

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ПОДХОД ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СЕГМЕНТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Минниханов Р.Р., Девятков В.В.

ООО «Элина-Компьютер», Казань, Россия
r@sumus.fund, vladimir@elina-computer.ru

Маряшина Д.Н.

КНИТУ-КАИ, Казань, Россия
d@alina.computer

Девятков Т.В., Федотов М.В.

ООО «Элина-Компьютер», Казань, Россия
the-9th@yandex.ru, f.maxmax@yandex.ru

Габалин А.В., Шувалов К.И.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
gabalina@bk.ru, kshuvalov@yandex.ru

Аннотация. Предлагается усовершенствованный подход к построению имитационных моделей сегментов улично-дорожной сети для повышения эффективности функционирования дорожной инфраструктуры и автоматизации выработки управляющих решений при различных сценариях изменения интенсивности потоков транспортных средств, параметрах работы светофорных объектов и организации дорожного движения в целом. Отмечается возрастающая роль имитационного моделирования при функционировании интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: имитационное моделирование, интеллектуальная транспортная система, улично-дорожная сеть, ALINA GPSS.

Введение

С постоянным ростом численности населения, развитием городов обеспечение безопасного и эффективного управления дорожным движением становится все более сложной задачей. Во многих городах успешно применяются автоматизированные системы управления дорожным движением (далее АСУДД). Входящие в их состав различные технологии и методы по оптимизации работы светофорных объектов и других элементов дорожной инфраструктуры, позволяют создавать более эффективную, безопасную и экологически устойчивую транспортную систему в городе. Однако, усложнение структуры улично-дорожной сети (далее УДС) – застройка городов, появление новых транспортных развязок, введение новых перекрестков, диктуют новые требования. Недостаточно корректировать лишь существующую дорожную сеть, необходимо иметь возможность оперативной оценки состояния транспортных потоков (далее ТП) и выработки наилучших управляющих решений при изменении структуры УДС.

Авторами данной статьи предлагается подход к построению инструментов анализа, оценки и совершенствования транспортных систем, основанный на использовании метода имитационного моделирования. Данный подход позволяет не только улучшать параметры управления дорожным движением на существующей инфраструктуре, но и проводить прогнозный анализ организации дорожного движения (далее ОДД) на новых или реконструируемых сегментах УДС.

1. Общая концепция

В результате, разработан комплекс программных инструментов для статистической оценки и количественного анализа городских транспортных систем. Данный комплекс способен повысить эффективность функционирования дорожной инфраструктуры УДС и обеспечить автоматизацию выработки управляющих решений при различных сценариях изменения интенсивности потоков транспортных средств (далее ТС), параметрах работы светофоров и параметров ОДД в целом.

Задачами, решаемыми с помощью комплекса, являются:

- проверка проектных решений по модернизации инфраструктуры и совершенствованию ОДД в рамках выбранного сегмента УДС;
- обеспечение оперативной поддержки служб и ведомств при принятии управленческих решений в случае возникновения инцидентов на данном сегменте УДС;
- предоставление территориальным органам исполнительной власти оперативных и долгосрочных прогнозов о текущей транспортной ситуации и ее дальнейшему развитию на сегменте УДС;

- повышение эффективности планирования текущих ремонтных, аварийных работ и взаимодействия служб, ответственных за содержание и обустройство автомобильных дорог;
- предупреждение кризисных ситуаций на автодорогах за счет прогноза, основанного на результатах мониторинга данных и моделирования в единой цифровой модели;
- повышение эффективности реагирования при выполнении мероприятий по предупреждению и ликвидации инцидентов.

1.1. Архитектура программного комплекса

В основе решения лежит транспортная имитационная модель, реализованная на языке GPSS World Core, в рамках отечественной платформы прогнозного управления ALINA GPSS. Для автоматизированного создания имитационных моделей любых перекрестков создан специальный графический редактор перекрестков. После выбора сегмента УДС, с помощью редактора создаются модели отдельных перекрестков, входящих в УДС и затем они объединяются в единую модель.

В дальнейшем, для более наглядного представления подхода, описание программного решения будем рассматривать на примере практического его применения – при создании единой информационной модели (далее, ЕИМ) сегмента УДС в г. Казани, реализованного для ГБУ «Безопасность дорожного движения» [1].

С точки зрения программной архитектуры, в программном комплексе реализованы – отдельные имитационные модели перекрестков, имитационные модели сегментов УДС, различные аналитические, расчетные и визуальные программные модули, базы исходных данных и результатов, программный планировщик (диспетчер) и различные форматы обмена между отдельными программными модулями, сервером и клиентскими местами.

В самом общем виде состав и архитектуру программного комплекса, при его реализации в случае ЕИМ, можно отобразить следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Архитектура программного комплекса на примере ЕИМ

В части имитационных моделей, концептуально программный комплекс охватывает два уровня моделирования транспортных систем: микромоделирование (отдельные модели перекрестков) и моделирование среднего уровня сложности (модели сегментов УДС).

Все имитационные модели в комплексе создаются в парадигме дискретно-событийного моделирования – дискретного времени, списков событий, динамических ТС, взаимодействующих друг с другом по принципу «каждый с каждым». Минимальным объектом моделирования является отдельное транспортное средство. Минимально возможный такт времени – одна секунда. Максимальный размер моделируемого сегмента УДС, в рамках одной модели, составляет 25 перекрестков и ограничивается ограничениями размерности по числу объектов в языке GPSS World Core и вычислительной мощностью персональных компьютеров. Такая размерность модели, созданной на микроуровне, является существенно выше, чем у других общецелевых языков ИМ [2, 3].

Основным программным инструментом создания приложения является среда моделирования GPSS Studio [4]¹ и редактор перекрестков. Для расширения возможностей инструмента моделирования, реализации сложных алгоритмов обработки и расчетов, взаимодействия с внешними источниками данных и формирования результатов моделирования – используется общецелевая платформа программирования C#. Хранение и использование статистических данных о потоках ТС осуществляется в БД «Поток», созданной с использованием СУБД PostgreSQL. Статистические данные передаются в БД «Поток» с помощью специального API из БД умных светофоров АСУДД.

Программный комплекс оформлен как распределенное программное приложение, клиентскую часть которого, для подготовки экспериментов и анализа их результатов, можно разместить на компьютерах пользователей, а установку части, выполняющую основные вычисления, например, исполнение имитационных моделей и хранение данных, осуществлять на удаленном сервере.

1.2. Группы пользователей

Основными пользователями программного комплекса могут быть специалисты и руководители ГИБДД и предприятий, занимающихся организацией дорожного движения, а также специалисты предприятий, для которых необходим прогноз транспортной ситуации в сегменте УДС для выполнения своих производственных функций. В связи с этим, все пользователи комплекса разделены на следующие группы:

- **Руководители ГИБДД** – осуществляют: общий обзор ситуации, самостоятельно или по ранее выданным заданиям своим специалистам, по анализу работы сегмента и отдельных перекрестков в рамках одного из сценариев, имеющегося в модели;
- **Специалисты ГИБДД и ГБУ БДД** – осуществляют: анализ текущей дорожной ситуации сегмента УДС; нахождение наилучшего решения при устранении затруднений в сегменте УДС; согласование разрешений на ремонтные работы и проведение мероприятий; совершенствовании ОДД в сегменте; формулируют рекомендаций по модернизации инфраструктуры сегмента;
- **Руководители и специалисты предприятий по ремонту дорожного покрытия** – проводят эксперименты с моделью сегмента, в соответствии с профессиональными потребностями. Например, для проверки возможности и выбора наилучшего графика проведения ремонтных работ в заданном направлении;
- **Руководители и специалисты проектных и строительных организаций** – проводят эксперименты с моделью сегмента в соответствии с профессиональными потребностями, связанными с проектированием и установкой новых светофорных объектов, совершенствованием ОДД на новом или модернизируемом перекрестке;
- **Руководители и специалисты муниципальных предприятий по устранению аварий на городских сетях** – анализируют влияние аварии на движение транспорта по УДС в этот период. Это позволит оперативно определить время до возникновения значительных проблем в движении и по возможности устранить аварии в указанный временной период;
- **Руководители и специалисты предприятий при планировании и организации массовых мероприятий** – проводят эксперименты с моделью при подготовке к проведению спортивных мероприятий, концертов, праздничных мероприятий для доказательства в ГИБДД возможности изменений схемы движения, без наступления коллапса;
- **Администратор** – обеспечивает наблюдение за функционированием системы, разрешение возникающих инцидентов, восстановление комплекса после сбоев и так далее.

1.3. Исходные данные комплекса моделей

Все исходные данные, используемые в модели, можно разделить на несколько типовых групп:

- **Данные о потоках ТС** – статистика интенсивности потока ТС, попадающих в сегмент (динамика интенсивности в период эксперимента, изменение состав потока ТС) на перекрестках, въездах (примыканиях). Статистика изменения состава ТС (по типам автомобилей) в период эксперимента. Вероятности изменения направления движения ТС на съездах и перекрестках;
- **Данные о потоках пешеходов** – статистика интенсивности пешеходов на каждом регулируемом/нерегулируемом пешеходном переходе;

¹GPSS STUDIO [126734] включена в Реестр по Приказу Минкомсвязи РФ от 05.07.2018 №347, Приложение 1, №пп.83, реестровый № 4615

- **Параметры движения ТС** – скоростной режим, диапазон изменения скоростей движения, условия совершения обгона, минимальное расстояние между ТС и т.д.;
- **Базовые характеристики инфраструктуры сегмента** – количество перекрестков, характеристики светофорных объектов на перекрестках, наличие, тип и количество пешеходных переходов на перекрестках;
- **Детализация каждого перекрестка** – тип перекрестка, геометрические параметры, описание направлений и отдельных участков дорог, наличие и количество полос в каждом направлении, действующая разметка дорог и т.д.;
- **Организация движения** – установленные знаки, скоростные режимы, разрешения поворотов; параметры светофоров (действующие фазы светофоров, длительность циклов зеленого, красного и желтого сигналов).

Исходные данные о потоках ТС для имитационных моделей можно получить из различных источников: баз данных по работе умных светофоров, накапливаемые автоматически в вычислительной системе АСУДД; данные о видеопотоках, полученных с видеокамер на перекрестках. В случае отсутствия необходимых данных, требуется ручной сбор данных. Методики проведения такого сбора в научном плане достаточно хорошо проработаны [5, 6], но приводят к большим затратам времени и наличию специально обученных сотрудников. В качестве данных об инфраструктуре перекрестков и ОДД служат данные из технических паспортов перекрестков, схемы ОДД и других источников, получаемых в ГИБДД.

1.4. Показатели работы модели

При создании программного комплекса важно отразить как общие показатели работы системы (очереди, загрузку, средние времена и т.д.), учесть нюансы, присущие именно транспортным системам, так и сформировать необходимые и привычные конечным пользователям показатели [7].

Результаты моделирования были классифицированы по следующим признакам:

- Принадлежности их к конкретному пользователю. Каждый пользователь видит результаты только своих экспериментов;
- По типу моделируемого объекта в эксперименте. Пользователь всегда сможет понять – модель какого перекрестка или модель сегмента представляет тот или иной эксперимент;
- Результаты показывают динамику функционирования системы или итоговый результат;
- Форма представления результатов – текстовая, графическая, анимационная, файлы в формате других программных систем.

Динамика изменения показателей в процессе моделирования и итоговые показатели – это детализация результатов конкретных экспериментов. Всегда важно видеть не только итоговый результат моделирования, но и понимать, как изменялся тот или иной показатель в процессе моделирования. Это дает возможность определить диапазон изменения показателя (его минимум и максимум), частоту колебаний, функциональную зависимость показателя от времени и т.д. А итоговый результат является квинтэссенцией всего эксперимента, позволяющий зафиксировать результат, сделать обобщающие выводы и заключения.

Исключительно важно для наглядности представления и полноты восприятия выбрать форму представления результата. Как и в любой интерактивной системе использовался принцип разумной необходимости и достаточности для отображения результата в эксперименте с учетом возможностей имеющихся программных инструментов. Иногда достаточно одного числа или фразы для понимания пользователем ситуации. Если для конкретного результата этого было достаточно, то результат оформлялся в виде текстовой строки. Но, чаще всего, требуются более сложные формы представления результатов. Для структуризации и визуального количественного сравнения результатов необходимы – таблицы, графики и анимация. Для максимального приближения к предметной области и формам, используемым конечными пользователями в работе, также формируются итоговые отчеты в формате таблиц MS Excel.

1.5. Концепция исследований в программном комплексе

В самом обобщенном виде, группы сценариев анализа, оценки и исследования УДС, которые позволяют реализовать в рамках программного комплекса, можно сформулировать следующим образом:

- Проведение детального количественного и качественного анализа текущей транспортной ситуации УДС. Выявление «узких мест» («Когда и где возникают пробки?», «Как формируются и сколько делятся пробки?», «Как снижается пропускная способность в часы пик?» и т.д.). Подсчет

количественных характеристик: максимум и минимум очередей, времени проезда ТС, фактическая пропускная способность перекрестков. Анализ динамики их изменения во времени;

- Составление прогноза функционирования перекрестков и сегмента в целом, при планируемом изменении интенсивности движения потоков ТС – «Как изменяться количественные показатели длин очередей, времени проезда и фактической пропускной способности?», «Имеется ли еще резерв инфраструктуры?», «Требуется ли корректировка организации дорожного движения?» и т.д. Формулирование обоснованных выводов и рекомендаций по необходимости модернизации сегмента;
- Проверка влияния иных факторов на движение ТС по перекресткам сегмента и выявление возникновения плановых или форс-мажорных обстоятельств, которые сильно влияют на транспортную систему. Например, ремонт отдельных полос и направлений, различных аварий на коммунальных сетях (затрагивающих дороги), проведение массовых мероприятий и т.д. В этом случае возможна выработка наиболее подходящих расписаний для перекрытия дорог в плановых случаях и оценка длительности затруднений при авариях.

Конкретных сценариев, в зависимости от направлений использования, может быть сформулировано достаточно большое число. В первую очередь это зависит от глубины применения имитационного моделирования разными группами пользователей, их профессионализма и креативности.

Если представить транспортную модель в виде «черного ящика» со входом в виде данных и выходом в виде результатов и укрупнив возможные действия пользователя, схему работы с программным приложением можно представить в виде следующего алгоритма (рис. 2).



Рис. 2. Обобщенная схема реализации сценария

Как было описано выше, основу программного комплекса составляют отдельные имитационные модели перекрестков, имитационные модели сегментов УДС. Разработкой моделей занимается транспортный инженер. В приложении, предоставляемом конечным пользователям, редактирование большинства параметров инфраструктуры, геометрии дорог, алгоритмов и правил дорожного движения не доступны. Тем не менее, количество параметров, которые пользователь может изменять достаточно большое, это сотни характеристик и факторов. Например, интенсивность потоков при входе на каждый перекресток (по любому направлению и даже полосе), скоростные ограничения на отдельных участках дорог, разрешение/запрещение поворотов и разворотов, перекрытие отдельных полос и направлений и т.д. и т.п.

В табл. 1 приведены примеры групп варьируемых параметров для проведения экспериментов.

Таблица 1. Примеры варьируемых параметров при проведении экспериментов

№	Группа варьируемых параметров	Возможные границы вариации
1	Интенсивность потоков ТС, поступающих на перекресток или сегмент (в рамках направления, полосы или перекрестка в целом)	Возможны любые значения, но обычно ограничиваются разумными для сегмента значениями по данным имеющейся статистики
2	Последовательность и длительность фаз на светофорах сигнальных групп	Находятся в диапазоне, принятом при организации ОДД в светофорных группах
3	Средние скорости движения ТС	Должны находиться в рамках установленных скоростных ограничений
4	Скоростные ограничения	В рамках, допустимых правилами дорожного движения
5	Препятствия по проезду	Либо на дороге определенного направления, либо на полосе
6	Разрешение или отмена поворотов	Либо разрешен, либо запрещен
7	Интенсивность пешеходов	В разумных для возможностей человека и определенных регламентами ГИБДД рамках

В каждом конкретном сценарии анализируются определенные группы показателей, которые наиболее точно оценивают исследуемую проблему. В табл. 2 приведены примеры групп показателей, доступных при анализе экспериментов, проведенных в программном комплексе.

Таблица 2. Примеры анализируемых пользователем групп показателей

№	Группа анализируемых показателей
1	Количественные характеристики перекрестка в виде таблицы: итоговое количество ТС, итоговая пропускная способность, время проезда (минимальное, среднее, максимальное), скорость ТС (минимальная, средняя, максимальная)
2	Динамические (в процессе моделирования) графики зависимости характеристик направления перекрестка от времени – пропускной способности (ТС/час), среднего времени проезда (сек), средней скорости ТС (км/час)
3	Анимация движения ТС по выбранным перекресткам
4	Динамические (в процессе моделирования) графики зависимости характеристик участка от времени – количество ТС, коэффициент загруженности участка (от 0 до 1), пропускной способности (ТС/час), среднего времени проезда (сек), средней скорости ТС (км/час)
5	Анимация движения ТС по всему сегменту в целом
6	Итоговые количественные характеристики по направлениям перекрестка: количество ТС, пропускная способность, время проезда (минимальное, среднее, максимальное), скорость ТС (минимальная, средняя, максимальная)
7	Итоговые количественные характеристики по участкам перекрестка: количество ТС, пропускная способность, время проезда (минимальное, среднее, максимальное), скорость ТС (минимальная, средняя, максимальная)

2. Пример исследования сегмента УДС в г. Казань

Как уже говорилось, в качестве оценки адекватности подхода и работоспособности программной технологии была создана единая информационная модель (ЕИМ) одного из сегментов УДС города Казани. В состав сегмента вошли все участки дорог, в том числе и имеющиеся на них перекрестки, пешеходные переходы и светофорные объекты. В самом общем виде сегмент показан на рис. 3. Данный сегмент является одним из важнейших и показательных сегментов в транспортной сети города Казани:

- Во-первых, рассматриваемый сегмент УДС пересекает центр города и возникновение затруднений при движении по нему, сразу отразится на всех важнейших участках в центре, а далее распространится и по всей транспортной сети города;
- Во-вторых, весь сегмент полностью оборудован умными светофорами, при управлении которыми применяется адаптивное управление и имеется актуальная статистическая информация о потоке ТС;
- В-третьих, данный сегмент – это самый короткий путь из южных жилых микрорайонов в центр города и далее в промышленные и жилые районы. По интенсивности, этот сегмент УДС является одним из самых загруженных;

- В-четвертых, данный сегмент интересен пиковыми нагрузками в отдельные периоды. Он обеспечивает высокую пиковую интенсивность выезда из города на Оренбургский тракт по пятницам, особенно в дачный период – одна из типовых проблем в транспортной сети.

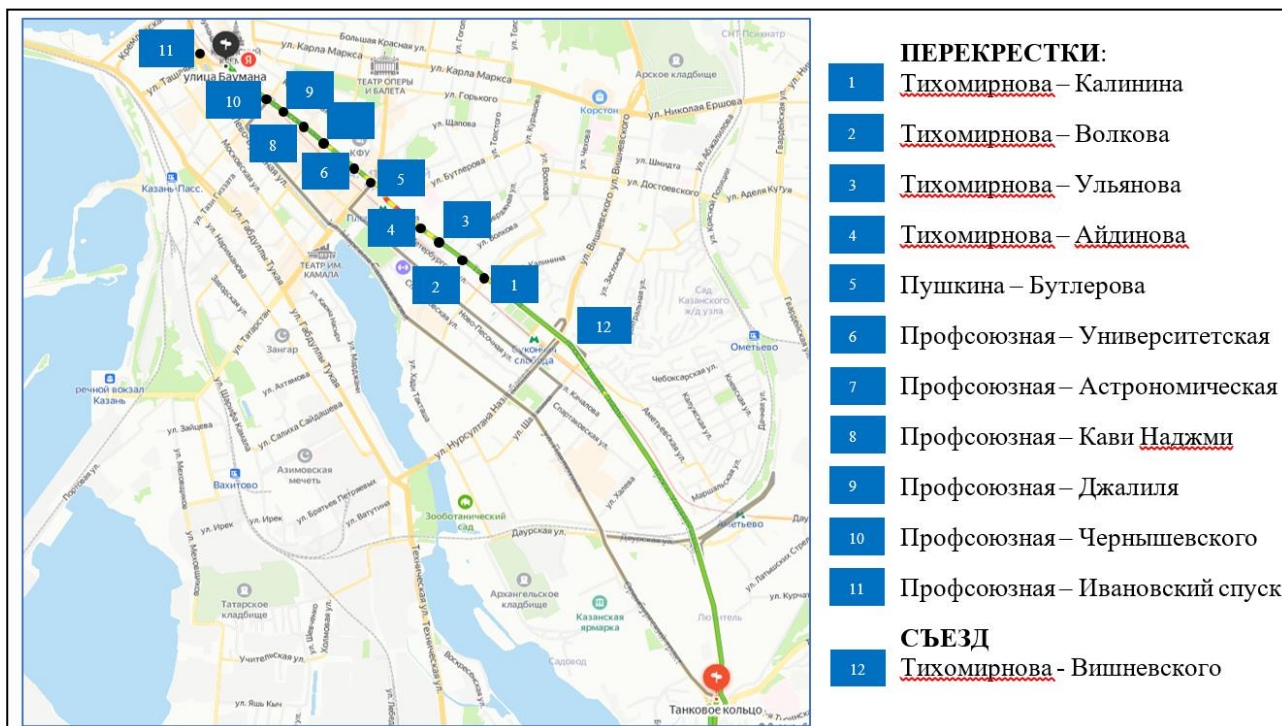


Рис. 3. Сегмент УДС, реализованный в ЕИМ

Все входящие в состав сегмента перекрестки, оборудованы умными светофорами и используют адаптивную систему управления движением на основе программно-аппаратной платформы OMNIA/UTOPIA, используемой в г. Казани.

Методически, действия пользователя в ЕИМ при проведении исследования сегмента УДС можно разбить на ряд основных этапов.

2.1. Подготовка исходных данных

При запуске ЕИМ пользователь выбирает предподготовленную модель одного из перекрестков, входящих в состав рассматриваемого сегмента УДС, или сегмент целиком. На рис. 4 представлено окно работы с данными эксперимента для сегмента УДС.

Пользователь может определять при подготовке данных – диапазон времени и продолжительности эксперимента, интенсивность потоков ТС. При этом следует отметить, список имеющихся въездов на перекресток формируется автоматически и для каждого перекрестка отличается.

Пользователю доступно пять вариантов ввода данных об интенсивности ТП:

1. Задание средней интенсивности по всем полосам (ручной ввод с клавиатуры значения в специальной диалоговой секции);
2. Выбор интенсивности по умолчанию (установка указателя выбора мышью);
3. Задание произвольной интенсивности ручным способом (установка указателя выбора мышью);
4. Выбрать значение интенсивности из данных «умных перекрестков» (установка указателя выбора мышью);
5. Получить данные из внешнего файла формата MS Excel, подготовленного заранее (установка указателя выбора мышью).

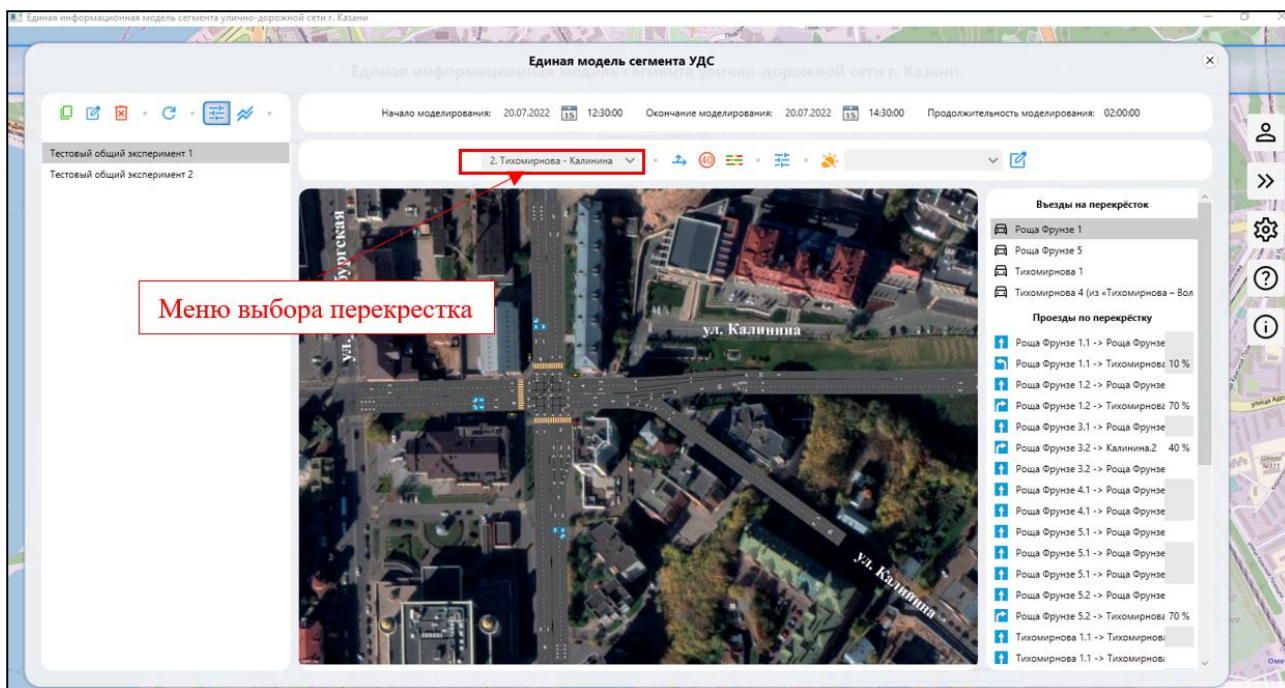


Рис. 4. Окно работы с данными эксперимента для сегмента

В целом перечень данных, которые может изменять пользователь, достаточно большой, среди них можно выделить следующие основные параметры:

- Изменение направления движения транспортных средств на перекрестке – введение/отмена поворотов, разрешение/отмена разворотов, разрешение/отмена движения по полосе прямо;
- Добавление ограничений скорости – расстановка знаков ограничения скорости, а также знаков, связанных с ремонтом дорог;
- Задание параметров светофоров и циклограмм перекрестка (рис. 5). Пользователь может разработать циклограмму самостоятельно или внести изменения в уже существующую: добавить сигнальную группу; изменить общую длительность цикла регулирования; изменить длительность выбранной фазы; добавить/удалить фазу;
- Задание общих параметров движения ТС и пешеходов – ввод данных по скорости движения ТС и их составу, параметры движения общественного транспорта, скорость движения пешеходов по пешеходным переходам;
- Задание вероятностей изменения движения ТС на перекрестках – при движении ТС на перекрестках должно быть определено четко – куда после перекрестка движется автомобиль. Если в схеме движения указано, что он может двигаться только прямо, то и дополнительных данных не нужно. Но достаточно часто на перекрестках автомобили, согласно ОДД, совершают повороты и развороты;
- Задание и корректировка пешеходных переходов – пользователь может добавить/удалить пешеходный переход, добавить в модель пешеходные светофоры, изменить интенсивность потока пешеходов, прибывающих на переход или скорость их движения.

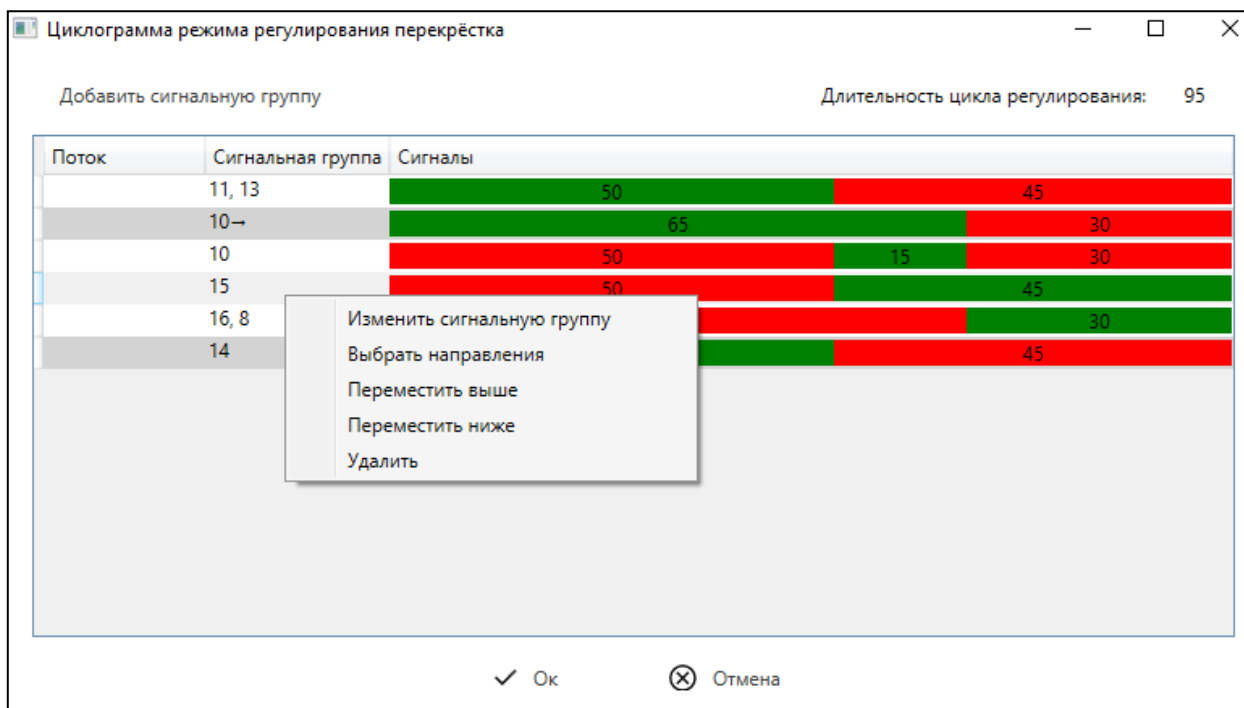


Рис. 5. Окно «Циклограмма режима регулирования перекрестка»

2.2. Проведение экспериментов и анализ результатов

После завершения всех этапов подготовки данных эксперимента, можно запустить его на моделирование. По завершении моделирования, все результаты эксперимента сохраняются в БД результатов моделирования. Результаты эксперимента содержат различные разделы показателей работы транспортной модели – в целом по сегменту (для модели сегмента), перекресткам, направлениям и участкам. Например, такие результаты, как анимация движения ТС, пешеходов и работы светофоров; статистика по времени проезда, средней скорости движения, количество ТС, пропускная способность и т.д.

Пользователю доступны следующие форматы анализа результатов:

- Просмотр результатов как единой модели, так и результатов отдельных перекрестков в режиме постанимации (рис. 6). Выполнение моделей всех перекрестков, в режиме единой модели, осуществляется синхронизировано по времени (можно отследить один и тот же автомобиль последовательно на всех экранах, где он проезжает);

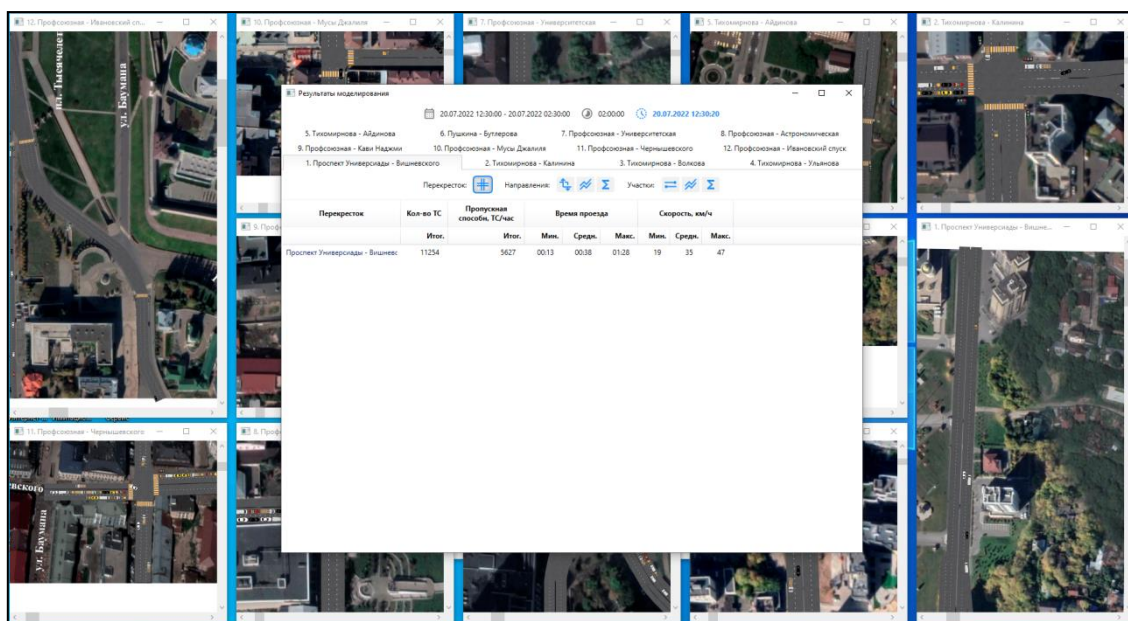


Рис. 6. Вывод анимации всех моделей и окно интегральной статистики

- Просмотр результатов в формате таблицы с итоговыми показателями по перекрестку/направлению: количество ТС, проехавших по перекрестку/направлению во всех направлениях за весь период моделирования; пропускная способность ТС в час по перекрестку/ направлению; время проезда по перекрестку/направлению (минимальное, среднее, максимальное) ТС; скорость проезда по перекрестку/ направлению проезда (минимальное, среднее, максимальное) ТС. Перекресток Пушкина – Бултерова содержит двадцать одно возможное направление движения ТС. Поэтому, анализ каждого перекрестка важно провести не в среднем, а с разбивкой на отдельные объекты, в частности направления проезда и посмотреть их влияние на общую работу. Где возникают трудности и задержки с проездом;
- Просмотр статистики по участкам дорог – иногда бывает важно точно получить статистику об участке, особенно, если этот участок является ближайшим к месту поворота или постоянного накопления пробок. Принципиально, анализ участка ничем не отличается от анализа направления. При выборе участка он также отображается на анимации, для него можно выводить статистику – текущих значений в виде таблицы, динамики изменений в ходе эксперимента в графическом представлении (рис. 7), итоговую статистику также в табличной форме;

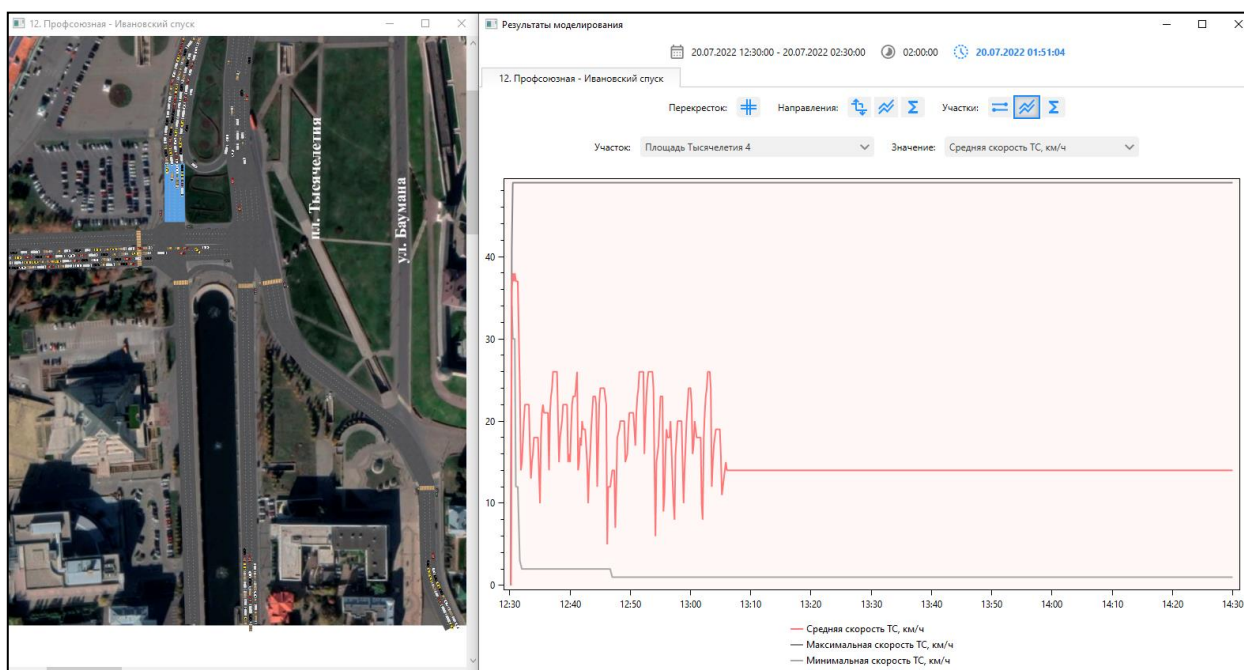


Рис. 7. Графический вывод динамики изменения скорости по участку

- Просмотр результатов экспериментов в режиме сравнения – при проведении нескольких экспериментов с одним и тем же перекрестком, очень важно сравнить показатели нескольких экспериментов. В ЕИМ предусмотрена такая возможность. Для этого необходимо при работе с деревом результатов модели выбрать два или более результатов, которые вы хотите сравнить.

3. Перспективы развития подхода

Необходимость продолжения данной работы обусловлена ситуацией с импортозамещением программного обеспечения в критически важных для государства системах. Транспорт относится к такому классу систем. Поэтому, авторами использование ИМ при исследовании транспортных систем, продолжается и начат ряд важных проектов.

В частности, применяемая в г. Казани система адаптивного управления дорожным движением OMNIA/UTOPIA, с применением умных светофоров и специальных программно-технических средств, работает удовлетворительно, обеспечивая оперативное управление потоком транспортных средств. Но данная система основана на разработке и технике из не дружественных стран, а это влечет на текущий момент высокие риски. Поэтому, начаты работы по комплексному объединению возможностей методов имитационного моделирования, машинного обучения и имитационного моделирования для создания отечественной адаптивной системы управления ТП.

Также, предполагается в дополнение к существующим и апробированным методам сбора данных (получение через протоколы API с детекторов транспорта, обработки видеоданных) освоить перспективный метод получения данных о ТП и ТС с помощью комплекса с RFID меткой [8, 9].

4. Заключение

В рамках данной работы закладывается программно-методический базис создания отечественной системы управления потоками в интеллектуальной транспортной системе. На данный момент пример создания ЕИМ является лишь прообразом будущей комплексной и полной модели. Полученный практический опыт и созданные методические и программные наработки позволят в дальнейших работах поставить и успешно решить задачи масштабирования данного подхода до уровня моделей мезауровня для транспортных районов городов и, в будущем создания комплексных решений с макромоделями городов и регионов.

Литература

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611294 Российская Федерация. Единая информационная модель сегмента улично-дорожной сети: № 2023610550: заявл. 18.01.2023; опубл. 18.01.2023 / Девятков В.В., Девятков Т.В., Маряшина Д.Н., Федотов М.В.; заявитель Республика Татарстан - субъект РФ, от имени которого выступает Государственное бюджетное учреждение «Безопасность дорожного движения».
2. Головнин О.К., Сидоров А.В., Хворов А.В. Система микромоделирования транспортных потоков на одноуровневых пересечениях автомобильных дорог // Перспективные информационные технологии: труды Международной научно-технической конференции, Самара, 26–28 апреля 2016 года. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2016. – С. 610-614.
3. Ахмадинуров М.М., Завалицин Д.С., Тимофеева Г.А. Математические модели управления транспортными потоками: монография. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2011. – 120 с.
4. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. Пособие / Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В.; под общ. ред. Девяткова В.В. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 283 с.
5. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / Якимов М.Р. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
6. Экспериментальное изучение характеристик транспортного и пешеходного движения: Методические указания к лабораторным и практическим работам по курсу «Городской транспорт и организация движения» / Булавина Л.В. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. – 30 с.
7. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учебное пособие / Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М.; Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М.; М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, Иркутский гос. технический ун-т. – Иркутск: Изд-во Иркутского гос. технического ун-та, 2007. – 208 с.
8. Вишневский В.М., Минниханов Р.Н., Барский И.В., Ларионов А.А. Гибридная система идентификации транспортных средств // Вестник НЦБЖД. 2022. № 4(54). – С. 33-41.
9. Пат. 99207 РФ, G 06 F 9/00. Автоматизированная система контроля нарушений ПДД на базе широкополосных беспроводных сетей и RFID-технологии / Вишневский В.М., Минниханов Р.Н. Заявл. 20.07.10; Опубл. 10.11.10, Бюл. № 31.