6$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на НП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 9; слияний ● – 3; отклонений ○ – 2; всего = 14;  $R_{Пл\max} = 4,6$  ед.; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 3; слияния ● – 6; отклонения ○ – 5; всего 14;  $R_{Пл\max} = 4$  ед.

Такие результаты оценки уровней БД согласно таблицы 3.1А) относятся к "малоопасному" состоянию уровня БД, а по разработанной для методологии таблицы 3.1Б) относится к ПрУТБД (промежуточному уровню требований к безопасности движения). При таком уровне БД нет беспокойства, при кратковременных отключениях электричества на таких регулируемых пересечениях (РП) и переходе их в НП, как это было в первом примере Х-образного однополосного пересечения с рисунок 2.3.

## П.6.2 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами двухполосными двухполосно-однополосных Т- и Х-образных пересечениях

*Оценка КЗ двухполосных Т-образных НП*

Вид модели СОД с КЗ для неуправляемого светофорами двухполосного Т-образного пересечения (перекрестка) представлен рис. П.6.2.

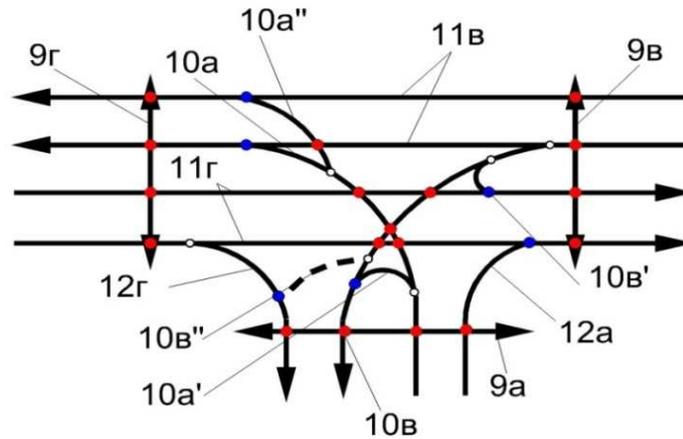


Рисунок П.6.2 – Модель СОД с КЗ для двухполосных Т-образных НП с пешеходными потоками при неполном разрешении разворотов транспортным потокам (ТП), где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 18; слияний ● – 6; отклонений ○ – 6; всего = 30;  $R_{Пл\max} = 10,6$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на НП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 18; слияний ● – 4; отклонений ○ – 4; всего = 26;  $R_{Пл\max} = 9,9$  ед.; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 6; слияния ● – 6; отклонения ○ – 6; всего 18;  $R_{Пл\max} = 5,4$  ед.

Для модели СОД с КЗ рисунок П.6.2 расчетные уровни значений БД через конфликтную загрузку  $R_{Пл\max}$  для разных вариантов согласно таблицы 3.1А) не выходят из области "опасное" т.е. ДУТБД (допустимый уровень требований к безопасности движения) по таблице 3.1Б). Поскольку неуправляемые светофорами двухполосно-однопольные Т-образные одноуровневые нерегулируемые пересечения (НП) имеют предсказуемый допустимый характер изменений значений уровней БД через  $R_{Пл\max}$ , то другие их модели СОД с КЗ с числом полос больше двух не проводятся.

*Оценка КЗ двухполосных Х-образных НП*

Типовой вид неуправляемой светофорами модели СОД с КЗ для двухполосных Х-образных нерегулируемых пересечений (НП) представлен на рисунке 6.3.

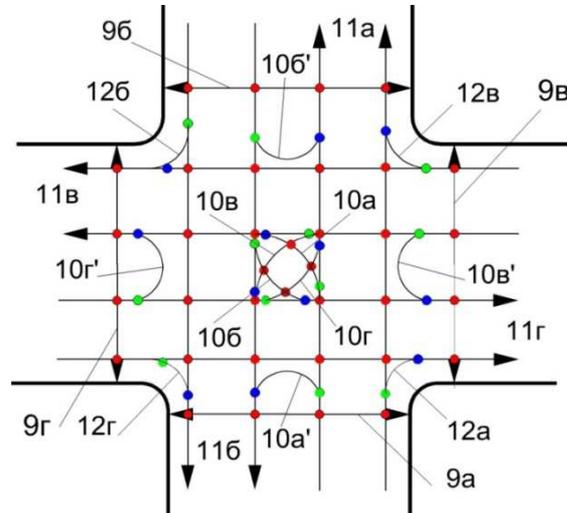


Рисунок П.6.3 – Модель СОД с КЗ двухполосных Х-образных НП с пешеходными потоками и разрешенными разворотами ТП, где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 36; слияний ● – 12; отклонений ● – 12; всего = 60;  $R_{Пл\max} = 20,4$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на НП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 36; слияний ● – 8; отклонений ● – 8; всего = 52;  $R_{Пл\max} = 19$  ед.; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 16; слияния ● – 12; отклонения ● – 12; всего 40;  $R_{Пл\max} = 11,8$  ед.

Конфликтная нагрузка  $R_{Пл\max}$  для разных вариантов 1–3, полученных из модели рисунка П.6.3, в соответствии с таблицей 3.1А) и Б) дает в основном "очень опасное" состояниеи НУТБД. Поэтому в таком режиме эксплуатировать нерегулируемое пересечение нельзя.

### *Оценка КЗ двухполосно-однопольных Х-образных НП*

Неуправляемая светофорами модель СОД с КЗ для двухполосно-однопольных Х-образных НП имеет вид рисунок П.6.4 и по уровням БД зани-

мает промежуточное место между оценками в моделях для одно- и двухполосных нерегулируемых пересечений в одном уровне.

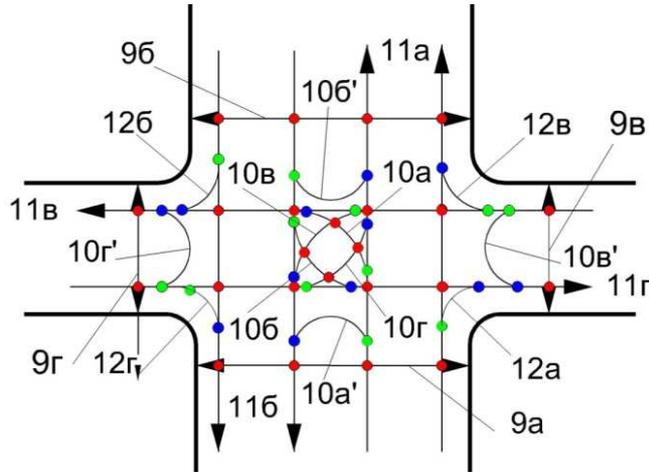


Рисунок П.6.4 – Модель СОД с КЗ двухполосно-однопольных X-образных НП с пешеходными потоками и разрешенными разворотами транспортных средств, где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 24; слияний ● – 12; отклонений ● – 12; всего 48;  $R_{Пл\max} = 15,3$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на НП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 24 слияний ● – 8; отклонений ● – 8; всего = 40;  $R_{Пл\max} = 13,9$  ед.; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 12; слияния ● – 12; отклонения ● – 12; всего 36;  $R_{Пл\max} = 10,1$  ед.

Конфликтная нагрузка  $R_{Пл\max}$  для разных вариантов 1–3, полученных из модели рисунок П.6.4, в соответствии с таблицей 3.1А) и Б) имеет, в основном, "очень опасное" состояниеи НУТБД. Поэтому в таком режиме эксплуатировать одноуровневое нерегулируемое пересечение не рекомендуется.

### П.6.3 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами трехполосных и разнополосных X-образных пересечениях

#### *Оценка КЗ трехполосных X-образных НП*

Неуправляемая светофорами модель СОД с КЗ для трехполосных X-образных НП представлена на рисунке П.6.5.

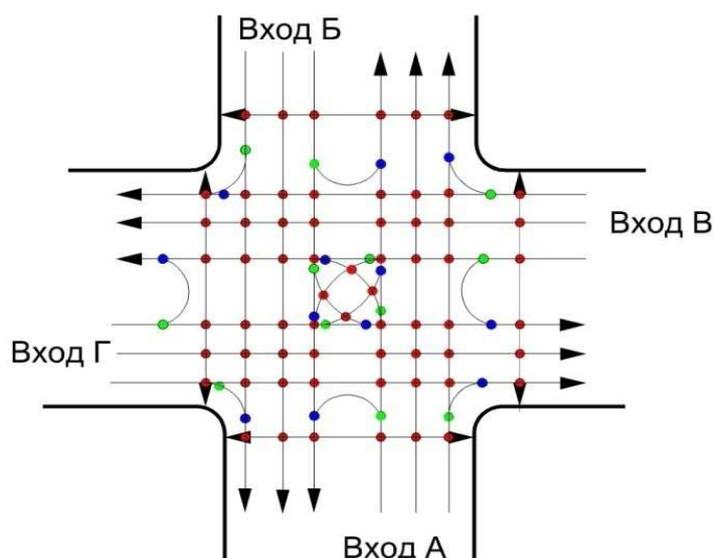


Рисунок П.6.5 – Модель СОД с КЗ для трехполосных Х-образных НП с пешеходными потоками и разрешенными разворотами транспортных средств, где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 64; слияний ● – 12; отклонений ● – 12; всего 88;  $R_{Пл\max} = 32,5$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на НП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 64 слияний ● – 8; отклонений ● – 8; всего = 80;  $R_{Пл\max} = 31$  ед.; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 40; слияния ● – 12; отклонения ● – 12; всего 64;  $R_{Пл\max} = 22,15$  ед.

Конфликтная нагрузка  $R_{Пл\max}$  для разных вариантов 1–3, полученных из модели рисунка П.6.5, в соответствии с таблицей 3.1А) и Б) имеет все варианты "очень опасное" состояние и НУТБД. Поэтому даже в кратковременном режиме без участия сотрудника УГИБДД в таком режиме эксплуатировать одноуровневый НП не рекомендуется из-за вероятности наступления на нем ДТП.

### *Оценка КЗ трехполосно-однопосных Х-образных НП*

Неуправляемая светофорами модель СОД с КЗ для трехполосно-однопосных Х-образных НП представлена на рисунке П.6.6.

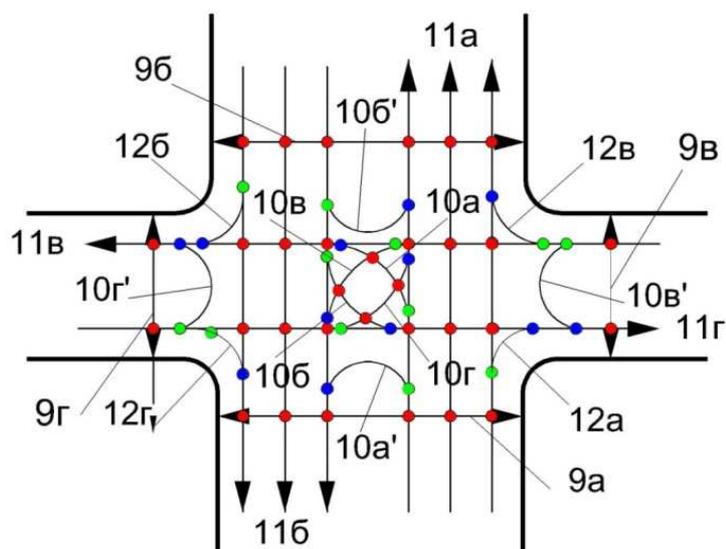


Рисунок П.6.6 – Модель СОД с КЗ для трехполосно-однополосных Х-образных

НП с пешеходными потоками и разрешенными разворотами транспортных средств, где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 32; слияний ● – 12; отклонений ● – 12; всего 56;  $R_{Пл\max} = 18,3$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на НП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 32; слияний ● – 8; отклонений ● – 8; всего = 48;  $R_{Пл\max} = 17,3$  ед.; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 14; слияния ● – 12; отклонения ● – 12; всего 64;  $R_{Пл\max} = 11$  ед.

Конфликтная нагрузка  $R_{Пл\max}$  для разных вариантов 1–3, полученных из модели рисунок П.6.6, в соответствии с таблицей 3.1А) и Б) имеет в основном варианты "очень опасное" состояние и НУТДБ. Поэтому в таком режиме эксплуатировать одноуровневое нерегулируемое пересечение (НП) не рекомендуется.

#### *Оценка КЗ трехполосно-двухполосных Х-образных НП*

Неуправляемая светофорами модель СОД с КЗ для трехполосно-двухполосных Х-образных НП представлена на рисунке П.6.7.

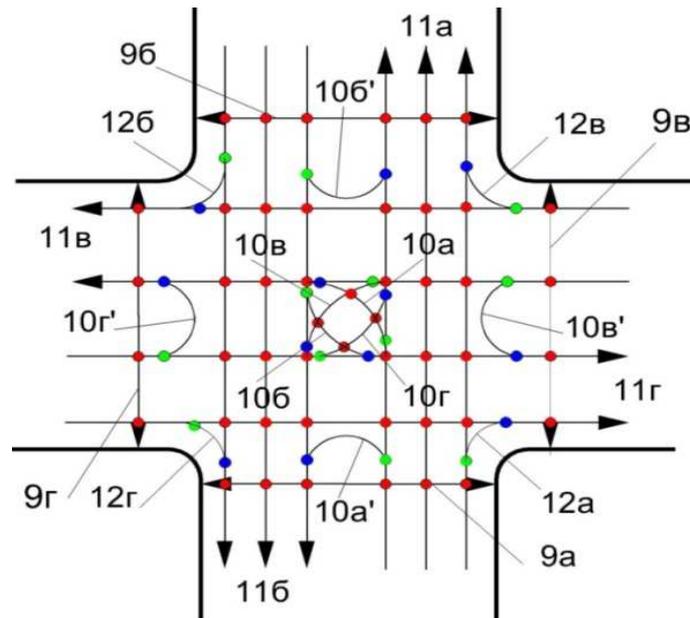


Рисунок П.6.7 – Модель СОД с КЗ для трехплосно-двухполосных X-образных НП с пешеходными потоками и разрешенными разворотами транспортных средств, где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 48; слияний ● – 12; отклонений ● – 12; всего 72;  $R_{Пл\max} = 25,6$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на НП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 48 слияний ● – 8; отклонений ● – 8; всего = 64;  $R_{Пл\max} = 24,2$  ед.; вариант 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 28; слияния ● – 12; отклонения ● – 12; всего 64;  $R_{Пл\max} = 17$  ед.

Конфликтная нагрузка  $R_{Пл\max}$  для разных вариантов 1–3, полученных из модели рисунок П.6.7, в соответствии с таблицей 3.1А) и Б) имеет все варианты "очень опасное" состояние и НУТБД. Поэтому даже в кратковременном режиме без участия сотрудника УГИБДД в таком режиме эксплуатировать НП нельзя.

#### П.6.4 Оценка УТБД на неуправляемых светофорами четырехполосных X-образных пересечениях

*Оценка КЗ четырехполосно-однопольных X-образных НП*

Неуправляемая светофорамимодель СОД с КЗ для четырехполосно-однополосных X-образных пересечений представлена на рисунке П.6.8.

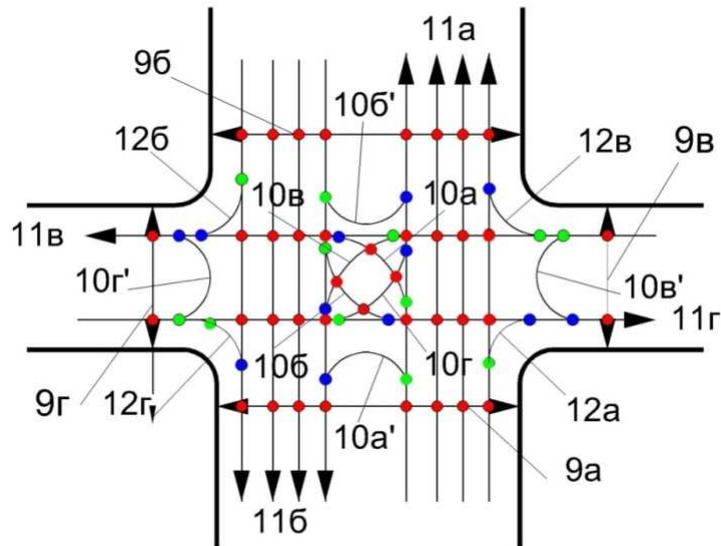


Рисунок П.6.8 – Модель СОД с КЗ для четырехполосно-однополосных X-образных пересечений с пешеходными потоками и разрешенными разворотами транспортных средств, где вариант 1 – все маневры на НП разрешены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 40; слияний ● – 12; отклонений ● – 12; всего 64;  $R_{Пл\max} = 24,6$  ед.; вариант 2 – развороты ТП на РП запрещены – конфликтные точки, шт.: пересечений ● – 40; слияний ● – 8; отклонений ● – 8; всего = 56;  $R_{Пл\max} = 23,2$  ед.; вариант – 3, если пешеходного движения нет (т. е. есть подземный или надземный переходы), конфликтные точки, шт.: пересечения ● – 20; слияния ● – 12; отклонения ● – 12; всего 64;  $R_{Пл\max} = 13,6$  ед.

Конфликтная нагрузка  $R_{Пл\max}$  для разных вариантов 1–3, полученных из модели рисунка П.6.8, в соответствии с таблицей 3.1А) и Б) дает все варианты "очень опасное" состояние и НУТБД. Поэтому даже в кратковременном режиме без участия сотрудника УГИБДД в таком режиме эксплуатировать нерегулируемое пересечение нельзя.

### П.6.5 Функциональная зависимость диагностических оценок УТБД в разнополосных моделях СОД с КЗ для Х- и Т-образных НП

Представленные модели СОД с КЗ на рисунках П.6.1 и П.6.2 имеют ДУТБД, все остальные модели на рисунках П.6.3–П.6.8 имеют НУТБД на пересечениях, что относит их к IV-му методу без светофорного управления по классификации моделей СОД с КЗ рисунок 3.1.

На рисунке П.6.9 представлена обобщенная функциональная зависимость оценки обеспечиваемой безопасности движения  $R_{\text{Плmax}}$  (конфликтной загрузки) от числа конфликтных точек для разнополосных моделей СОД с КЗ на Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях

Аварийный режим с отключением электроэнергии является типичным примером для перевода регулируемых пересечений (РП) в нерегулируемые. В аварийном режиме большинство из РП, в которых решались до аварии задачи 1)–21) по классификации рисунка 3.1 и обеспечивался соответственно "допустимый", "промежуточный" или "повышенный" уровень требований к безопасности движения (ДУТБД, ПрУТБД или ПУТБД) согласно таблицы 3.1 Б) по методам управления I, II, III переходят в IV-й метод управления движением с недопустимым уровнем требований к безопасности движения (НУТД). Аварийный режим работы РП без светофорного управления следует рассматривать, как наступление чрезвычайного события в мегаполисах и населенных пунктах РФ. На период его действия должны быть разработаны согласованные регламенты административных и надзорных органов в субъектах РФ. Например, должны быть разработаны нормативные акты на местах по закреплению ответственных от УГИБДД для чрезвычайных событий и прибытия от них регулировщиков на аварийные пересечения для ручного регулирования организацией дорожного движения по правилам ДД РФ до восстановления светофорного регулирования.

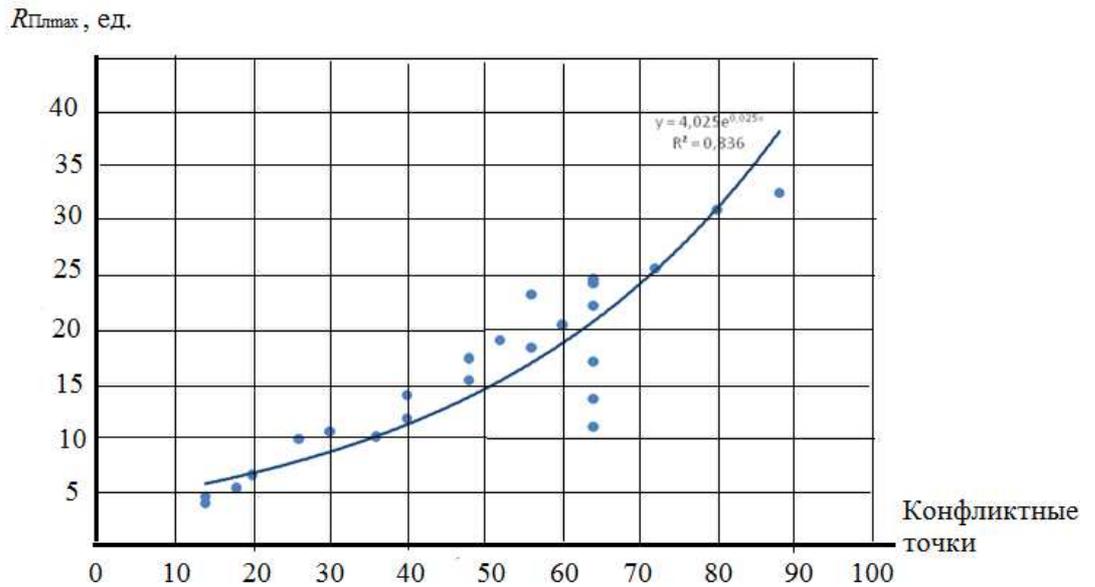


Рисунок П.6.9 – Обобщенная функциональная зависимость оценки обеспечиваемой безопасности движения  $R_{Плmax}$  от числа конфликтных точек для разнополосных моделей СОД с КЗ на Х- и Т-образных нерегулируемых пересечениях

### Вывод

Из графика рисунок П.6.9 следует, что допустимый уровень требований к безопасности движения (УТБД) на одноуровневых нерегулируемых пересечениях (НП) в его СОД с КЗ будет находиться в пределах допустимого (ДУТБД < 12 ед.– см. таблицу 3.1) при любой полосности движения транспортных потоков, если число конфликтных точек не превышает 40 шт.

## П.7 Акты о реализации научных результатов



ПРАВИТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

**КОМИТЕТ ПО РАЗВИТИЮ  
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Караванная ул., 9, л. А, Санкт-Петербург, 191023  
тел. (812) 576-1200, факс (812) 710-6060  
e-mail: equip@gov.spb.ru  
http://www.gov.spb.ru

ОКПО 0086929 ОКОГУ 23260 ОГРН 1037843037935  
ИНН/КПП 7830001853/784101001

**В диссертационный совет  
Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский  
государственный  
архитектурно-строительный  
университет»**

КРТИ СПб  
№ 01-10-3122/16-1-0  
от 29.07.2016



\_\_\_\_\_

Г \_\_\_\_\_

В 2014 году по заказу Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга (далее – Комитет) в соответствии с государственным контрактом от 10.09.2014 №ННР-29 подрядной организацией ЗАО «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры» выполнены исследовательские работы по анализу эффективности действующих схем организации движения на одноуровневых регулируемых перекрестках, оценке уровня безопасности дорожного движения на каждом из них и формирование предложений по его повышению.

Впервые в Санкт-Петербурге оценен потенциал безопасности движения по действующим схемам организации движения (СОД) на 77-ми одноуровневых регулируемых перекрестках (ОРП) по их конфликтной загрузке (КЗ) с использованием двух авторских методов доц. СПбГАСУ Плотникова А.М. Первый диагностический метод использован для выявления аварийно-опасных ОРП по конфликтным точкам (КТ), их оказалось 22 %. Второй метод уточненной оценки безопасности движения по КТ и интенсивности движения транспортных потоков использован для ОРП, неудовлетворяющих действующим нормативным требованиям к уровням безопасности дорожного движения. Для них разработаны малозатратные технические предложения по изменению их СОД с КЗ на ОРП Санкт-Петербурга.

Результаты исследования используются Комитетом для обеспечения требуемой безопасности дорожного движения на ОРП Санкт-Петербурга. Также может быть рассмотрена возможность применения данных результатов исследования для распространения нового опыта в других городах регионов Российской Федерации.

**Заместитель  
председателя Комитета**



**А.В. Семчанков**

Е.В. Воробьев  
417-50-63



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
КАЗЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

**«ДИРЕКЦИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ  
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА»**

192019, Санкт-Петербург, Хрустальная ул. д. 22, литер Б  
Телефон (812) 323-0908, (812) 320-9781;  
Факс (812) 323-0860, (812) 328-4060  
<http://www.gudodd.ru>  
[info@gudodd.ru](mailto:info@gudodd.ru)

ОКПО 53247054 ОКОГУ 49003 ОГРН 1037800052180  
ИНН/КПП 7801145804/781101001

*25.08.2015* № *01-9420*

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**В диссертационный совет  
Д 212.223.02 при  
ФГБОУ ВО  
"Санкт-Петербургский  
государственный  
архитектурно-строительный  
университет"**

**Акт внедрения  
результатов диссертационной работы Плотникова А.М.**

**по теме: «Методология обеспечения безопасности движения  
на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов»,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук**

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационного исследования Плотникова А.М., использованы Санкт-Петербургским государственным казенным учреждением «Дирекция по организации дорожного движения Санкт-Петербурга» (далее – Дирекция) в технические задания по проектированию строительства и реконструкции светофорных объектов в Санкт-Петербурге.

Впервые в Санкт-Петербурге, при проектировании светофорных объектов по заказу Дирекции, выполняется численная оценка уровня дорожной безопасности с диагностическим критерием оценки доц. СПбГАСУ Плотникова А.М. с последующим выбором эффективного варианта пофазного разъезда транспортно-пешеходных потоков для каждого проектируемого объекта. Так же, появляется возможность паспортизации существующих светофорных объектов и нерегулируемых пересечений по уровням безопасности.

Результаты исследования используются Дирекцией для обеспечения требуемого уровня безопасности дорожного движения на одноуровневых регулируемых перекрестках и рекомендуются для распространения нового опыта в других городах регионов Российской Федерации.

Директор



*В.Н. Мушта*


  
**НИПИ**  
**ТРТИ**  
 ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
 «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ  
 ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ  
 И ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ»  
 Адрес: ул. Фучика, д. 4, лит. К,  
 г. Санкт-Петербург, Россия, 192102  
 тел.: (812) 3333-171, факс: (812) 3333-190  
 e-mail: nipitrti@ipr.ru

10.08.2015 № 574-УН/15  
 на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

В диссертационный совет  
 ДМ 212.223.02 при ФГБОУ ВО  
 «Санкт-Петербургский  
 государственный архитектурно-  
 строительный университет»

**Акт внедрения  
 результатов диссертационной работы Плотникова А.М.**

**по теме: «Методология обеспечения безопасности движения  
 на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов»  
 представленной на соискание ученой степени доктора технических наук**

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы Плотникова А.М. использованы в рамках выполнения исследовательских работ по анализу эффективности действующих схем организации движения на одноуровневых регулируемых перекрестках, оценке уровня безопасности дорожного движения на каждом из них и формированию предложений по его повышению (Государственный контракт № НИР-29 от 10.09.2014 г).

Разработанная Плотниковым А.М. методика численной оценки уровня требований к дорожной безопасности по сравнению с другими методами наиболее адекватно отражают существующую действительность и позволяют более обоснованно разрабатывать модели схем организации движения с контролируемой конфликтной загрузкой, что в свою очередь приведет к повышению эффективности управления дорожным движением на одноуровневых регулируемых перекрестках, а также разработать ряд предупредительных мер по снижению аварийности на одноуровневых регулируемых перекрестках.

Генеральный директор



В.Н. Мячин

Общество с ограниченной ответственностью  
«ТЭС-ГеоИнжПроект» (ООО «ТЭС-ГИП»)  
ИНН 7811521039, КПП 780601001  
р/с 40702810337000006059, БИК 044030704  
в Филиал ОПЕРУ ОАО Банк ВТБ  
в г. Санкт-Петербурге



195196, г. Санкт-Петербург  
ул. Таллинская, д. 6В  
БЦ «ЮГРА», 2 этаж  
тел./факс: (812) 677-80-89  
тел.: (812) 716-06-80  
info@spbtes.ru, www.spbtes.ru

Исх. №1802 от 03 августа 2015 г.

В диссертационный совет  
Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО  
"Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет"

**Акт внедрения  
результатов диссертационной работы Плотникова А.М.**

**по теме: "Методология обеспечения безопасности движения на  
регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов",  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук**

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационного исследования Плотникова А.М. использованы в рамках выполненных нами в первом полугодии 2015 года работ по Государственным контрактам №2015.69032 и №2015.69040 на проектирование и строительство 14 светофорных объектов (т. е. одноуровневых регулируемых перекрестков) в разных районах Санкт-Петербурга.

В нашей работе, в соответствии с п. 2.2.1.4.1 Технического задания (Приложение 1 к Государственным контрактам) от "Заказчика" – Государственного казенного учреждения "Дирекция по организации дорожного движения Санкт-Петербурга" было поставлено условие использовать методику численной оценки уровня дорожной безопасности с диагностическим критерием оценки доцента Плотникова А.М. из №НИР-29 от 10.09.2014 г.

Впервые в мегаполисе Санкт-Петербург нашей организацией при проектировании каждого регулируемого перекрестка из 14 штук в одном уровне осуществлялся по техническому заданию выбор эффективного пофазного разъезда транспортно-пешеходных потоков с критерием оценки безопасности движения. Отбор наилучших решений при проектировании осуществлен на базе внедрения альтернативной разработки вариантов схем организации движения на каждом из регулируемых пересечений по методологии Плотникова А.М. Методология научно обоснованно позволила нам решить проблемы обеспечения безопасности движения по конфликтной загрузке на каждом из 14 регулируемых пересечений улично-дорожных сетей мегаполиса.

Генеральный директор  
ООО "ТЭС-ГИП"



И.М. Бельский



Открытое акционерное общество  
«Научно-исследовательский институт  
автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»)

Героев Панфиловцев ул., д. 24, Москва, 125480  
Тел.: (495) 496-55-23, факс: (495) 496-61-36, E-mail: niiat@niiat.ru  
ОГРН 1067746375278, ИНН/КПП 7733563381/773301001

19.10.2016 № 0132-04/469  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

В диссертационный совет  
Д212.223.02 при ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский  
государственный  
архитектурно-строительный  
университет»

**Акт внедрения  
результатов диссертационной работы Плотникова А.М.  
по теме: "Методология обеспечения безопасности движения  
на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей мегаполисов",  
представленной на соискание ученой степени доктора технических  
наук**

Настоящий акт составлен в подтверждение тому, что результаты диссертационного исследования Плотникова Анатолия Михайловича использованы ОАО «НИИАТ» при формировании современных методов организации дорожного движения на улично-дорожной сети в рамках выполненной Плотниковым А.М. по заказу ОАО «НИИАТ» НИР по теме: "Методология обеспечения безопасности движения на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети мегаполисов в Российской Федерации"(договор №18 от 20 июня 2016 г. в рамках финансирования по государственному контракту № 14/5/1/01 от 30 июля 2014 года).

В представленной Методологии достаточно подробно проработан подход к решению ряда проблем обеспечения безопасности дорожного движения на Х- и Т-образных пересечениях, функционирующих в системе автоматического управления светофорной сигнализацией. При этом определенной особенностью предлагаемых научно-технических решений является возможность более эффективного управления дорожным движением путем снижения числа конфликтных точек, риска возникновения ДТП при различных схемах разъезда транспортных потоков и переменных значениях интенсивностях движения транспортных

и пешеходных потоков на Х- и Т-образных множествах по геометрическим параметрам пересечения, вводимых и используемых способах организации движения на них.

В разработанной методологии предлагается достаточно универсальный для использования проектных решений в сфере организации дорожного движения способ диагностики оценки уровней безопасности дорожного движения на регулируемых и нерегулируемых пересечениях дорог, возможный для получения необходимых оценок степени опасности движения на пересечениях в одном уровне при аудите условий дорожного движения в условиях интенсивной автомобилизации городских территорий Российской Федерации.

Предложенные А.М Плотниковым научно-методические подходы и решения в принципе позволяют решать задачи по предупреждению ДТП и снижению тяжести их последствий, поставленные руководством страны и определенные Федеральным Законом №196 от 1995 г. "О безопасности дорожного движения", применительно к совершенствованию условий движения транспорта и пешеходов на одноуровневых регулируемых пересечениях, базируясь на получаемых оценках для внесения изменений в систему автоматизированного управления дорожным движением в мегаполисах и городах с высоким уровнем развития автомобилизации.

Научный руководитель Института  
кандидат технических наук, с.н.с.

В.В. Донченко

«19» октября 2016 года

