

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ ПЕРЕКРЕСТКОВ****Д.Н. Маряшина, Ю.А. Сердинская, А.М. Тен (Казань)****Введение**

Согласно данным генерального плана развития Казани до 2040 года, существующая улично-дорожная сеть (далее УДС) должна увеличиться на 355 километров и к 2040 году составить 2152 километра, что приведет к увеличению транспортных потоков по улицам города. Казань не единственный город, в котором наблюдается рост УДС, с каждым годом во многих городах России дорожная ситуация усугубляется из-за роста дорожных сетей. В связи с этим необходимо совершенствование инструментов регулирования, которые бы позволили оперативно оценить состояние транспортных потоков при изменении дорожной инфраструктуры и предложить наилучший вариант работы светофоров и т.д.

Для профилактики «пробок» и повышения эффективности использования улично-дорожной сети, в Казани с 2012 года реализуется проект Автоматизированной системы управления дорожным движением (далее АСУДД) с применением адаптивных методов управления [1]. Использование адаптивных методов управления позволяет равномерно разгружать все направления на перекрестках, пропуская только то количество транспорта, которое сможет пропустить соседний перекресток, при этом позволяя наиболее эффективно использовать зеленый сигнал светофора, что сократит время ожидания на проезд перекрестка со всех направлений и снизит напряженность всех участников движения.

К АСУДД с 2013 года подключили треть всех светофоров города Казани. На данный момент это 158 светофоров с наиболее интенсивным движением. За это время средняя скорость движения на перекрестках, подключенных к АСУДД, увеличилась на 5 км/час, а пропускная способность — на 15%, время проезда по этим улицам сократилось в среднем на 5–10 минут. Однако АСУДД позволяет корректировать лишь существующую дорожную сеть. При создании новых транспортных развязок или реконструкции существующих, введении новых перекрестков и т.д. нет возможности «посмотреть» как будут вести себя транспортные потоки. Есть риск, что при введении в эксплуатацию новый элемент дорожной сети вызовет ухудшение транспортной ситуации, и это требует детального исследования. Поэтому имеется потребность в создании дополнительных аналитических инструментов прогнозного анализа организации движения потоков на новых или реконструируемых сегментах УДС. Наиболее подходящим и эффективным методом для создания таких инструментов и проведения исследований является имитационное моделирование (далее ИМ).

В настоящее время на мировом рынке существует лидер в этом направлении – компания PTV Group (Германия) [2]. Компанией создан целый набор программных средств (PTV Vissim, PTV Visum, PTV Vistro и ряд других), вместе представляющих собой коммерческий симулятор в области транспортного прогнозирования и планирования. Имеется еще целый ряд зарубежных транспортных симуляторов, например, AIMSUN (Испания) [3], EMME (Канада) [4]. В России распространением и адаптацией к российским условиям данного симулятора PTV занимается ряд компаний, самой успешной из которых является ООО «SIMETRA» [5]. Также, в России имеются и собственные разработки – «Дорожный менеджер» (Череповец) [6], ITSGIS (Самара) [7], TRANSNET (Москва) [8]. Но ни одна из них не доведена до возможностей и уровня коммерческих симуляторов. Необходимо отметить, что решать задачи транспортного планирования, особенно отличающихся от стандартных и требующих учета

особенностей и нюансов, можно с использованием общецелевых систем ИМ (Arena, AnyLogic [9], GPSS Studio [10] и др.).

Представленная в данной статье задача имитационного исследования перекрестков и сегментов УДС решалась с помощью общецелевой среды моделирования GPSS Studio. Так как был необходим учет ряда не стандартных моментов, требующих введение новых алгоритмов и параметров для описания и углубленного анализа микромоделей. Данная среда является отечественным программным продуктом и включена в реестр отечественного программного обеспечения.

#### **Постановка задачи**

Результаты, представленные в статье, являются лишь частью большой методической и программной разработки, выполняемой для реального Заказчика.

Основная ее цель – разработка комплекса программных средств и проведение всестороннего имитационного исследования любого сегмента УДС города, состоящего из  $N$  перекрестков и  $M$  участков, в связи с планируемой на данном участке реконструкцией, например, пересечением с рядом строящихся и реконструируемых развязок, изменением интенсивности потоков движения и схем движения.

Для достижения поставленной цели необходимо было последовательно решить ряд задач:

- разработка программ получения и структуризации статистических данных о потоках, формируемых различными источниками: стационарными комплексами видеофиксации, умными перекрестками, системами GPSS/ГЛОНАСС навигации, передвижными комплексами видеофиксации;
- формирование на основе работы данных программ базы данных, содержащую интенсивность и другие характеристики транспортных потоков участков УДС в выбранном сегменте (далее БД «Потоков»);
- создание детальных микромоделей всех перекрестков, входящих в сегмент, и обеспечение автоматизированного получения требуемых данных из БД «Потоков»;
- разработка общей укрупненной транспортной модели сегмента для проведения исследования в новой конфигурации сегмента УДС, общей оценки транспортной ситуации;
- планирование сценариев и проведение комплексного имитационного исследования для формулирования рекомендаций по настройке и управлению светофорными объектами и схемой движения.

В будущем программный комплекс должен стать одним из сервисов платформы управления транспортной системы Казани, обеспечивать проекты дорожного строительства и реконструкции УДС города прогнозами загрузки сети при проверке тех или иных проектных решений и находить наилучшее из них по пропускной способности сегмента.

В данной статье представлена методика, общий подход к созданию библиотеки микромоделей перекрестков Казани, относящихся к сегменту УДС «Большое Казанское кольцо». В целом сегмент линейный, содержит 17 перекрестков и столько же участков. На основе этих микромоделей, их взаимного влияния друг на друга должна строиться укрупненная модель сегмента. Практическое применение методики показано на примере микромодели одного из перекрестков сегмента – «Ямашева-Мусина».

В самом общем виде концептуальная архитектура создаваемого программного комплекса, как для стратегического, так и оперативного управления движением, представлена на рис. 1.

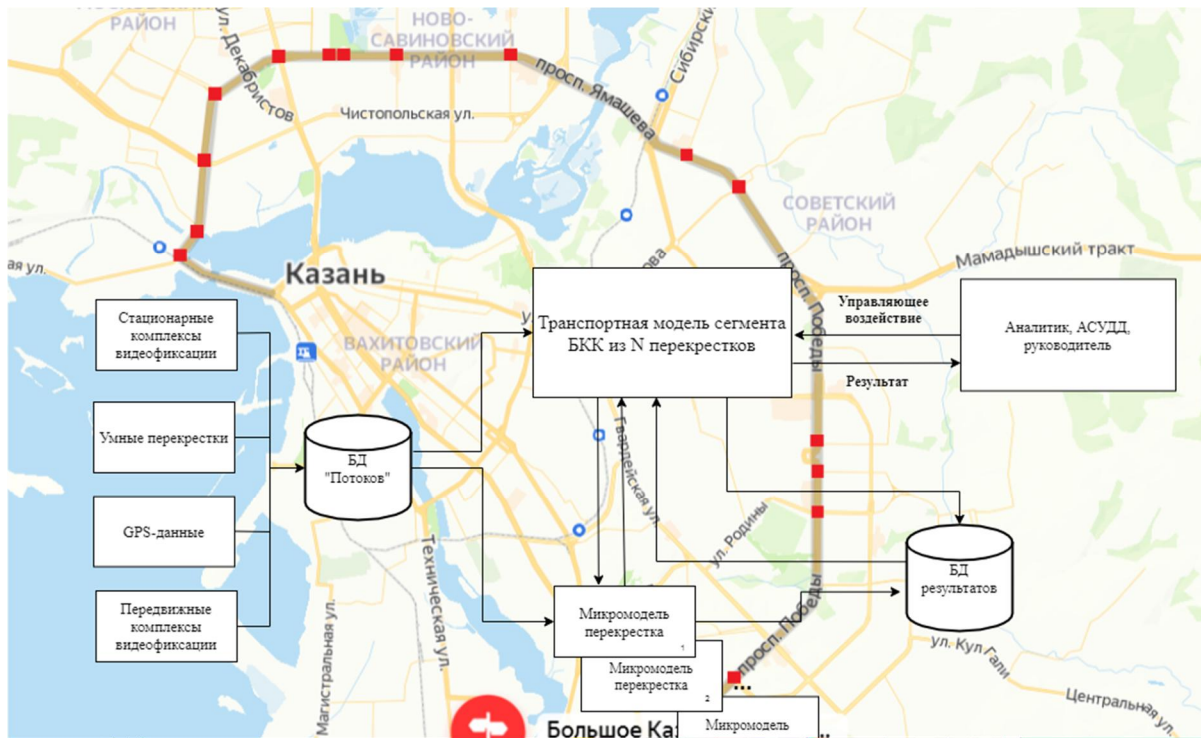


Рис. 1. Архитектура транспортной модели сегмента УДС

Транспортный поток характеризуется следующими параметрами: средняя скорость потока, плотность — количество транспортных средств на единицу длины дороги, интенсивность — количество транспортных средств, проходящих через любую данную точку дороги в единицу времени. В случае стратегического анализа, общая модель сегмента и микромоделей перекрестков должны обеспечивать исследователя этими характеристиками, дополнив их данными о возникающих очередях и динамике их изменения.

Модель сегмента функционирует на основе данных, получаемым из БД «Потоков» и проводит уточняющий взаимообмен с данными из микромоделей перекрестков, входящих в данный сегмент. Работа модели анализируется исследователем, который может проводить имитационные исследования посредством ввода данных отдельных экспериментов или планирования серий экспериментов. Результаты работы модели анализируются исследователем и, в случае необходимости, сохраняются в БД «Результатов».

Рассмотрим более подробно процесс разработки микромоделей перекрестка.

#### **Микромодель и исследование**

На данном этапе разработана библиотека моделей перекрестков данного сегмента. Предварительно был проведен анализ типов и особенностей перекрестков, входящих в дорожную сеть г. Казани. Были выделены типовые (стандартные) элементы структуры и алгоритмов работы перекрестков – перекрестки. На их основе разработаны типовые элементарные блоки ТЭБы для более быстрого конструирования перекрестков. Полной автоматизации такой сборки достичь пока не удалось, но это существенно облегчило и ускорило работу по созданию микромоделей перекрестков. Для определенности, в качестве примера рассмотрим процесс создания модели перекрестка «Ямашева-Мусина».

Микромодель перекрестка условно можно разбить на три блока: исходные данные, проезд перекрестка и блок управления светофорами. На рис. 2 представлен фрагмент структурной схемы данного перекрестка.

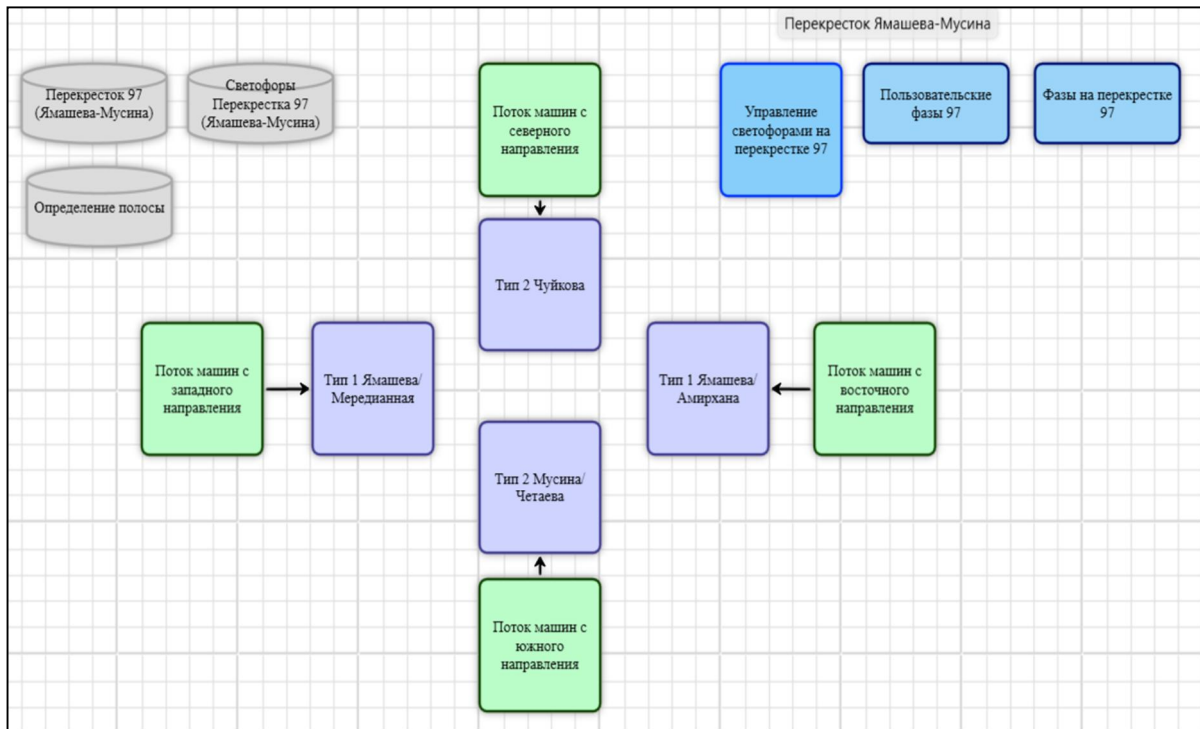


Рис. 2. Фрагмент структурной схемы имитационной модели перекрестка «Ямашева-Мусина»

Исходные данные строго структурированы в рамках ТЭБов данных (цилиндры серого цвета) и матриц. Пример одной из таких матриц, приведен на рис. 3.

Фазы на перекрестке 97 - экземпляр тэба

Параметры матрицы | Редактировать заголовки строк | Редактировать заголовки столбцов | Экспортировать | Импортировать

Индекс строк: 1 | Индекс столбцов: 2 | Остальные индексы: 1 | 1

	Tmin/с	Tmax/с	Tпром/с	Общее кол-во светофоров	Номер светофора	Номер светофор	Номер светофора	Номер светофора в фазе
Общие сведения	3	6	100971	1009712	1009731	1009732	1009721	1009741
1 фаза	50	63	8	4	1009721	1009741	1009732	1009712
2 фаза	19	22	10	2	1009731	1009732		
3 фаза	12	20	10	2	1009711	1009712		
4 фаза								
5 фаза								
6 фаза								

Рис. 3. Матрица сведений о фазах работы светофоров

Другие ТЭБы на представленной схеме являются либо композитными (и содержат внутри дочернюю схему) либо конечными ТЭБами (и содержат логику в виде фрагмента GPSS модели). В результате из ТЭБов с данными, отлаженных GPSS-моделей отдельных ТЭБов и установленных в структурной схеме связей между блоками, автоматически генерируется микромодель перекрестка. Учитывая имеющиеся отличия перекрестков, каждая такая модель требовала отладки.

После завершения отладки модели, на ее основе конструируется имитационное приложение – аналог действующего перекрестка, ориентированное на специалистов в области управления дорожным движением. Были сконструированы диалоги по вводу исходных данных, которые являлись изменяемыми факторами в экспериментах. Пример одного из таких диалогов, построенного на основе изображения фаз переключения светофоров, используемых на практике, приведен на рис. 4.

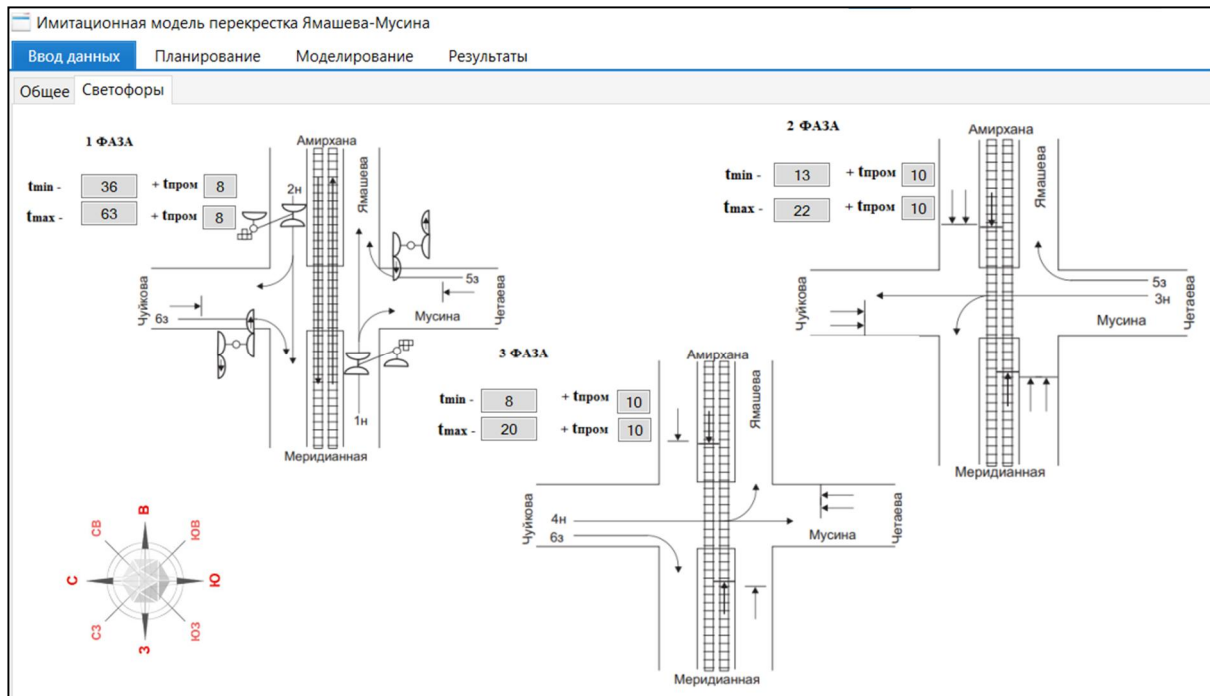


Рис. 4. Вкладка «Ввод данных» раздел «Светофоры»

Далее для приложения были разработаны формы представления и диалоги анализа интересующих нас базовых показателей работы модели: загруженность перекрестка по каждому из направлений, длины очередей, длительности работы каждой фазы светофоров, количество машин, пересекших перекресток по каждому из направлений, и т.д. Данные показатели формируются в табличной и графической форме.

Кроме стандартных форм с базовыми показателями, в данном приложении была создана форма, содержащая интегральные показатели и отражающая предметную специфику работы перекрестка, – 3D анимация перекрестка. Фрагмент анимации приведен на рис. 5.

Разработанная библиотека моделей уже использовалась при практических исследованиях. В частности, анализировалась работа одного из наиболее проблемных перекрестков «Пушкина-Бутлерова-Профсоюзная-Проспект Универсиады». В часы «пик» там возникали огромные пробки – с утра при въезде со стороны проспекта Универсиады, а вечером во все направления из центра города. Необходимо было найти такой режим работы и подобрать последовательность и длительность фаз переключения, которые бы увеличили пропускную способность перекрестка и уменьшили бы длину пробок.

В результате проведенного экспресс - исследования удалось найти режим, позволяющий значительно уменьшить длину пробок и время ожидания в них. Более детальное исследование продолжается и направлено в поиске наилучших режимов управления светофором в динамике дня.

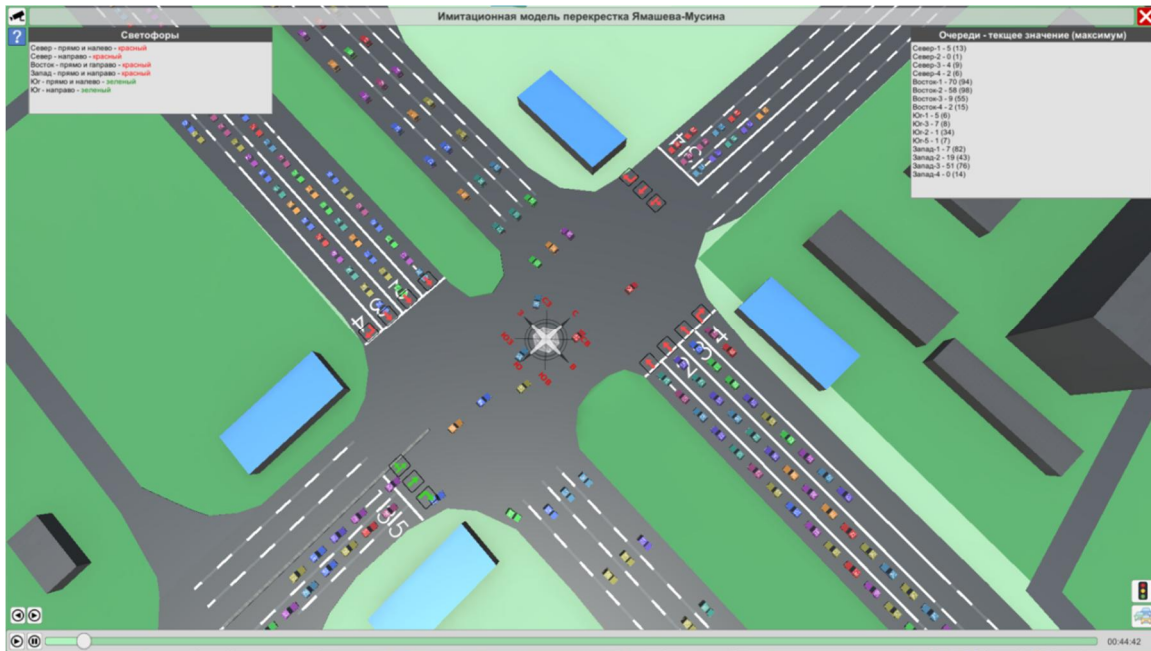


Рис. 5. Анимация работы перекрестка «Ямашева-Мусина»

### Заключение

Проведенная работа еще раз подтвердила высокий потенциал использования ИМ при решении задач транспортного планирования. В короткие сроки с использованием общецелевого языка ИМ удалось создать технологию быстрого конструирования моделей перекрестков и проведения исследования их работы. В плане развития созданных моделей необходим учет пешеходных потоков на перекрестках. Этот момент учесть достаточно легко, но сдерживает отсутствие постоянного и надежного источника статистики об этих потоках.

Для построения единой модели выбранного сегмента УДС в дальнейшей работе предстоит объединить микромоделли перекрестков, получить определенную зависимость перекрестков друг от друга и использовать эти зависимости в общей модели.

### Литература

1. Официальный транспортный сайт города Казани (МКУ АСУДД). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://kazantransport.ru/asudd/139/> (Дата обращения: 30 октября 2021 г.).
2. Официальный сайт компании PTV Group (Германия). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://company.ptvgroup.com/ru/> (Дата обращения: 30 октября 2021 г.).
3. Официальный сайт компании Aimsun (Испания). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.aimsun.com/> (Дата обращения: 30 октября 2021 г.).
4. Официальный сайт компании INPRO (Канада). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.inrosoft.com/en/products/emme/> (Дата обращения: 30 октября 2021 г.).
5. Официальный сайт компании SIMETRA (Россия). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://apluss.ru/> (Дата обращения: 30 октября 2021 г.).
6. Официальный сайт компании Малленом Системс (Россия). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.mallenom.ru/resheniya/po-otrasliam/road-manager/> (Дата обращения: 30 октября 2021 г.).

7. **Михеева Т.И., Михеев С.В., Головин О.К.** Интеллектуальная транспортная геоинформационная система ITSGIS // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы: материалы IV Международной научно-практической конференции. Казань: НЦБЖД, 2016. С. 362-368.
8. **Алиев А.С., Стрельников А.И., Швецов В.И., Шершевский Ю.З.** Моделирование транспортных потоков в крупном городе с применением к Московской агломерации // Автоматика и Телемеханика. №11, 2005 г. С. 113-125.
9. **Карпов Ю.Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
10. **Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В.** Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, Вузовский учебник, 2018. 283 с.