

**СТАРЦЕВ П. Б., СЕМЕРИКОВ А. В.  
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ  
АВТОТРАНСПОРТА В ПРЕДЕЛАХ УЗЛА ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ  
ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ МУНИЦИПАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДА УХТА**

*УДК 004.94, ВАК 05.13.18, ГРНТИ 28.17.00*

Разработка имитационной модели движения автотранспорта в пределах узла пересечения основных транспортных коммуникаций муниципального образования города Ухта

Development of an imitation model of vehicle traffic within the intersection of the main transport communications of the municipal formation of the city of Ukhta

П. Б. Старцев, А. В. Семериков

P. B. Startsev, A. V. Semerikov

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

Ukhta State Technical University, Ukhta

*В статье рассматриваются проблемы, возникающие в результате ускоренных темпов автомобилизации населения, и способ их решения методом имитационного моделирования, рассмотрен конкретный участок улично-дорожной сети города Ухта – узел пересечения проспектов Ленина и Космонавтов, и прилегающих к нему участков дороги.*

*The article considers the problems that arise as a result of the accelerated rates of motorization of the population and the way to solve them by the method of simulation modeling. A specific section of the street-road network of the city of Ukhta is considered – the intersection of Lenina and Kosmonavtov avenues and the section of the road adjacent to it.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, автомобилизация, автотранспорт, оптимизация, эксперимент.

**Keywords:** simulation modeling, motorization, vehicle, optimization, experiment.

## **Введение**

Тенденции развития современного общества предполагают высокое качество жизни населения, на которое оказывает существенное влияние уровень автомобилизации жителей. Наличие автомобиля обеспечивает комфорт при передвижении до интересующего места, а также минимизирует время задержки при передвижениях индивида. В последнее время число автотранспорта резко увеличивается во многих городах, в том числе и в городе Ухта, что приводит к загрузке транспортных коммуникаций.

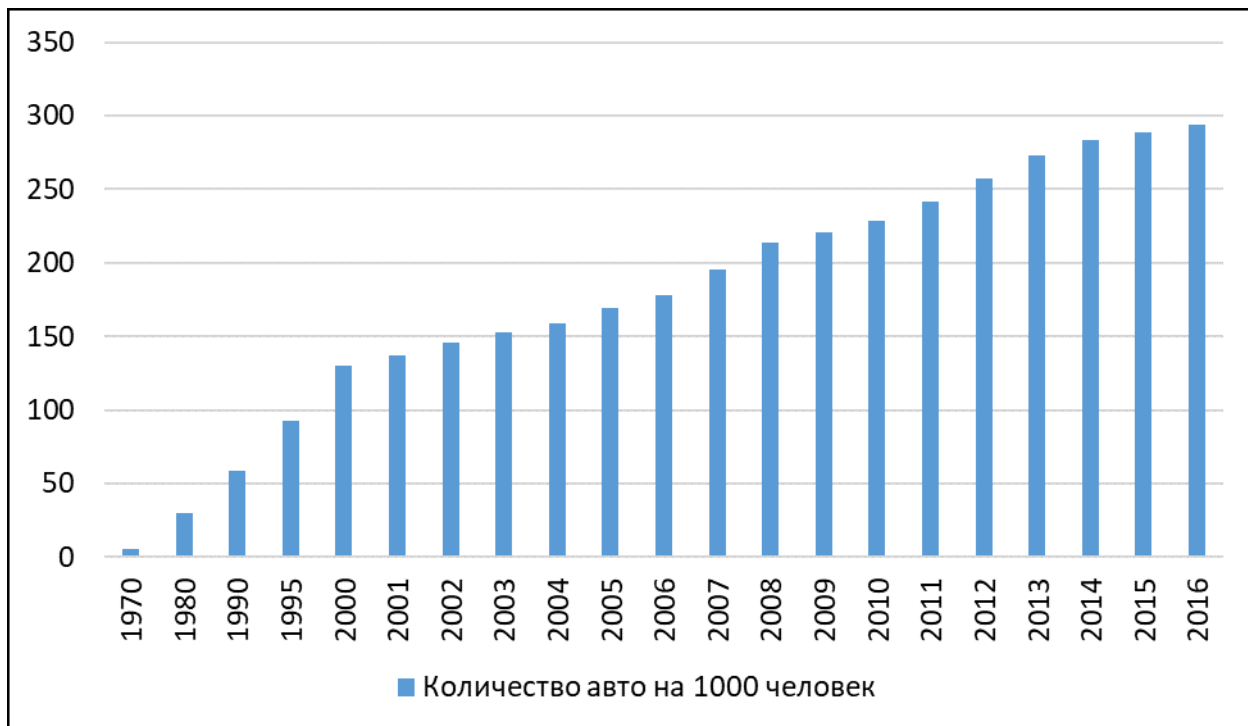


Рисунок 1. Динамика роста уровня автомобилизации в России [1]

При наблюдении за движением автотранспорта в пределах дорожной сети города Ухта были выявлены проблемные участки, одним из которых является узел пересечения основных транспортных коммуникаций – проспектов Ленина и Космонавтов, а также прилегающих к нему участков дороги. В так называемые часы «пик» при активных маятниковых миграциях населения (работа – дом) возникают существенные задержки автомобильного транспорта, образуются заторы и пробки, что в свою очередь приводит к различным негативным последствиям, из числа которых можно выделить следующие: увеличение ДТП, шума, выброса вредных веществ, нарушение работы экстренных служб.

Существует множество стандартных решений данной проблемы. Такими являются: увеличение полос движения, добавление специальных «карманов» для общественного транспорта, оптимальная настройка регулирующего устройства дорожного движения и другие. Ввиду высокой стоимости проведения натурного эксперимента целесообразно использовать метод имитационного моделирования. Данный метод позволяет с высокой точностью описать существующую дорожную ситуацию, дает возможность изменить те или иные условия для выявления оптимальной организации дорожного движения, а также наглядно продемонстрировать полученное решение [0].

### Предпроектное обследование

Объектом исследования является узел пересечения основных транспортных коммуникаций города Ухта – проспектов Ленина и Космонавтов, а также прилегающих к нему участков дороги, а именно узел пересечения проспекта Космонавтов и улицы Советская, реализованного в виде кольцевого движения

транспортных средств. Данный участок представлен ниже в виде спутникового снимка.



Рисунок 2. Спутниковый снимок участка УДС

При рассмотрении данного участка дорожной сети наблюдается резкое увеличение задержек автотранспорта в часы «пик», а именно утренний в промежуток времени с 7:30 до 8:30 часов утра и вечерний с 17 часов до 18 часов в период активных маятниковых миграций населения города, образуются заторы и пробки. Люди с целью минимизации потраченного времени на проезд до интересующего места нарушают существующие правила дорожного движения, так на улице Ленина при существующих 3-х полосах движения поток автотранспорта выстраивается в 4 ряда, тем самым увеличивается вероятность ДТП, так как расстояние между автомобилями существенно сужается. Аналогичная ситуация происходит в противоположной стороне перекрестка по проспекту Ленина. В такие дни, как суббота и воскресенье, дорожная сеть справляется с потоком автотранспорта, количество заторов и пробок гораздо меньше, чем в будние дни.

### **Изучение аналогов**

Были рассмотрены имитационные модели, которые призваны решать аналогичные задачи. Краткое описание цели и результатов моделирования для каждой из рассмотренных моделей представлено на рисунке 3.



Рисунок 3. Обзор имитационных моделей [0, 0, 0]

### Средство разработки

В качестве инструмента разработки было выбрано средство имитационного моделирования Anylogic 8. Anylogic – единственный на данный момент инструмент, поддерживающий все основные подходы имитационного моделирования, а именно: системная динамика, дискретно – событийное (процессно-ориентированное) и агентное моделирование, а также их комбинации, что позволяет имитировать процесс с любым уровнем детализации.

Также существует набор различных библиотек, которые существенно упрощают разработку модели. Были использованы следующие библиотеки: библиотека моделирования процессов (используется в случае, если рассматриваемый процесс возможно представить в виде последовательности определённых событий), дорожная библиотека (используется для моделирования движения автотранспорта), пешеходная библиотека (используется для моделирования потоков пешеходов), а также используются различные вспомогательные элементы из палитры инструментария Anylogic [0].

## **Функциональность**

В ходе разработки технического задания были выявлены основные функции, которые должна обеспечивать имитационная модель:

- Ввод актуальных статистических данных, накопленных в результате проведения наблюдений. Такими данными являются: интенсивности появления автомобилей с каждой улицы рассматриваемого участка УДС, интенсивности пешеходных потоков, интенсивности появления автобусов, вероятность заезда автомобиля на парковку, длительность тактов светофора.
- Обработка статистических данных посредством имитации движения автотранспорта и пешеходов в пределах рассматриваемого участка УДС, наглядное представление полученных данных в виде гистограмм распределения (распределение времени нахождения автотранспорта в системе), временных графиков (средняя скорость автотранспорта в зависимости от времени, количество машин в системе в данный момент времени, количество пешеходов в данный момент времени и т. д.) и численных значений тех или иных параметров (общее количество автотранспорта, прошедших УДС, общее количество пешеходов за все время и т. д.).
- Демонстрация дорожного движения автотранспорта на рассматриваемом участке дорожной сети, наглядное представление существующих проблем.
- Накопление статистической информации в базе данных (таблица Excel), полученной в результате проведения оптимизационного эксперимента. Пример данных: диапазон виртуального времени эксперимента (старт, завершение), длительности тактов светофора (такт 1 – поток Ленина, такт 3 – поток Космонавтов, такт 5 – поток пешеходов), среднее время нахождения автомобилей в системе. Обработка статистической информации.
- Демонстрация дорожного движения автотранспорта с учетом полученных результатов, наглядное представление работоспособности полученных решений.

## **Проектирование имитационной модели**

Имитационная модель в среде Anylogic представляет собой набор агентов, которые описывают и моделируют исследуемый объект, а также экспериментов, которые предназначены для конфигурационной настройки модели, позволяют провести анализ тех или иных параметров.

Под агентами понимаются объекты, которые имеют собственное поведение, параметры, историю и т. д. В данном случае агентами выступают транспортные средства и пешеходы. Разработка имитационной модели сводится к тому, что разработчику необходимо построить так называемую потоковую диаграмму процесса. Диаграмма процесса представляет собой набор элементов моделирования, предоставляемых средой Anylogic (или разработанных самостоятельно) и связей между ними, которые в совокупности образуют поведение рассматриваемых агентов.

В ходе проектирования имитационной модели были разработаны следующие основные диаграммы процессов: диаграмма процесса движения автомобилей, диаграмма движения пешеходов, которые представлены ниже.

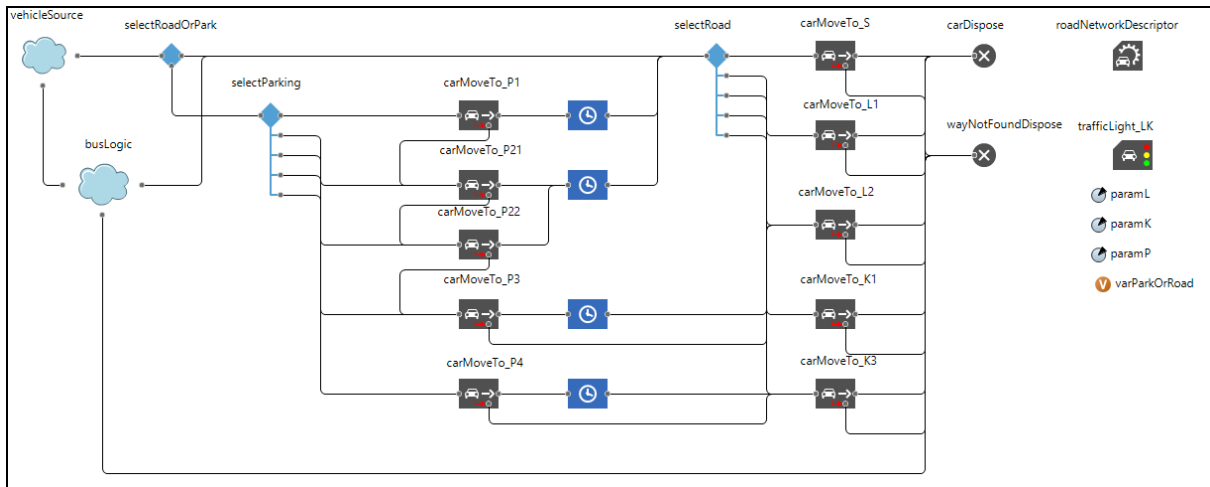


Рисунок 4. Процессная диаграмма движения автотранспорта

На данной диаграмме представлены следующие элементы:

- `vehicleSource` – Элемент, при помощи которого происходит инициализация и дальнейшее появление автотранспорта в системе, используется экспоненциальный закон распределения;
- `busLogic` – Элемент, при помощи которого автобусам назначается определённый маршрут движения, а именно остановки, которые необходимо посетить;
- `selectRoadOrPark`, `selectParking`, `selectRoad` – Элементы, которые предназначены для определения пути поступающих агентов (автомобилей);
- `carMoveTo_PX` – Элементы, которые представляют собой событие заезда автомобиля на парковку, каждый элемент привязан к определённой парковке на участке УДС;
- `delay` – Имитация задержки автотранспорта на парковке, время задержки генерируется согласно треугольному закону распределения;
- `carMoveTo_XX` – Элементы, представляющие собой событие передвижения автотранспорта в пределах указанного участка дороги;
- `carDispose` – Элемент, который представляет собой удаление автотранспорта из системы по завершению его движения;
- `roadNetworkDescriptor` – Элемент, представляющий собой описатель участка дорожной сети в целом, позволяет отследить количество автотранспорта в сети, задать специфические правила поведения и т. д.;
- `trafficLight_LK` – Элемент, моделирующий работу светофора на узле пересечения проспектов Ленина и Космонавтов.

На диаграмме процесса движения пешеходов представлены следующие элементы:

- `pedSource` – Элементы, предназначенные для инициализации и прибытия пешеходов, использован экспоненциальный закон распределения;

- pedWay – Элементы, моделирующие ожидание и передвижение пешеходов в пределах перекрёстка;
- pedGoTo – Элементы, предназначенные для задания местоположения, в которое должен прийти пешеход;
- pedSink – Элементы, служащие для уничтожения пешеходов при достижении их конечной цели (местоположения).

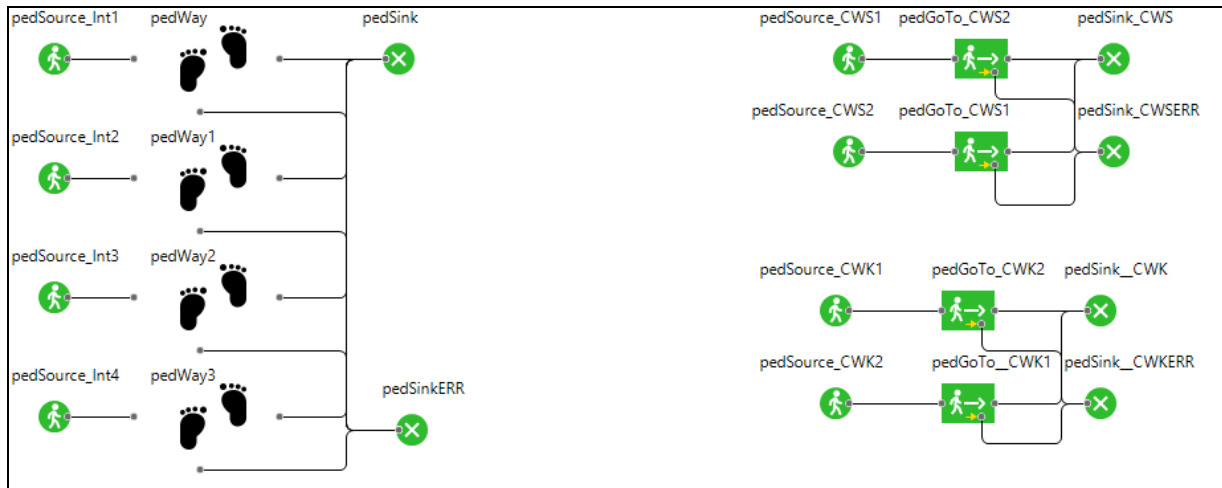


Рисунок 5. Процессная диаграмма движения пешеходов

### Результаты разработки модели

В результате исследования была разработана имитационная модель движения автотранспорта в пределах узла пересечения основных транспортных коммуникаций муниципального образования города Ухта – проспектов Ленина и Космонавтов, а также прилежащих к нему участков дороги, а именно узел пересечения проспекта Космонавтов и улицы Советская, реализованный в виде кольцевого движения, которая способствует увеличению пропускной способности рассматриваемого узла и прилежащих к нему участков дороги посредством результатов, полученных при исследовании и анализе данной модели. Основные скриншоты работы имитационной модели представлены на рисунках 6, 7.

Была проведена серия экспериментов оптимизации над моделью при использовании тестовых входных данных, в результате которых были получены оптимальные значения длительности основных тактов регулирующего устройства, что позволяет увеличить пропускную способность узла, а, следовательно, рассматриваемого участка УДС в целом. Полученные значения представлены в виде доверительного интервала с вероятностью доверия в 95 %. При увеличении количества проведения оптимизационных экспериментов точность результатов увеличивается. Результаты вычислений представлены на скриншоте ниже.

В будущем планируется использование актуальных статистических входных данных, что позволит провести исследование участка УДС при текущей дорожной ситуации, определить проблемы в организации дорожного движения, проверить правильность настройки регулирующего устройства.

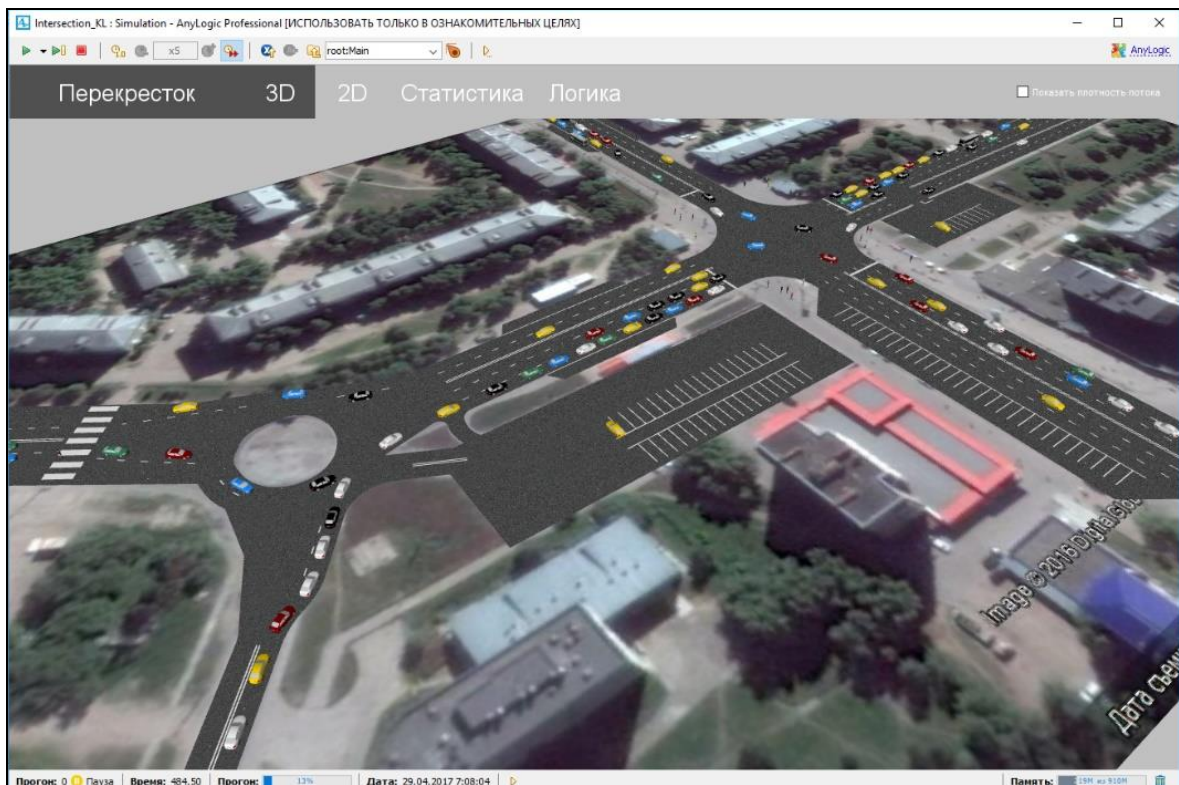


Рисунок 6. Прогон имитационной модели, 3D вид

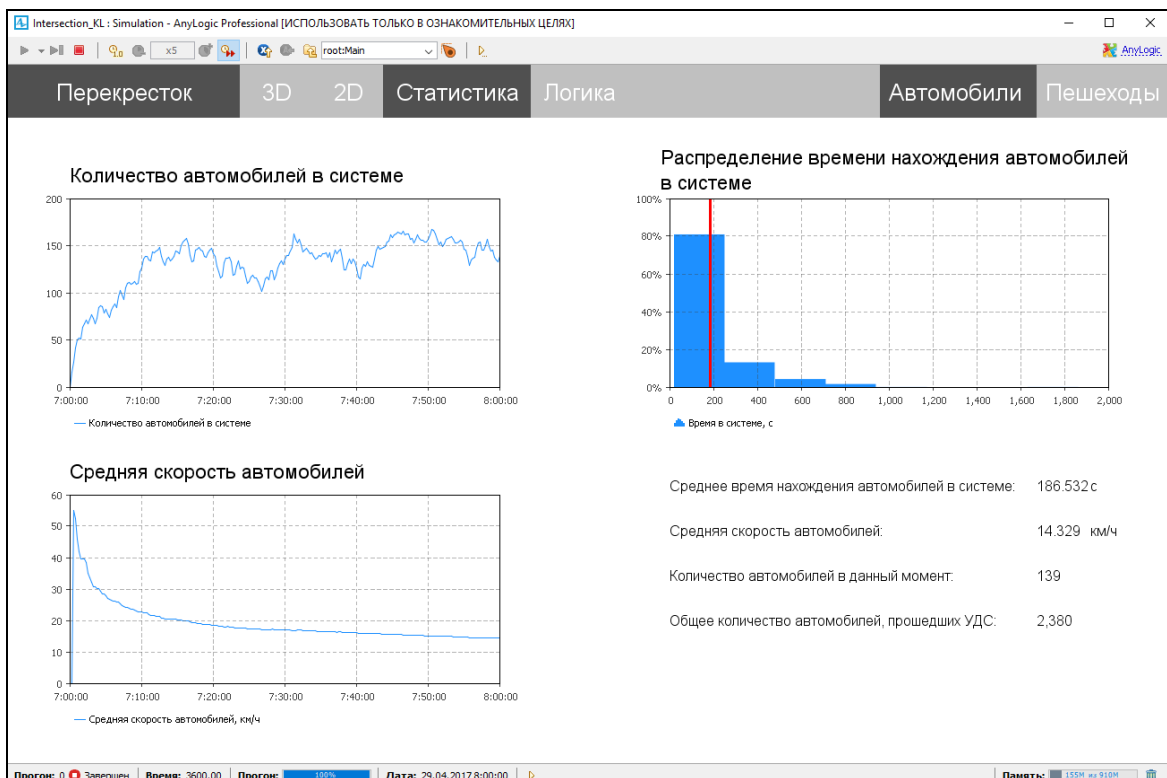


Рисунок 7. Прогон имитационной модели, статистика автомобилей

Кроме того, планируется расширение данной имитационной модели, что позволит провести анализ более крупного участка улично-дорожной сети города Ухта, получить более точные результаты моделирования, оценить текущую



дорожную ситуацию в целом, сформулировать существующие проблемы и определить способ их решения.

Начало	Окончание	Длительность потока Ленина	Длительность потока Космонавтов	Длительность потока пешеходов	Среднее время в системе
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	39	33	33	90,98836777
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	37	29	33	92,07452148
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	33	45	33	91,61301458
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	35	37	35	89,58498778
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	31	41	35	91,7166288
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	39	35	37	91,19179725
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	33	33	37	91,13298882
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	29	37	33	91,65336757
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	33	37	37	90,70170593
2017-04-29 07:00:00.0	2017-04-29 09:00:00.0	35	33	37	90,09480429
		Длительность потока Ленина	Длительность потока Космонавтов	Длительность потока пешеходов	Среднее время в системе
	Кол-во экспериментов n	10	10	10	10
	Среднее $\mu$	34,4	36	35	91,07521843
	Стандартное отклонение $\sigma$	3,272783389	4,546060566	1,885618083	0,773123313
	Уровень значимости $\alpha$	0,05	0,05	0,05	0,05
	Полуширина интервала $\Delta x$	2,341208199	3,252055821	1,348889918	0,553059101
	дов. интервал				
	верх. граница	36,7412082	39,25205582	36,34888992	91,62827753
	нижн. граница	32,0587918	32,74794418	33,65111008	90,52215933

Рисунок 8. Результаты оптимизационного эксперимента

## Выводы

Был проведен анализ рассматриваемого участка УДС, в результате которого выявлены соответствующие проблемы: задержки автотранспорта на перекрестке существенно возрастают в часы «пик», образуются заторы и пробки. Определен метод решения данных проблем – имитационное моделирование, посредством которого возможно увеличить пропускную способность узла и участка дорожной сети в целом. Разработана имитационная модель движения автотранспорта в пределах рассматриваемого участка УДС, получены результаты при тестовых входных данных.

## Список литературы

1. Русский эксперт. Статистика: Автомобилизация России [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ruexpert.ru/Статистика:Автомобилизация\\_России](http://ruexpert.ru/Статистика:Автомобилизация_России).
2. Anylogic. Изучаем имитационное моделирование. Имитационное моделирование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation>.
3. Anylogic. Истории успеха. Исследование автопотока возле проектируемого транспортно-пересадочного узла «Волоколамская» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/case-studies/road-traffic-simulation-in-the-transport-hub-of-volokolamskaya-in-moscow>.
4. PTV Partner. Проекты. Моделирование транспортных потоков в районе т/ц Юлмарт [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ptvvision.ru/project/modelirovanie\\_transportnyih\\_potokov\\_v\\_rayone\\_t\\_ts\\_yulmart](http://ptvvision.ru/project/modelirovanie_transportnyih_potokov_v_rayone_t_ts_yulmart).
5. PTV Partner. Проекты. Имитационная модель ул. Фокина в г. Брянске [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ptvvision.ru/project/imitatsionnaya\\_model\\_ul\\_fokina\\_v\\_g\\_bryanske](http://ptvvision.ru/project/imitatsionnaya_model_ul_fokina_v_g_bryanske).
6. Anylogic. Об Anylogic. Почему Anylogic? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/features>.

## List of references

1. Russian expert. Statistics: Motorization of Russia. Mode of access: [http://ruxpert.ru/Статистика:Автомобилизация\\_России](http://ruxpert.ru/Статистика:Автомобилизация_России).
2. Anylogic. We study simulation modeling. Simulation modeling. Mode of access: <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation>.
3. Anylogic. Success Stories. Investigation of the auto-flow near the projected transport and transfer junction "Volokolamskaya". Mode of access: <http://www.anylogic.ru/case-studies/road-traffic-simulation-in-the-transport-hub-of-volokolamskaya-in-moscow>.
4. PTV Partner. Projects. Modeling of traffic flows in the Yulmart shopping center. Mode of access: [http://ptv-vision.ru/project/modelirovanie\\_transportnyih\\_potokov\\_v\\_rayone\\_t\\_ts\\_yulmart](http://ptv-vision.ru/project/modelirovanie_transportnyih_potokov_v_rayone_t_ts_yulmart).
5. PTV Partner. Projects. Imitation model of Fokin street in Bryansk. Mode of access: [http://ptvvision.ru/project/imitatsionnaya\\_model\\_ul\\_fokina\\_v\\_g\\_bryanske](http://ptvvision.ru/project/imitatsionnaya_model_ul_fokina_v_g_bryanske).
6. Anylogic. About Anylogic. Why Anylogic. Mode of access: <https://www.anylogic.ru/features>.