

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ В ANYLOGIC (НА ПРИМЕРЕ г. ДОНЕЦКА)

А. В. Михайлов, к. т. н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В данной статье рассматривается применение программного продукта AnyLogic для имитационного моделирования в сфере оптимизации транспортных потоков на улично-дорожной сети города Донецка. Рассмотрена роль и области применения имитационного моделирования на разных уровнях абстракции. Был произведен анализ одного из проблемных перекрестков в г. Донецке на пересечении бульвара Шевченко и бульвара Шахтостроителей. Выделен ряд недостатков на рассматриваемом перекрестке. Приведены результаты натурных обследований интенсивности и структуры транспортных потоков, проходящих через перекресток, и режимы существующего светофорного регулирования. Предложены мероприятия по реконструкции рассматриваемого транспортного узла. Рекомендован вариант с уменьшенными данными тактов для светофорного регулирования. Представлены результаты имитационного моделирования в AnyLogic для разных предлагаемых вариантов оптимизации. Сделан сравнительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: AnyLogic, интенсивность, имитационное моделирование, транспортный поток, улично-дорожная сеть.



Михайлов
Александр Владимирович

Современное общество нуждается в постоянном увеличении объема транспортного сообщения, повышении его надежности, безопасности и качества. Это требует увеличения затрат на улучшение инфраструктуры транспортной сети, превращения ее в гибкую, высокоуправляемую логистическую систему. При этом риск инвестиций значительно возрастает, если не увеличивать закономерности развития транспортной сети, распределение загрузки ее участков. Игнорирование этих закономерностей приводит к частому образованию транспортных пробок, перегрузок отдельных линий и узлов сети, повышению уровня аварийности, экологическому ущербу.

Для поиска оптимальных решений и эффективных стратегий управления транспортными потоками в крупных городах и мегаполисах на стадии проектирования улично-дорожной сети и организации дорожного движения необходимо учитывать широкий спектр характеристик транспортного потока, закономерности влияния внешних и внутренних факторов на динамические характеристики смешанного транспортного потока.

Для управления дорожным движением на транспортной сети городов повсеместно используются системы управления, алгоритмы, работы которых основаны на моделях транспортных потоков. Требования к точности и сложности моделей чрезвычайно велики. Достаточно сказать, что на простейшем перекрестке может быть 12 направлений движения транспортных средств. Для участка улично-дорожной сети с 10 такими пересечениями речь идет уже о 120 направлениях и необходима минимизация задержек по каждому из этих направлений при условии, что интенсивность движения постоянно изменяется во времени и в пространстве.

Одним из возможных приемов для эффективного управления транспортными потоками, а также совершенствования организации дорожного движения в крупных городах является применение имитационного моделирования.

Целью моделирования является принятие адекватных управленческих решений. Можно также сказать, что **имитационное моделирование** – это построение компьютерных моделей и проведение экспериментов над ними [1, 2].

Имитационное моделирование доказало свою успешность во многих областях применения. Появление новых методов моделирования и рост вычислительной мощности компьютеров позволяет утверждать, что количество этих областей будет только расти. Поэтому знание концепций и методов моделирования, принципов построения моделей, и выбора средств их реализации, используя при этом современные программные продукты, являются на сегодняшний день необходимыми для поддержки принятия решений руководителем, инженером, менеджером, бизнес-аналитиком и др. На рис. 1 приведены области применения имитационного моделирования [3].

Из рис. 1 видно, что распределение областей применения имитационного моделирования соответственно используемым в моделях уровням абстракции.



Рис. 1. Области применения имитационного моделирования [3]

Современные программные среды, такие как VBA, Delphi, AnyLogic, Arena, Simula, ARIS-simulation, универсальная имитационная система Simplex 3, инструментальные среды BPWin, ARIS toolset позволяют создавать экранные формы, понятные любому пользователю, показать многофакторный анализ не только в числовой форме, а также графически интерпретировать влияние различных факторов в разрабатываемых моделях на состояние моделируемой системы [1].

Следует отметить, что, несмотря на большое количество различных пакетов прикладных программ по моделированию транспортных потоков, которыми активно пользуются специалисты в области организации дорожного движения, одним из наиболее популярных и конкурентоспособных программных продуктов по моделированию является программа AnyLogic. Выбрав этот программный продукт как основной, было предложено сделать анализ и произвести оптимизацию на микроуровне одного из проблемных участков на улично-дорожной сети г. Донецка. К микромоделям транспортных потоков относятся модели, описывающие транспортный поток на уровне отдельных автомобилей или их небольших групп. Имитационное моделирование на микроуровне позволяет максимально точно оценить результирующие показатели качества работы сети, такие как уровень задержек, средняя скорость, число остановок, уровень загрузки и т.д.

Автомобильный транспорт как один из самых распространенных, мобильных видов транспорта в г. Донецке требует наличия развитой сети автомобильных дорог с комплексом различных инженерных сооружений на них. Основными транспортными артериями города являются ул. Артема, Киевский пр-т, ул. Университетская, пр-т Ильича, пр-т Мира, бульвар Шевченко, Ленинский пр-т, ул. Петровского [4]. Согласно информации Министерства внутренних дел ДНР [5] одним из узлов концентрации ДТП является перекресток на пересечении бульвара Шевченко и бульвара Шахтостроителей.

Данный перекресток расположен рядом с рынком, который является местом притяжения людей, как на общественном, так и на легковом транспорте.

Рассматриваемый перекресток имеет множество изъянов, которые приводят к увеличению времени передвижения населения.

Можно привести ряд недостатков на рассматриваемом перекрестке, такие как:

- нарушение правил парковки возле рынка (рис. 2);
 - отсутствие карманов в зоне остановок общественного транспорта (рис. 3);
 - неэффективная система светофорного регулирования.
- Анализ рис. 2 и 3 показывает, что необходим тщательный анализ рассматриваемого перекрестка для улучшения на нем дорожных условий.
- Если учесть выше перечисленные недостатки, то улучшение ситуации на данном перекрестке приведет к:
- сокращению времени на перевозки грузов и пассажиров (за счет увеличения скорости движения);
 - снижению стоимости перевозок (за счет сокращения расхода горюче-смазочных материалов (далее ГСМ), снижения износа транспортных средств из-за неудовлетворительного качества дорог, повышения производительности труда);
 - повышению транспортной доступности;
 - сокращению числа дорожно-транспортных происшествий;
 - улучшению экологической ситуации (за счет роста скорости движения, уменьшения расхода ГСМ).

Таким образом, сложность и разносторонность задач улучшения качества состояния дорожной сети за счет повышения пропускной способности улично-дорожной сети и узлов обуславливают необходимость решения данных проблем с помощью имитационного моделирования, а мероприятия по реконструкции УДС требуют изучения фактических характеристик движения [6]:



Рис. 2. Нарушение правил парковки возле рынка в Калининском районе по бульвару Шевченко



Рис. 3. Отсутствие карманов в зоне остановок общественного транспорта на бульваре Шевченко (а) и бульваре Шахтостроителей (б)

- 1) интенсивности и структуры транспортных потоков;
- 2) интенсивности пешеходного движения;
- 3) скоростей движения транспорта;
- 4) задержек транспортных средств перед светофорами;
- 5) потоков насыщения.

Все эти характеристики транспортных и пешеходных потоков определяются методами натурных обследований.

Основная и наиболее трудная задача обследования перекрестка состоит в учете интенсивности и состава транспортных потоков и распределении их по направлениям следования.

Натурные обследования интенсивности и структуры транспортных потоков на перекрестке пересечения бульвара Шевченко и бульвара Шахтостроителей проводилось визуальным методом с помощью учетчиков. Исследование

проводилось в будний день с 7.30 до 8.30 часов утра. Данное время было выбрано в связи с предположительным максимальным количеством транспортных средств на этом пересечении.

По результатам проведенных обследований на перекрестке транспортных и пешеходных потоков по соответствующим направлениям была построена наглядная картограмма (рис. 4), которая позволяет визуальную оценить загруженность улично-дорожной сети.

Из рис. 4 видно, что перекресток имеет 12 транспортных и 4 пешеходных потока. Также можно сказать, что наиболее нагруженным является направление по бульвару Шевченко (882 авт./ч). Можно наблюдать, что и разделение этого потока на составляющие является также существенным по сравнению с другими направлениями.

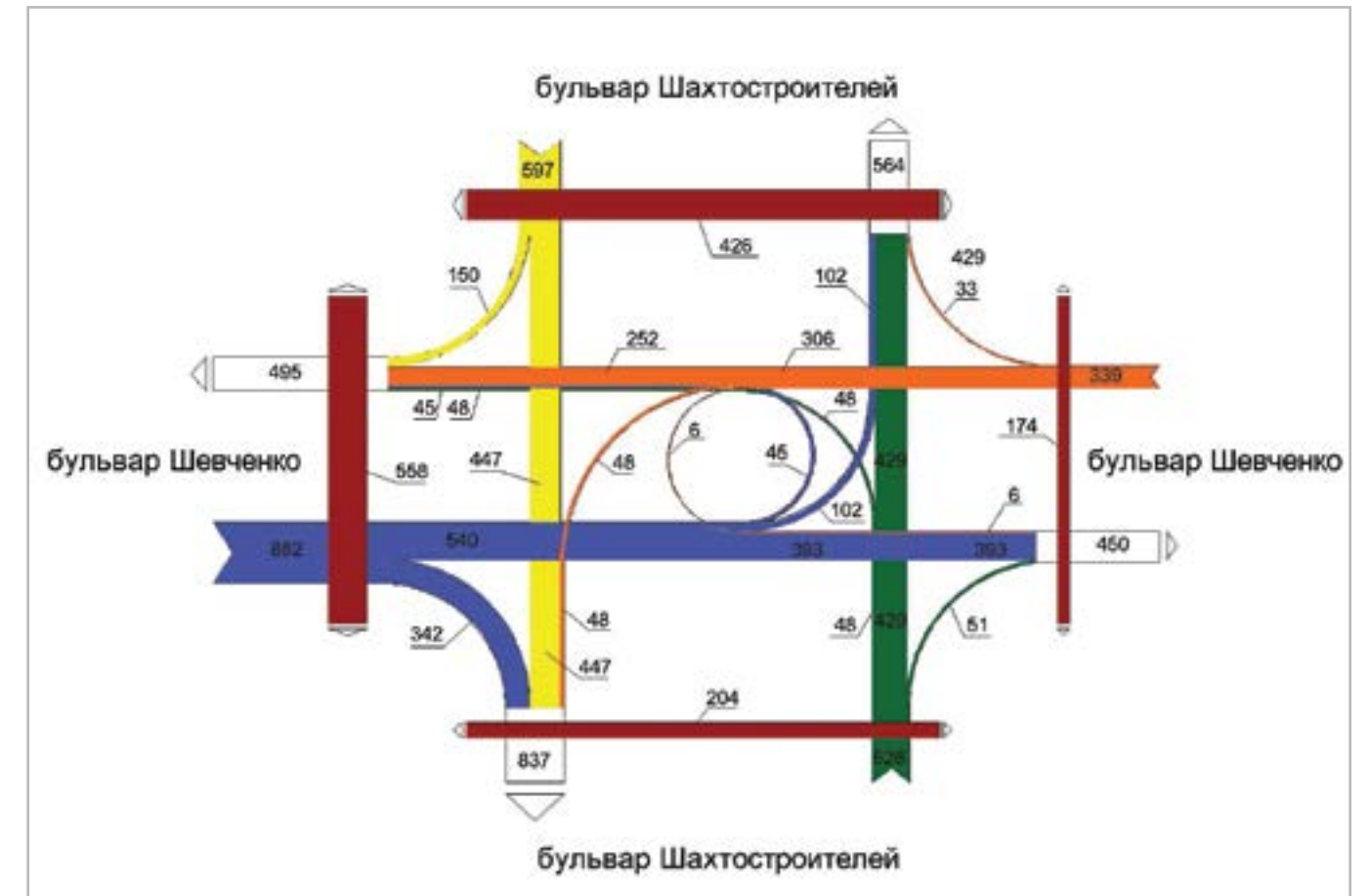


Рис. 4. Картограмма интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков

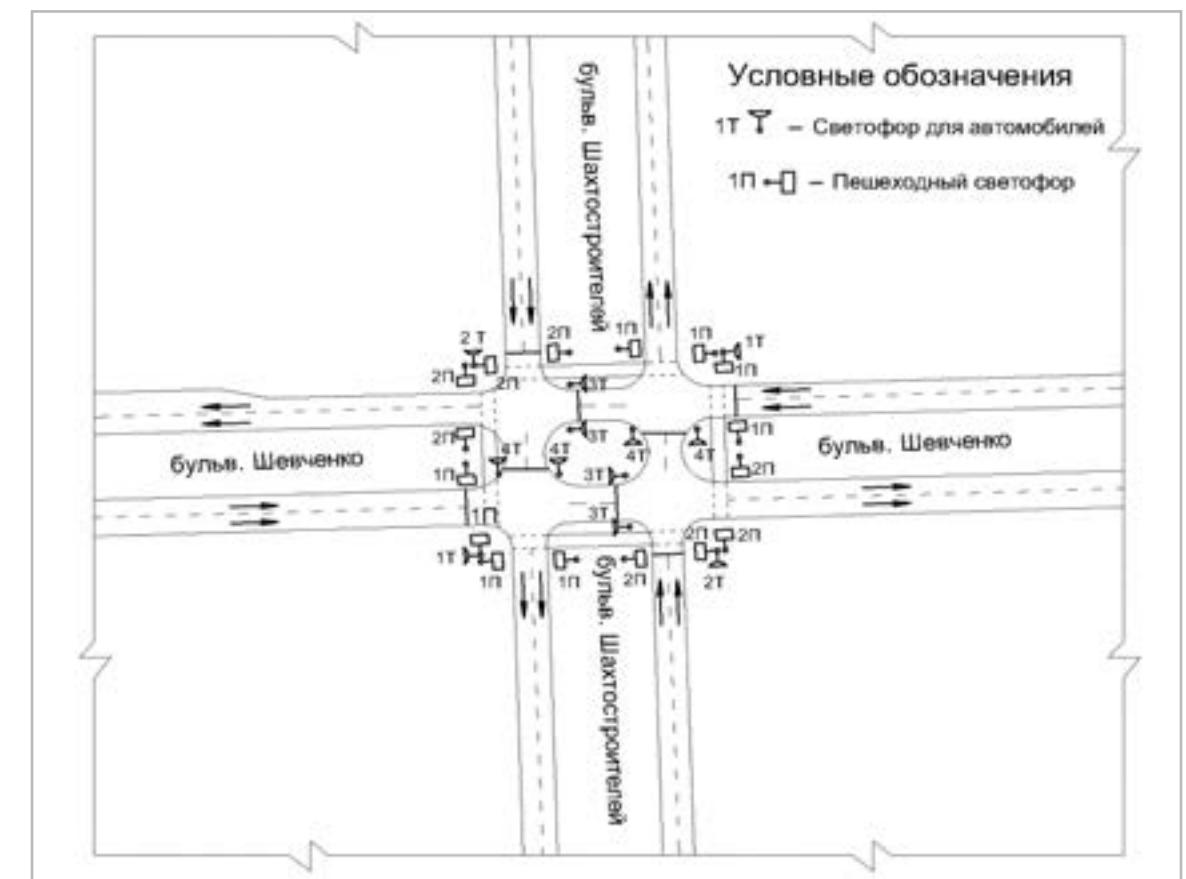


Рис. 5. Схема светофорного регулирования перекрестка

Таблица 1.

Существующие параметры длительности тактов по светофорам

Номер светофора	Тип светофора	График включения сигналов	Длительность тактов, сек				
			t_1	$t_ж$	$t_к$	$t_ж$	Всего
1	Т		32	4	34	4	74
2	Т		22	4	44	4	74
3	Т		38	4	28	4	74
4	Т		28	4	38	4	74
1П	П		34		40		74
2П	П		44		30		74



Рис. 6. Имитационная 3d модель рассматриваемого перекрестка в AnyLogic

После того как были сделаны замеры интенсивности транспортных и пешеходных потоков, автором был произведен замер длительности цикла и основных тактов светофорного регулирования с помощью секундомера. Место проведения обследований – сечение стоп-линии на рассматриваемом перекрестке. На рис. 5 изображена схема светофорного регулирования перекрестка.

Согласно визуальному осмотру и полученной схеме (рис. 5) автор получил соответствующие данные по длительности цикла и основным тактам светофорного регулирования (таблица 1).

Для выполнения задачи было решено разработать имитационную модель дорожного движения всех видов транспорта, которые присутствуют на данном перекрестке, с разными габаритами и логикой движения, в программном продукте AnyLogic и протестировать с помощью модели рабочие сценарии (рис. 6).

После всех построений был произведен сбор статистических данных. После прокручивания ситуации в течение 1-го часа автором была получена статистика о времени проезда транспортных средств через перекресток (рис. 7)

По полученным данным видно, что среднее время проезда транспортного средства через существующий перекресток составило – **80,313 сек.**

Автором было предложено провести изменение параметров светофорного регулирования длительности тактов по направлению бульвара Шахтостроителей, т.к. по этому направлению в сторону Калининского рынка движется большой поток городского транспорта, а также междугородний общественный транспорт, проходящий через этот узел, с конечным пунктом назначения на Крытом рынке. Предлагается уменьшить на 4 секунды зеленый и красный такты на первом типе светофора по бульвару Шевченко, а такты на втором типе светофора по бульвару

времяПроезда			
Кол-во	1,362		
Среднее	80.313		
Мин	25.181		
Макс	268.354		
Среднеквадр. отклонение	33.728		
Доверит. интервал для среднего	1.791		
Сумма	109,386.647		
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения
21.7	56.9	352	352
56.9	92.1	593	945
92.1	127.3	290	1,235
127.3	162.5	99	1,334
162.5	197.7	20	1,354
197.7	232.9	6	1,360
232.9	268.1	1	1,361
268.1	303.3	1	1,362

Рис. 7. Статистика времени проезда транспортных средств через перекресток с исходными данными

Шахтостроителей сделать аналогично первому. Третий и четвертый смещены на 3 секунды относительно первого и второго светофора. Так же был уменьшен желтый такт с 4-х секунд до 3-х.

В результате было получено среднее время проезда транспортного средства через перекресток с измененными параметрами светофора, которое составило – 75,228 сек.

По этим данным можно сказать, что небольшое изменение параметров светофоров приводит к улучшению обстановки и сокращению времени прохождения

транспортных средств через рассматриваемый перекресток на 6,33%.

Увеличение численности транспортных средств на рассматриваемом перекрестке однозначно будет приводить к заторам и увеличению количества дорожно-транспортных происшествий.

С этой целью автором предлагается провести реконструкцию рассматриваемого перекрестка с целью улучшения его пропускной способности. Предлагается осуществить ряд мероприятий:



Рис. 8. Размещение 2-х карманов на бульваре Шахтостроителей



Рис. 9. Уширение проезжей части на 1 полосу до перекрестка

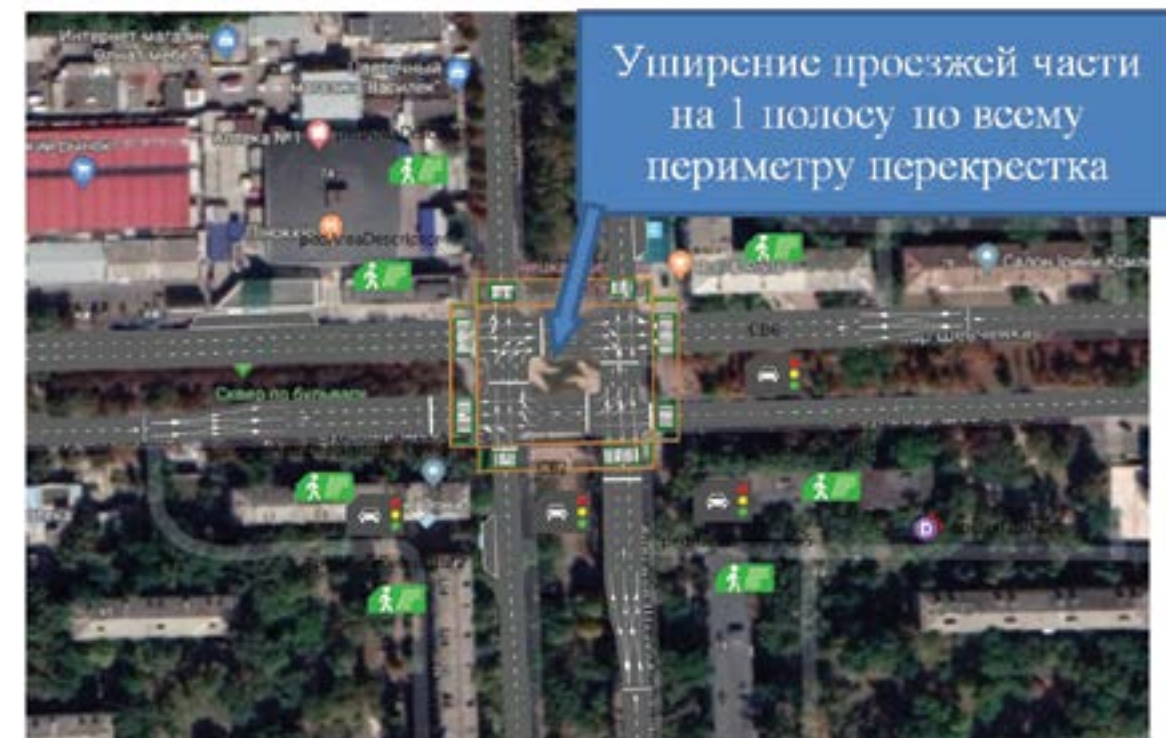


Рис. 10. Уширение проезжей части на 1 полосу по всему периметру перекрестка

— добавить 2 кармана для общественного транспорта на бульваре Шахтостроителей (рис. 8).

— сделать уширение проезжей части на 1 полосу на подъездах к перекрестку с 3-х направлений. Также предлагается сделать уширение на 1 полосу по бульвару Шевченко со стороны рынка, чтоб улучшить ситуацию с выездом машин с парковки рынка (рис. 9).

— сделать уширение проезжей части на 1 полосу по периметру перекрестка (рис. 10). После запуска модели и проигрывания ее в течение часа получаем статистику

времени проезда через перекресток после реконструкции с существующими параметрами циклов и тактов светофоров. В результате среднее время проезда транспортного средства через перекресток составило 75,829 сек., что уже на 4,484 сек. меньше значений перекрестка до реконструкции.

Далее предлагается взять новые параметры светофора, которые были приняты, и применить их к рассматриваемому перекрестку после условной реконструкции. Сравнение результатов по среднему времени прохождения

Таблица 2.

Сравнение показателей перекрестка до реконструкции с исходными данными и после реконструкции улично-дорожной сети с изменением параметров светофоров

№ варианта после реконструкции	Среднее время, сек.	Оптимизация перекрестка, %
1 вариант (без реконструкции и без изменения параметров светофоров)	80,313	19,68 %
2 вариант (после реконструкции и с изменениями параметров светофоров)	64,505	

транспортных средств через перекресток после реконструкции улично-дорожной сети до изменений параметров светофорного регулирования и после показало уменьшение времени прохождения на 14,93%.

Автором также было предложено сравнить результаты по среднему времени прохождения транспортных средств через перекресток до реконструкции с исходными данными и после реконструкции улично-дорожной сети с изменением параметров светофоров (таблица 2).

В результате полученных данных из таблицы 2 видно, что предложенные мероприятия по оптимизации уменьшили время прохождения перекрестка на 19,68%.

Подводя итог, можно сказать, что если использовать компьютерный программный продукт AnyLogic для построения моделей на микроуровне не учебной версии, а полной, с помощью которой возможно было бы провести подбор параметров светофоров, с помощью автоматического подбора наилучших результатов, то полученные результаты получились бы намного выше. Также можно отметить, что и полученные результаты говорят о необходимости проведения реконструкции рассматриваемого перекрестка на проектную перспективу, с целью улучшения пропускной способности и сокращения времени передвижения населения.

Можно сказать, что полученные имитационные модели в компьютерном программном продукте AnyLogic позволили:

- проанализировать сложную систему перекрестка и найти решения по улучшению существующей ситуации;
- отследить все объекты системы, учтенные в выбранном уровне абстракции, с добавлением соответствующей метрики и сбором статистических данных;
- проигрывать модели во времени и анимировать их поведение.

Список литературы

1. Влацкая, И. В. Моделирование систем массового обслуживания: методические указания к расчетно-графическим работам по дисциплине «Компьютерное моделирование» [Текст] / И. В. Влацкая, О. А. Татжибаева. — Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. — 20 с. — Текст: непосредственный.
2. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю. Карпов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 400 с. — Текст: непосредственный.
3. Григорьев, И. AnyLogic за три дня: практическое пособие по имитационному моделированию [Текст] / И. Григорьев. — Интернет издание, 2016. — 202 с. — Текст: непосредственный.
4. Михайлов, А. В. Разработка методики оценки городских территорий по транспортно-планировочным критериям на примере г. Донецка: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.22 / Михайлов Александр Владимирович. — М., 2018. — 193 с. — Текст: непосредственный.
5. Правоохранители контролируют места концентрации ДТП и аварийно-опасные участки дорог [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://mvddnr.ru> (дата обращения 03.04.2020).
6. Булавина, Л. В. Экспериментальное изучение характеристик транспортного и пешеходного движения: учебное электронное текстовое издание [Текст] / Л. В. Булавина // Подготовлено кафедрой «Городское строительство» ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет — УПИ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. — 28 с. — Текст: непосредственный.