

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа и
автоматического управления

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО
ПОТОКА ДОРОЖНОЙ РАЗВЯЗКИ**
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 481 группы
направления 27.03.03 — Системный анализ и управление
факультета КНиИТ
Горгаева Никиты Васильевича

Научный руководитель
доцент, к. т. н.

И. Н. Фомин

Заведующий кафедрой
к. ф.-м. н., доцент

И. Е. Тананко

Саратов 2025

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Современное развитие городов и пригорода сопровождается значительным увеличением количества автотранспорта, что влечёт за собой рост нагрузки на дорожную инфраструктуру. Особенно остро эта проблема проявляется на крупных транспортных узлах и выездных магистралях, где ежедневно проходят десятки тысяч автомобилей. В связи с этим перед специалистами в области транспортного планирования и логистики стоит задача создания эффективных механизмов управления дорожным движением, минимизации заторов и повышения пропускной способности дорожной сети.

Одним из перспективных подходов к решению подобных задач является использование имитационного моделирования, позволяющего точно воспроизвести поведение транспортных потоков и проанализировать влияние различных организационных решений без вмешательства в реальную инфраструктуру. Имитационное моделирование эффективно дополняется методами системного анализа, который позволяет рассматривать транспортную сеть как сложную многокомпонентную систему, выявлять взаимосвязи между её элементами и находить оптимальные точки воздействия.

На сегодняшний день существует ряд программных инструментов, предназначенных для реализации имитационных моделей транспортных потоков. Среди них особо выделяется среда AnyLogic, обладающая широкими возможностями по моделированию сложных систем, включая транспортную инфраструктуру. Использование AnyLogic позволяет не только визуализировать транспортные процессы, но и интегрировать в модель реальные данные, проводить оптимизационные эксперименты и оценивать влияние различных изменений на ключевые показатели эффективности.

Предметом исследования являются транспортные системы, их функции, характеристики и параметры. Объектом исследования в данной работе выступает транспортная развязка на Усть-Курдюмской трассе, расположенная в окрестностях города Саратова. Данный участок является одним из ключевых выездов из городской черты, обеспечивая транспортную связь с пригородными районами и туристическими зонами. Высокая интенсивность движения, особенно в утренние и вечерние часы пик, приводит к образованию заторов, увеличению времени в пути, повышенному износу дорожного

полотна и росту риска дорожно-транспортных происшествий. Методами исследования стали системный анализ и методы оптимизации. Основным применяемым инструментом стал программный продукт AnyLogic, с помощью которого будет построена модель Усть-Курдюмской трассы.

Цель бакалаврской работы — разработать имитационную модель трассы и провести оптимизационные эксперименты.

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. Проведение анализа текущей транспортной ситуации на исследуемом участке дорожной сети с использованием данных из открытых источников;
2. Исследование научных и прикладных материалов по вопросам имитационного моделирования и оптимизации транспортных потоков;
3. Разработка структурной концепции модели транспортной развязки, отражающей ключевые характеристики и параметры движения на участке;
4. Реализация имитационной модели в среде AnyLogic, учитывая особенности реального транспортного потока и структуры дорожной инфраструктуры;
5. Определение и формализация критериев эффективности транспортной системы: средняя скорость, плотность потока, уровень загруженности, коэффициент пропускной способности, задержки и другие показатели;
6. Проведение серии оптимизационных экспериментов с целью выявления наилучших вариантов организации движения;
7. Оценка влияния предлагаемых изменений на работу транспортной развязки, формулирование рекомендаций по ее модернизации.

Методологические основы имитационного моделирования и, в частности, агентного имитационного моделирования представлены в работах И. В. Яцкив [1], Е. А. Юршевич, Н. В. Колмакова [2], Ю. И. Рыжиков [3], Н. Н. Лычкина [4].

Практическая значимость бакалаврской работы. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана имитационная модель, с помощью которой можно проводить анализ и оптимизацию реальной транспортной развязки.

Структура и объем работы. Бакалаврская работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и цифровых

вого носителя в качестве приложения. Общий объем работы — 55 страниц, из них 44 страницы — основное содержание, включая 31 рисунок и 5 таблиц, список использованных источников информации — 20 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Анализ научных исследований и практических инструментов по моделированию и оптимизации транспортных сетей и потоков» посвящен изучению работы транспортной сети, а также методов решения проблем с ними.

В подразделе 1.1 приведено описание транспортной сети, её компонентов и основные причины возникновения заторов.

Подраздел 1.2 посвящен методам решения главных проблем дорожно-транспортной развязки.

В подразделе 1.3 рассматривается имитационное моделирование, как один из наиболее удобных способов решения проблем транспортной сети.

Подраздел 1.4 посвящён элементам транспортной сети: перекрёстки, инфраструктурные объекты, средства регулирования движения и элементы управления транспортным потоком.

В подразделе 1.5 приведена постановка задачи на исследование.

Первый раздел позволил собрать нужную теоретическую информацию для создания модели дорожно-транспортной развязки.

Второй раздел «Разработка имитационной модели транспортной сети» посвящен созданию имитационной модели дорожно-транспортной развязки в среде AnyLogic.

В подразделе 2.1 определяются параметры транспортного потока, которые потребуются для модели Усть-Курдюмской трассы.

Подраздел 2.2 посвящён сбору данных для имитационного моделирования

Подраздел 2.3 посвящен моделированию транспортной развязки на основе собранной информации. На рисунке 1 представлена модель Усть-Курдюмской трассы, которая была создана на основе агентного моделирования. Интенсивность транспортного потока аналогична реальной ситуации на дороге в часы пик. Она позволила выявить проблемные места дорожно-транспортной развязки, а также собрать информацию для дальнейшей оптимизации.

дорожно-транспортной развязки.

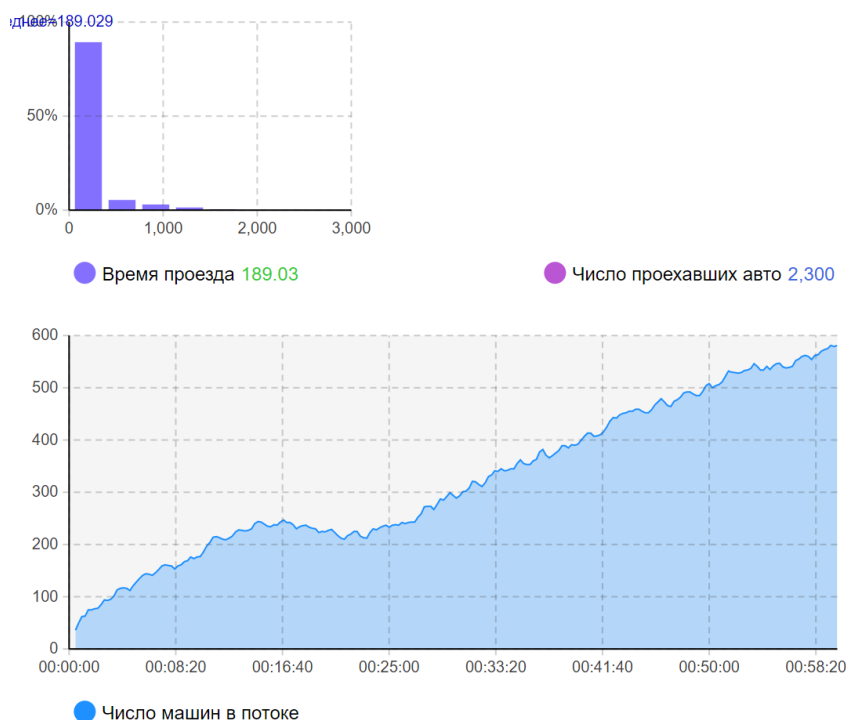


Рисунок 2 – Статистика работы модели Усть-Курдюмской трассы.

Данная модель отражает реальную ситуацию на Усть-Курдюмской трассе, что позволяет проводить эксперименты для увеличения пропускной способности.

Третий раздел «Оптимизация имитационной модели транспортной сети» посвящен оптимизации имитационной модели Усть-Курдюмской трассы с целью увеличения пропускной способности и сокращению среднего времени проезда через участок дороги.

В подразделе 3.1 описываются основные методы оптимизации, а также критерии оптимальности.

В подразделе 3.2 применяются методы оптимизации транспортного потока. Для этого были проведены два эксперимента. Первый заключается в изменениях ширины дорожного полотна и установке нового знака приоритета. Во втором эксперименте использовался инструмент Optimizer на таймингах светофоров. Данный инструмент использует генетический алгоритм для решения задач по оптимизации.

Процесс оптимизации с помощью генетического алгоритма состоит из трёх этапов:

Этап 1 - инициализация.

Создается начальная популяция из N решений (индивидов), где каждый индивид представляет набор значений $z = [X_1, Y_1, \dots, X_4, Y_4]$. Значения X_i и Y_i генерируются случайным образом в пределах $[10, 180]$.

Этап 2 - мутация.

С некоторой вероятностью в векторе z изменяется одно или несколько значений X_i и Y_i . Например:

$$X_i \leftarrow X_i + \Delta, \Delta \sim Uniform(-10, 10)$$

с учётом ограничений $10 \leq X_i \leq 180$.

Этап 3 - итерация.

На этом этапе процесс повторяется для заданного числа итераций (в 1000 итераций). На каждой итерации сохраняется лучшее найденное решение (элитизм).

По завершении итераций выбирается индивид с минимальным значением $f(z)$, который определяет оптимальные значения X_i и Y_i .

По результатам двух экспериментов была получена новая статистика, которая изображена на рисунке 3.

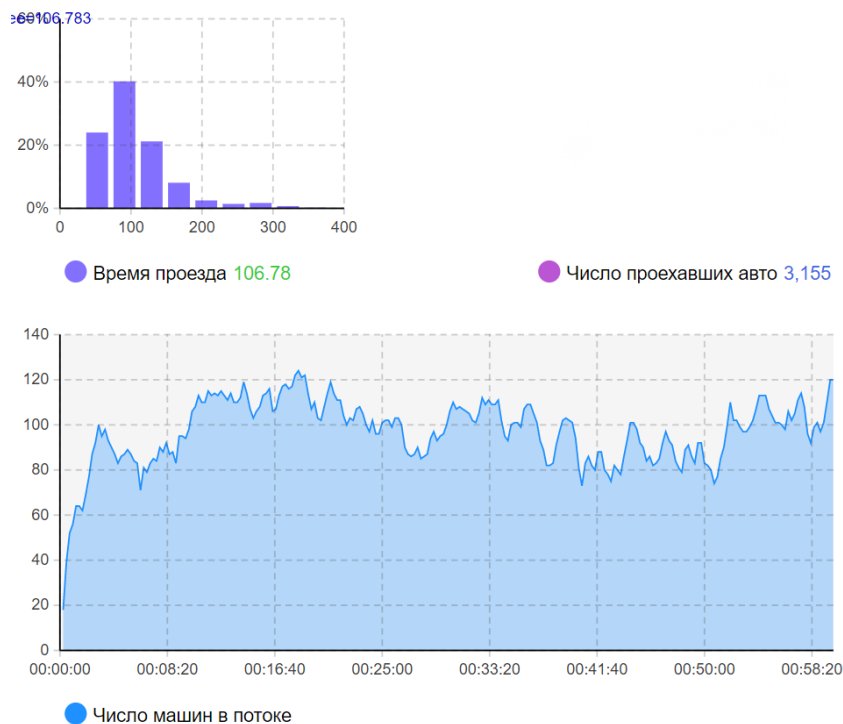


Рисунок 3 – Статистика работы модели Усть-Курдюмской трассы.

Статистика показывает, что время проезда сократилось на 56% и увеличилось число проехавших авто на 31%.

В подразделе 3.3 рассматривается анализ чувствительности для выяснения критичности светофоров на главной и второстепенной дорогах. За счёт изменения длительности фаз светофоров на ± 10 и ± 20 секунд была выявлена зависимость между пересечениями главных и второстепенных дорог.

Полученные результаты показывают, как можно улучшить пропускную способность на дорожно-транспортной развязке Усть-Курдюмской трассы. Два эксперимента представляют разные способы оптимизации, однако они идентично эффективны. Анализ чувствительности доказывает адекватность работы модели за счёт зависимостей между таймингами светофоров главной и второстепенной дорогами.

Четвертый раздел «Рекомендации по улучшению транспортной сети» посвящен советам по оптимизации транспортной сети на основе проведённых экспериментов. Были даны рекомендации по тщательному просчёту таймингов светофоров, внедрению ИТС, изменению маршрутов автобусов и переустройству объектов транспортной инфраструктуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана имитационная модель транспортной развязки на Усть-Курдюмской трассе с использованием программной среды AnyLogic. Основной целью исследования являлась оценка текущей транспортной ситуации и поиск оптимальных решений, направленных на снижение загруженности и повышение эффективности функционирования дорожной инфраструктуры в исследуемом районе.

Проведён анализ существующего состояния транспортных потоков на участке, выявлены проблемные зоны, характеризующиеся наибольшей задержкой движения и образованием заторов в часы пик. На основе полученных данных была построена структурная модель, учитывающая основные параметры дорожной сети и поведение различных категорий транспортных средств.

Реализованная имитационная модель позволила провести серию экспериментов с различными сценариями организации движения. В результате были выявлены решения, способствующие улучшению показателей пропускной

способности, снижению времени в пути и повышению уровня безопасности дорожного движения. В частности, предложены конкретные меры по оптимизации фаз работы светофорных объектов, изменению схемы дорожной разметки и перераспределению потоков на участках с высокой интенсивностью движения.

Результаты моделирования подтвердили эффективность предложенных решений и их потенциал для практического внедрения. Полученные данные могут быть использованы органами транспортного планирования и местными администрациями при принятии управленческих решений, направленных на модернизацию дорожной инфраструктуры и повышение комфортности передвижения для участников дорожного движения.

В качестве дальнейших исследований по построенной модели можно сделать количественную оценку затрат на внедрение предложенных рекомендаций, рассчитать стоимость изменения разметки, настройки светофоров, произвести сравнение с альтернативными подходами, оценить возможность масштабирования модели на другие участки, разработать конкретные шаги по внедрению.

Таким образом, проведённое исследование подтвердило целесообразность применения имитационного моделирования в задачах анализа и оптимизации транспортных систем. Оно демонстрирует значительную практическую значимость и может служить основой для дальнейших разработок в сфере интеллектуального управления дорожным движением.

Основные источники информации:

1. Яцкив, И. В. Использование возможностей имитационного моделирования для анализа транспортных узлов / И. В. Яцкив, Е. А. Юршевич, Н. В. Колмакова. // ЦТ СС. — 2005. — №7. — С. 237-245.
2. Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю. И. Рыжиков — М. : Альтекс-А, 2004. — 384 с.
3. Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие / Н. Н. Лычкина — М. : Инфра-М, 2012. — 253 с.
4. Бикмуллин, А. Л. Современные информационные технологии в управлении транспортно-логистическими системами / А. Л. Бикмуллин, В. Д. Боев, — Казань. : Центр инновационных технологий, 2011. — 298 с.
5. Юршевич, Е. А. Опыт использования пакета ANYLOGIC для моделиро-

- вания городского трафика / Е. А. Юршевич, Е. И. Петрова // ЦТ СС. — 2005. — №11. — С. 298 - 305.
6. Боев, В. Д. Моделирование в среде AnyLogic: учеб. пособие для СПО / В. Д. Боев — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 298 с.
 7. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления и приложения / Р. Штойер — М. : Радио и связь, 1992. — 504 с.
 8. Черноруцкий, И. Г. Методы оптимизации в теории управления / И. Г. Черноруцкий — СПб. : Питер, 2004. — 256 с.
 9. Дегтярёв, Ю. И. Методы оптимизации. / Ю. И. Дегтярёв — М. : Советское радио, 1980. — 272 с.