

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

И. В. Яцкив, Е. А. Юршевич, Н. В. Колмакова (Рига, Латвия)

Введение

Транспортные проблемы сегодня связаны, прежде всего, не с ограничением на топливо, как ранее, а с увеличением дорожного трафика и спроса на транспортные услуги. Все это приводит к задержкам, инцидентам, пробкам, проблемам с окружающей средой и т.д. Необходимость решения этих проблем очевидна, а методы решения различны. В докладе рассматривается возможность решения задачи оптимизации городского движения с помощью имитационного моделирования.

Основной задачей моделирования трафика на микроскопическом уровне является поддержка решений по управлению трафиком. Модель может быть использована как часть Интеллектуальной транспортной системы (ИТС), задача которой – перераспределение потоков в транспортной сети в соответствии с текущей транспортной обстановкой. Также модель может быть использована для анализа сценариев трафика при конфликтных ситуациях. Для решения этих задач модель должна функционировать в интерактивном режиме.

Возможности имитационного моделирования при разработке таких моделей безграничны. Имитационное моделирование позволяет учесть все многообразие транспортных ситуаций и их стохастическое проявление, что делает этот способ моделирования наиболее реалистичным [1, 2].

В докладе рассмотрены популярные средства моделирования трафика на микроуровне, представлен их сравнительный анализ. В качестве примера рассмотрена модель реальной транспортной развязки, выполненная в среде VISSIM 4.0.

1. Обзор пакетов для микромоделирования трафика

На сегодняшний день на рынке имитационных пакетов представлен широкий спектр инструментов, предназначенных для моделирования трафика на микроуровне. Так, в [4] приводится более 30 наименований пакетов, предназначенных для моделирования транспортных узлов и сообщений. Среди них такие пакеты, как *AIMSUN*, *PARAMICS*, *AUTOBAHN*, *IHSDM*, *INTEGRATION*, *PLANSIM-T*, *FLEXSYT-II*, *TRANSIMS*, *SimTraffic 6*, *VISSIM*, *MITSIM* и др. Перечень этих пакетов постоянно расширяется. Большинство их отличает высокий уровень сложности, дружелюбный пользовательский интерфейс и широкие возможности, которые они предоставляют в области моделирования, оптимизации, проектирования и анализа транспортной сети. Рассмотрим некоторые из этих пакетов.

IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model, USA) – набор инструментов, предназначенных для анализа безопасности и эффективности транспортных сетей. Этот пакет включает в себя модули, позволяющие предсказывать дорожно-транспортные происшествия, планировать транспортные сети, делать обзор пересечений и взаимодействий транспортных сетей, а также проводить анализ трафика.

MITSIM (MITSIMLab, USA) – набор инструментов для планирования и анализа трафика на микроуровне. С помощью *MITSIM* можно представить транспортную сеть в мельчайших подробностях. Основными элементами являются: компоненты, предназначенные для проектирования сети в мельчайших подробностях; компоненты, предназначенные для определения маршрута следования на основе OD-матрицы и вероятностного распределения маршрутов; компоненты, определяющие поведение водителя [10].

Отдельно находится в этой линейке инструментов имитационный пакет *TRANSIMS* (*Los Alamos National Laboratory, Mexico*), который отличается использованием агентного принципа моделирования трафика. Основные задачи, на решение которых он нацелен: управление трафиком, анализ расхода энергии, анализ пробок, планирование сети, обеспечение безопасности трафика [9] и т.д.

Рассмотрим более подробно три пакета, которые являются наиболее популярными в Европе: *AIMSUN*, *PARAMICS*, *VISSIM* и предназначены для моделирования трафика на микроуровне. Обозначим их свойства, связанные с областью применения, уровнем детализации транспортной сети, описанием поведения транспортных средств, поддержкой интерфейса с другими имитационными пакетами и возможностями по формированию отчетов и презентаций.

AIMSUN (*Transport Simulation System, Spain*) является составной частью имитационной среды *GETRAM/AIMSUN*, которая представляет собой целый комплекс инструментов для моделирования трафика. Пакет используется в задачах развития и анализа различных систем контроля трафика (как фиксированных, так и изменяющихся) и стратегий управления. Предназначен для моделирования трафика городских транспортных сетей, автострад и автомагистралей, кольцевых дорог и дорожных разветвлений. Поддерживается возможность управления светофором, управления трафиком путем передачи сообщений о загруженности транспортных линий и узлов. Ориентирован, в первую очередь, на специалистов в области транспорта и на лиц, занимающихся оптимизацией транспортных сетей и трафика.

В пакете отсутствуют ограничения на размер сети. Скорость запуска определяется размером оперативной памяти. Модели поведения транспортных средств определяются функциями от нескольких параметров, что позволяет моделирование различных типов транспортных сред (автомобили, автобусы, грузовики и т.д.), которые потом могут объединяться в классы. Передвижение транспортных средств реализуется двумя способами: либо по заданным маршрутам и процентному распределению потока, либо согласно заданной матрице корреспонденций. В последнем случае маршрут определяется тремя способами: ранее заложенной информацией, пересчетом маршрута согласно матрице стоимостей и сложившейся ситуации на дороге через определенные интервалы времени или путем динамического пересчета в ходе моделирования.

Поведение транспортного средства переопределяется каждую единицу модельного времени. Для смены полосы учитываются все параметры транспортного средства (его габарит, скорость, угол поворота, вес), а также параметры окружающей среды (интенсивность трафика, расстояние до ближайших автомобилей, их скорость, габариты и т.д.). Для описания поведения автомобиля используется модель Гиппса.

Реализована возможность загрузки модели транспортной сети на макроуровне, что достигается посредством интерфейса с пакетом *emme/2*. В пакете реализована возможность детального сбора статистики о состоянии транспортного потока на любом участке транспортной сети. Есть возможность сохранять данные в файлы формата *.xls, а также заносить их в базу данных ODBC формата.

PARAMICS (*PARAllel MICroscopic Simulation*) (*Quandstone Ltd., United Kingdom*) – набор программных инструментов для моделирования трафика на микроуровне. Широко используется в Великобритании и США. Пакет предназначен для моделирования транспортных узлов в городах (перекрестки, регулируемые правилами приоритета и светофорами, транспортные развязки и т.д.), моделирования перегруженных автострад, оптимизации работы общественного транспорта, съездов с автомагистралей, регулирование маршрутов, светофоров.

PARAMICS является легко переносимым и расширяемым пакетом, который позволяет реализовать подходы к моделированию трафика транспортной сети любого размера, начиная с простого перекрестка и заканчивая национальной транспортной сетью. Основным ограничением на размер сети является объем памяти и мощность процессора. Поддерживается возможность индивидуального перемещения порядка 200000 автомобилей в единицу времени. Стандартно задано 7 классов транспортных средств, однако пользователь может создать свое собственное транспортное средство. Выбор маршрута автомобилем определяется заданной таблицей стоимостей. У каждого транспортного средства есть заданный интервал времени (в среднем 1 с), через который переопределяется положение транспортного средства и его поведение. Смена полосы на дороге выполняется с учетом интервала времени и предыдущей историей автомобиля. В пакете реализован алгоритм, который задает движение автомобиля на заданной траектории маршрута. Движение регулируется физическими атрибутами автомобиля и его текущей скоростью. Так же поддерживается возможность определять маршрут согласно матрице корреспонденций.

В *PARAMICS* реализованы возможности сбора статистики и формирования всесторонних отчетов об анализе транспортной сети. Предусмотрена 2D/3D визуализация, создание презентаций и видеороликов.

VISSIM (PTV AG, Germany) – многоцелевой пакет для моделирования трафика на микроуровне. Широко используется в Европе, США и других странах. Пакет предназначен для анализа, реинжиниринга и оптимизации городских и междугородних транспортных сообщений. Позволяет моделировать городские перекрестки любой сложности и типа регулирования, анализировать пропускную способность транспортных систем и тестировать схемы транзитных приоритетов. Дает возможность управлять системами контроля альтернативных маршрутов и контроля трафика, анализировать емкость стоянок и моделировать трафик различных транспортных средств с пересечениями, пересадками на разных уровнях (автобусный маршрут, железная дорога, метро, эскалатор и т.д.) [6].

Ограничений на размер транспортной сети и количество транспортных средств пакет практически не имеет. Основным ограничением является мощность вычислительной машины. Позволяет с любой точностью детализировать схему транспортной сети, со всеми маршрутами, переходами, стоянками, остановками общественного транспорта. В потоке участвуют все виды транспортных средств, а также пешеходы (пассажиры). Реализованы стандартные типы транспортных средств (автомобили, грузовики, автобусы, трамваи, поезда, мотоциклы, велосипеды и пешеходы). Все эти виды транспортных средств можно параметризовать (габариты, мощность двигателя, распределение ускорения и торможения, вес и т.д.). При желании пользователь может задать свой тип транспортного средства. Задаются параметры интенсивности потока транспортных средств, его пропорционального состава, графики работы светофоров, вероятности выбора маршрута передвижения. Поддерживается возможность подключения матрицы назначений для описания распределения трафика.

Реализована возможность подключать матрицы корреспонденций пакетов *VISUM* и *emte/2*. Также реализован интерфейс с такими пакетами, как *TEAPACK*, *SYNCHRO*.

В пакете реализована модель Видерманна [11], которая описывает поведение водителя за рулем. В ней учитываются психофизические возможности человека: снижение внимания и времени реакции; время, необходимое для принятия решения в условиях окружающей среды.

VISSIM предоставляет возможности сбора статистики на любом участке транспортной сети и формирования отчетов, создания презентаций и видеороликов.

2. Сравнительный анализ пакетов

Для сравнения пакетов между собой выделим несколько групп критериев:

- показатели, характеризующие возможности транспортной телематики;
- особенности моделирования транспортной сети;
- перечень измеряемых показателей.

Сравнительный анализ рассмотренных выше пакетов приводится в табл. 1 [2].

Воспользовавшись критериями, приведенными в [5], проведем сравнительный анализ некоторых из существующих пакетов. Результаты анализа представлены в табл.1. Можно увидеть, что самым широким спектром возможностей в области управления и контроля трафика обладает пакет *PARAMICS*. Однако *VISSIM*, единственный из представленных пакетов, способен собирать и хранить информацию о работе общественного транспорта. В свою очередь *AIMSUN* может адаптивно управлять поездкой в ходе моделирования, меняя маршрут в зависимости от сложившейся на дороге ситуации.

Таблица 1

Анализ возможностей транспортной телематики [2]

| | Сигналы светофора «зеленая волна» | Приоритет общественного транспорта | Въезд на магистрале | Контроль трафика на автостраде | Управление инцидентами | Сигналы сообщений о переменных | Информация о региональном трафике | Статическая маршрутизация | Динамическая маршрутизация | Парковка | Информация об обществ. транспорте | Стоимость простоя | Адаптивное управление поездкой | Системы автомат. магистралей | Поддержка пешеходов и велосипедистов | Датчики автомобилей | Детекторы автомобилей |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| <i>AIMSUN</i> | • | • | | • | | • | • | | • | • | | | • | | | | • |
| <i>PARAMICS</i> | • | • | | • | • | • | • | • | • | • | | • | • | | | • | • |
| <i>VISSIM</i> | • | • | • | • | • | | | | | | • | | | • | • | • | • |

Пакеты также отличаются между собой деталями учета некоторых особенностей транспортной сети. В табл.2 приведен сравнительный анализ этих возможностей. Можно отметить, что лидером по степени детализации является *VISSIM*. В нем не реализованы только учет погодных условий и поиск парковки, которые присутствуют в пакете *PARAMICS*.

Также пакеты предоставляют разные возможности фиксации показателей транспортной сети (табл.3). Снова *VISSIM* предоставляет самые широкие возможности в сборе информации о транспортной сети и окружающей ее среде.

Таблица 2

Моделирование особенностей транспортной сети [2]

| | Природные условия | Поиск места парковки | Парковка автомобилей | Коммерческие транспортные средства | Велосипеды/мотоциклы | Пешеходы | Инциденты | Общественный транспорт | Измерение замедленного трафика | Блокировка очереди в конце (в случае пробки) | Разветвления | Круговые дорожные развязки |
|----------|-------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|----------|-----------|------------------------|--------------------------------|--|--------------|----------------------------|
| AIMSUN | | | | | | | • | • | | • | • | • |
| PARAMICS | • | • | | • | | | • | • | • | • | • | • |
| VISSIM | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |

Таблица 3

Характеристики транспортной сети, фиксируемые в ходе моделирования[2]

| | Модальное разбиение | Время поездки | Разброс времени поездки | Скорость | Затор | Регулярность общественного транспорта | Длина очереди | Безопасность магистралей | Перегрузка магистралей | Время коллизий магистралей | Взаимодействие с пешеходами | Выделения CO ₂ | Уровень зашумления | Расход топлива |
|----------|---------------------|---------------|-------------------------|----------|-------|---------------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| AIMSUN | • | • | | • | | | • | | | | | • | | • |
| PARAMICS | | • | • | • | • | • | • | • | • | | | • | • | • |
| VISSIM | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | | • |

3. Пример моделирования транспортной развязки города Риги в среде VIS-SIM 4.0

Данная модель является частью проекта, реализуемого в качестве заказа от Рижской городской думы, целью которого является исследование грузовых потоков города Риги: анализ имеющейся транспортной инфраструктуры, выявление «узких» мест, и, как следствие, предложения по развитию и усовершенствованию организации транспортного движения в целом. Предметом исследования в проекте является транспортный узел (сложная развязка), где постоянно возникают заторы. Для решения задач использовался пакет имитационного моделирования транспортных потоков на микроуровне VISSIM.

Предварительно по результатам опросов и наблюдений, основанном на анкетировании и сборе статистики, был выявлен проблемный участок (одна из сложных развязок города) – перекресток Maskavas – Slavu tilts – Krasta (названия улиц и моста). На этом участке проводились замеры интенсивности движения, фиксация процентного соотношения грузового и общественного транспорта, фаз светофоров и других необходимых данных для построения модели. Основные задачи моделирования: выбор оптимальной организации движения на перекрестке и оценка пропускной способности для каждого варианта движения; оптимизация работы сигнальных устройств; анализ мероприятий по облегчению движения грузового транспорта.

Одним из стартовых условий создания адекватной модели в VISSIM является наличие по крайней мере одной шкалированной карты, которая отображает истинную сеть. Благодаря такой возможности в пакете, модель становится максимально приближённой к реальности. На основе данной карты, а также имеющейся статистике была построена имитационная модель рассматриваемого участка, которая изображена на рис.1. В модели маршрутизация транспортных единиц задавалась в виде статичных O/D путей, где необходимо было задать модельное время и относительный поток транспортных средств на выбранном отрезке. Модель транспортного движения основана на психофизической модели движения транспортного средства Видеманна[11]. В ходе экспериментов варьировались параметры модели, чтобы интенсивность и структура транспортных потоков соответствовали наблюдаемым, – таким образом была проведена валидация модели.

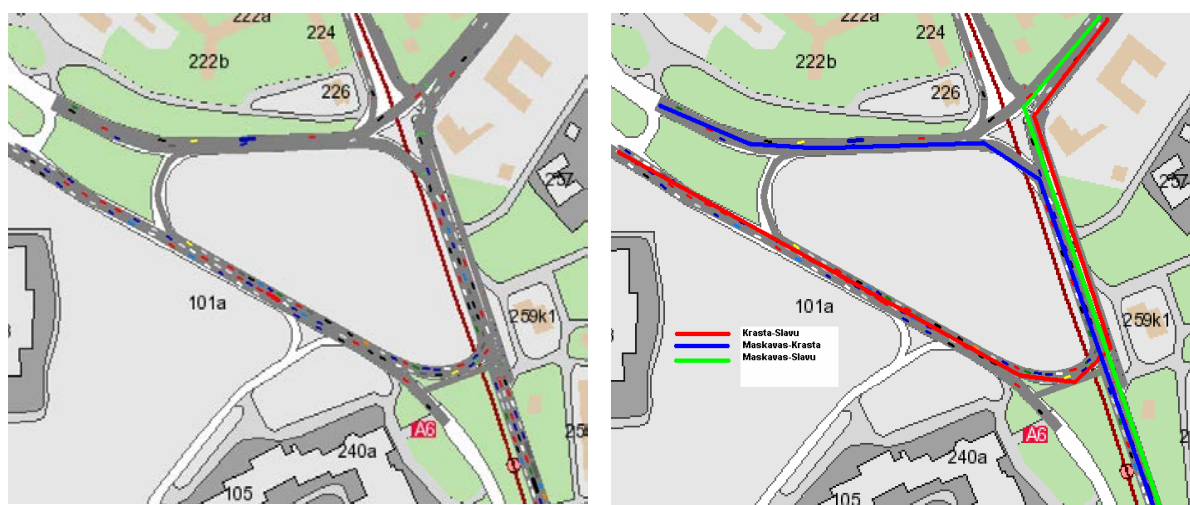


Рис. 1. Моделируемая развязка (Maskavas–Slavu tilts–Krasta) (слева) и контролируемые потоки (справа) до реструктуризации

Был предложен ряд изменений в данном узле, которые, предполагалось, дадут в целом положительный эффект в организации транспортного движения и повысят пропускную способность рассматриваемого участка. Одно из предложений состояло в следующем: вывод проезжей части напрямую с улицы Krasta на Slavu tilts (на мост) по территории существующей в настоящее время автостоянки (рис. 2). При этом система из трёх светофоров заменяется двумя. При такой реструктуризации крупногабаритные грузовые транспортные средства не создают заторы на полукольце Krasta-Maskavas для выезда на Slavu tilts. Также был проведён ряд экспериментов на модели по изменению фаз работы сигнальных устройств, и был получен оптимальный вариант (использовались данные статистики по накоплению очередей).

Рассмотрим результаты экспериментов с моделью до и после реконструкции данной транспортной развязки. На трех участках модели производилась фиксация следующих характеристик: среднее время пребывания автомобиля и их количество на участках 1, 2, 3. Фиксация характеристик проводилась через каждые 900 секунд 4 раза. Данные эксперимента представлены в табл. 4 и 5.

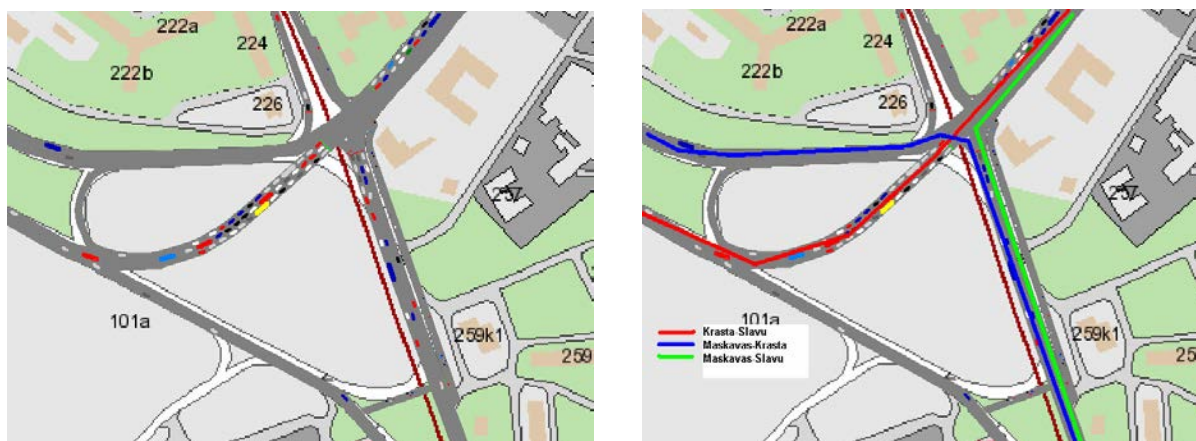


Рис. 2. Моделируемая развязка (слева) и контролируемые потоки (справа) после реконструкции

Таблица 4

Характеристики модели до внесения структурных изменений

| Номер участка замера | 1 | | | 2 | | | 3 | | |
|--------------------------------------|--|----------------------------|---------------------------|--|----------------------------|---------------------------|--|----------------------------|---------------------------|
| | Krasta-Slavu | | | Maskavas-Krasta | | | Maskavas-Slavu | | |
| Интервалы времени замера трафика (с) | Среднее время прохождения ТС участка (с) | Кол-во ТС на участке (ед.) | Интенс. потока ТС (ед./с) | Среднее время прохождения ТС участка (с) | Кол-во ТС на участке (ед.) | Интенс. потока ТС (ед./с) | Среднее время прохождения ТС участка (с) | Кол-во ТС на участке (ед.) | Интенс. потока ТС (ед./с) |
| 100-1000 | 276.1 | 117 | 0.364 | 176.9 | 57 | 0.063 | 189.9 | 169 | 0.188 |
| 1001-1900 | 306.2 | 136 | 0.361 | 184.3 | 81 | 0.090 | 199.8 | 153 | 0.170 |
| 1901-2800 | 308.4 | 162 | 0.351 | 190 | 68 | 0.076 | 192.6 | 176 | 0.196 |
| 2801-3600 | 277.7 | 124 | 0.330 | 174 | 72 | 0.090 | 182 | 161 | 0.201 |

Таблица 5

Характеристики модели после внесения структурных изменений

| Номер участка замера | 1 | | | 2 | | | 3 | | |
|--------------------------------------|--|----------------------------|------------------------------|--|----------------------------|---------------------------|--|----------------------------|---------------------------|
| | Krasta-Slavu | | | Maskavas-Krasta | | | Maskavas-Slavu | | |
| Интервалы времени замера трафика (с) | Среднее время прохождения ТС участка (с) | Кол-во ТС на участке (ед.) | Интенс. потока ТС (ед./сек.) | Среднее время прохождения ТС участка (с) | Кол-во ТС на участке (ед.) | Интенс. потока ТС (ед./с) | Среднее время прохождения ТС участка (с) | Кол-во ТС на участке (ед.) | Интенс. потока ТС (ед./с) |
| 100-1000 | 76.8 | 328 | 0.130 | 79 | 106 | 0.118 | 81.9 | 263 | 0.292 |
| 1001-1900 | 85.6 | 325 | 0.151 | 83.1 | 105 | 0.117 | 87.9 | 269 | 0.299 |
| 1901-2800 | 94.2 | 316 | 0.180 | 87.8 | 106 | 0.118 | 92 | 287 | 0.319 |
| 2801-3600 | 83.6 | 264 | 0.155 | 73.7 | 94 | 0.118 | 81.6 | 230 | 0.288 |

На рис. 3 представлен график значений интенсивности потока транспортных средств в интервале времени от 2801 по 3600 с для рассматриваемых участков до и после реконструкции.

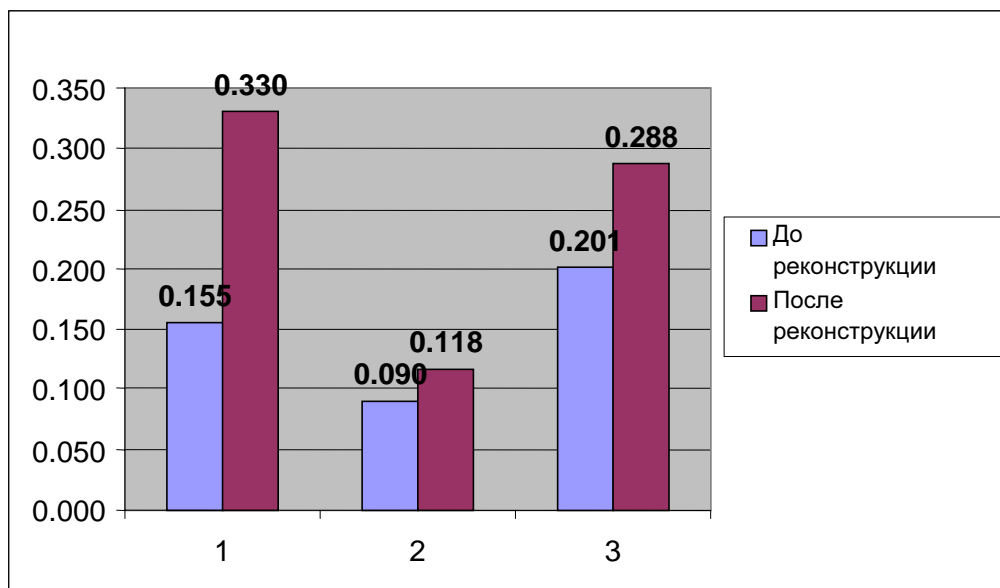


Рис. 3. Интенсивность трафика на трех участках развязки до и после ее реконструкции

Таким образом, при незначительных финансовых вложениях в реконструкцию можно получить повышение пропускной способности в рассматриваемом узле приблизительно в два раза. Следовательно, данное предложение можно считать достойным внимания и включать в перспективные планы реконструкции дорог и улиц города.



Рис. 4. Модель в 3D-формате

Заключение

Пакеты имитационного моделирования трафика на микроуровне являются имитационными средствами, которые моделируют поток индивидуальных транспортных средств через транспортную сеть. Особенности современных пакетов данного типа являются:

- способность наиболее точно воспроизводить любую геометрию дороги;
- детально моделировать поведение индивидуальных транспортных средств;
- реализовывать любую систему управления трафиком;
- расширенная 2D и 3D анимация.

Вышеперечисленные возможности, а также использование моделей поведения, берущих в расчет поведение водителя, позволяют считать данные средства элементами ИТС. Построение сложной, основанной на реальных правилах дорожного движения модели движения транспортных потоков, дает возможность тестировать всю дорожную систему на пропускную способность; прогнозировать пробки; разыгрывать всевозможные дорожные ситуации; предоставлять анимационную картинку движения транспортных потоков.

Большое внимание при разработке модели должно быть уделено созданию возможности на ее базе адаптивного управления как на локальном перекрестке или улице, так и на комплексном участке дорожной сети. Для этого необходима интеграция модели в ИТС и ее взаимодействие с общей базой данных ИТС, в которую оперативно поступает информация о текущей ситуации дорожной сети города. Система получает данные о текущих интенсивностях транспортных потоков и соответствующим образом изменяет программу координированного управления.

Использованная в докладе для разработки модели среда *VISSIM* способна моделировать не только движение городского транспорта, но и движение воздушных и морских судов. В *VISSIM* легко моделируются комплексные транспортные ситуации с высокой степенью детализации, что делает модель максимально близкой к реальности.

Литература

1. Handbook of Transport Modelling, edited by David A.Hensher, Kenneth J.Button. – Pergamon, 2000.
2. Handbook of Simulation edited by Jerry Banks. John Wiley&Sons,1998.
3. **Kenneth E.Train**. Discrete Choice Methods with Simulation. –Cambridge University Press, 2003.
4. http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisitools/tat_vol2/sectapp_e.htm#top
5. <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/append3d.html>
6. http://www.english.ptv.de/cgi-bin/traffic/traf_vissim.pl
7. <http://www.aimsun.com/aimsun.html>
8. http://www.paramics-online.com/resources/resources_docs.htm
9. <http://www.ccs.lanl.gov/transims/index.shtml>
10. <http://web.mit.edu/its/mitsimlab.html>
11. VISSIM 4.0 user manual.