



ЛОГИСТИКА

УДК 004.942

DOI: 10.31799/2007-5687-2020-3-41-51

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕКРЕСТКА НА МИКРОУРОВНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ОПТИМИЗАЦИИ В СРЕДЕ ANYLOGIC

А. Е. Евтушенко

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье рассматриваются вопросы организации работы светофора на перекрестке на основе использования имитационного моделирования и средств оптимизатора в среде AnyLogic. Проводится анализ показателей транспортной статистики на выбранном перекрестке, а именно: среднее время проезда перекрестка, загрузка дороги, пропускная способность дороги и интенсивность движения. Приводится подробное описание компьютерного оптимизационного эксперимента и его результаты. На основе произведенных результатов сформированы предложения по улучшению работы светофоров на перекрестке.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, перекресток, светофор, умный перекресток, адаптивная система, Anylogic, моделирование, имитационное моделирование, оптимизация, оптимизационный эксперимент.

Для цитирования:

Евтушенко А. Е. Исследование работы перекрестка на микроуровне с использованием средств оптимизации в среде Anylogic // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(25), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 41-51. РИНЦ.

RESEARCH OF THE INTERSECTION OPERATION AT THE MICRO LEVEL USING OPTIMIZATION TOOLS IN THE ANYLOGIC ENVIRONMENT

A. E. Evtushenko

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article discusses the working of traffic lights at the intersection based on the use of simulation and optimization tools in the AnyLogic environment. The analysis of transport statistics indicators is carried out, indicators such as the average travel time of the intersection, road load, road capacity, and traffic intensity. The detailed description of the computer optimization experiment and its results is provided. Based on the results, proposals were made to improve the operation of traffic lights at the intersection.

Keywords: road transport, intersection, traffic lights, smart intersection, adaptive system, Anylogic, modeling, imitation modeling, optimization, optimization experiment.

For citation:

Evtushenko A. E. Research of the intersection operation at the micro level using optimization tools in the Anylogic environment // System analysis and logistics.: №3(25), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2020 – p. 41-51.

Введение

Не все светофоры равнозначны по своей работе. В определенных случаях и особенно на сложных перекрестках часто создаются большие проблемы по движению автомобилей и, происходит это из-за конкретной работы светофоров. Порой одна дорога имеет гораздо более плотный транспортный поток, относительно второй, соответственно, чтобы избежать возникновения затора необходимо грамотно рассчитать так называемые «зеленые фазы» для каждой дороги на перекрестке. Грамотный расчет способствует тому, чтобы транспортные средства тратили меньше времени на проезд перекрестка. Именно такой перекресток с неравным распределением транспортного потока возьмем к рассмотрению и оптимизации в системе имитационного моделирования Anylogic.



В представленной работе рассматривается оптимизация времени проезда перекрестка проспекта Косыгина и улицы Передовиков средствами среды имитационного моделирования AnyLogic. Дополнительную сложность в исследовании транспортных потоков представляет их нестабильность. Движение автомобилей — это отдельная динамическая система, загруженность транспортного потока может меняться в зависимости от времени суток, дня недели, времени года, проведения мероприятий требующий перекрытия или ремонта дорог. Сейчас фазы работы светофоров определяют на основе формул, которые напрямую зависят от интенсивности транспортного потока, такой подход весьма непредусмотрителен ввиду возможных аварий или дорожных работ. Поэтому многие видят решение во внедрении такой системы управления дорожным движением как «интеллектуальный перекресток», который будет действовать не по заложенному алгоритму, а подстраиваться к изменениям ситуаций на дороге.

1. Анализ транспортной ситуации на перекрестке

Для формирования статистики по действующей ситуации воспользуемся веб-сервисом «Яндекс.Пробки» [1], позволяющим узнавать информацию о дорожной ситуации в городе. Сервис достаточно популярный для России и близкого зарубежья, согласно статистике компании, каждый год количество пользователей возрастает в 2 раза.

Разберемся как осуществляется процесс отслеживания пробок и как они оказываются в наших смартфонах, согласно «Яндекс.Пробки» это происходит следующим образом:

«Яндекс» собирает информацию о средней скорости со смартфонов водителей, у которых запущен Яндекс. Навигатор или мобильные Яндекс. Карты со включённым режимом «Сообщать о пробках». Информация представляет собой GPS-координаты и время, собирается и обрабатывается полностью автоматически. Аналогичные данные Яндекс получает от своих партнеров, компаний, обладающих парком автомобилей, оборудованных GPS-приёмником и модемом. Для ряда крупнейших городов рассчитывается общегородская загруженность дорог по десятибалльной шкале. Для каждого города шкала баллов настроена индивидуально» [1].

Построим загруженность исследуемого перекрестка в течение дня согласно данным, собранным с «Яндекс.Пробки» (приведены усредненные значения пробок для будних дней понедельник-четверг, так как это дни наиболее плотного транспортного потока).



Рис. 1. График распределения пробок в течение дня на выбранном перекрестке

На данном графике видно, что так называемый «час-пик» приходится на 9 утра и на 19 вечера.

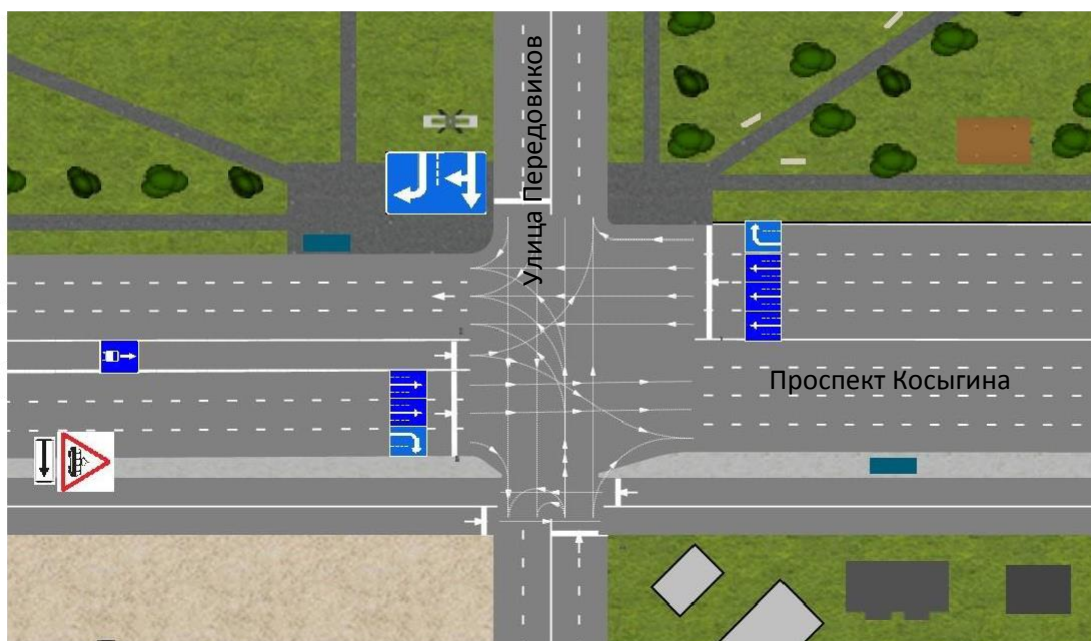


Рис. 2. Схематичное изображение перекрестка

Для задания интенсивности транспортного потока в модели, на исследуемом участке выполнялся замер фактических результатов движения, который соответствовал 2 баллам согласно сервису «Яндекс.Пробки» (таблица 1).

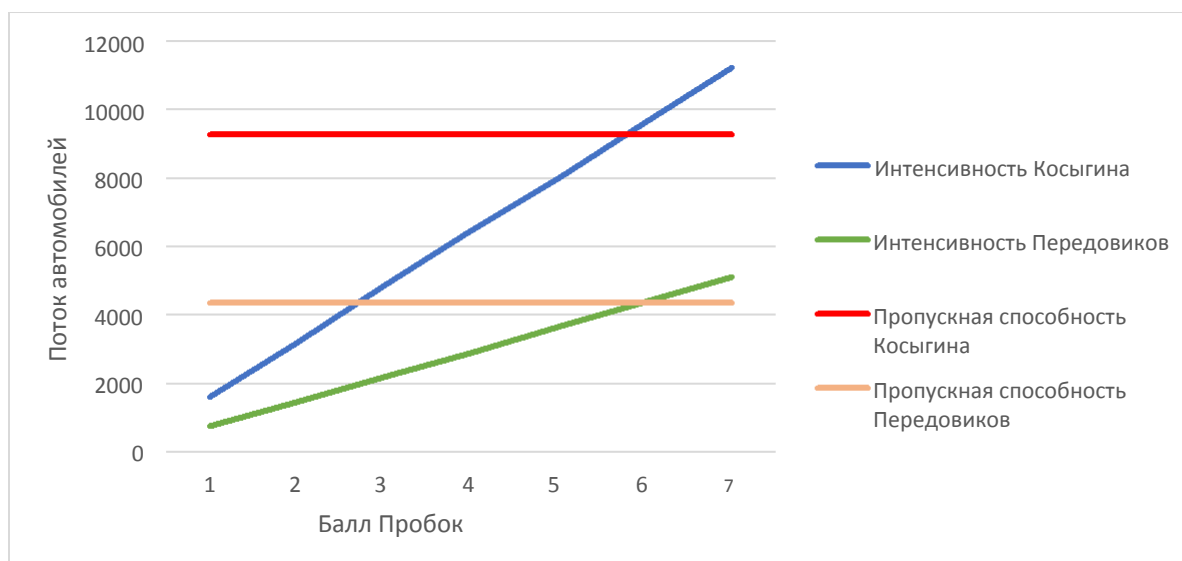


Рис. 3. Интенсивность потока и пропускная способность перекрестка

На данном перекрестке возникновение пробок имеет прямолинейную зависимость от потока автомобилей при исходной ситуации и значениях работы светофора. Когда транспортный поток начинает превышать пропускную способность дороги возникают так называемые заторы, где средняя скорость автомобилей стремится к 5-10 км/ч. Исходные данные для исследования приведены в таблице 1



Таблица 1 – Исходные данные для исследования

Направление	Интенсивность (а/ч)	% правого поворота	% левого поворота	% Проезда прямо
Запад	2125	30	x	70
Север	925	60	x	40
Восток	1090	20	x	80
Юг	540	35	25	35
Передовиков	3215			
Косыгина	1465			

2. Моделирование движения

Для приближения движения автомобилей к реальному зададим разное поведение агентов, они будут разделяться на 4 типа и иметь разные характеристики: среднестатистический водитель, начинающий водитель, торопящийся водитель и грузовые автомобили.

Для реализации практического моделирования перекрестка была выбрана программа Anylogic [7], благодаря ряду преимуществ относительно других продуктов [8,10], таких как:

- Возможность 3D моделирования;
- Возможность применения метода системной динамики, дискретно-событийного метода и агентного моделирования;
- Возможности создания собственных библиотек;
- Возможность запуска модели без установки программного обеспечения.

В результате проведения моделирования была разработана следующая имитационная модель перекрестка в 2D-формате.



Рис. 4. Окно формы работы модели

Была создана 3D-модель симуляции движения автомобилей через перекресток, которая изображена на рисунке 5.



Рис. 5. Оконная форма 3D модели

Разработан сбор статистики для определения таких показателей перекрестка, как:

- 1) Время проезда
- 2) Интенсивность движения автомобилей
- 3) Загрузка дорог

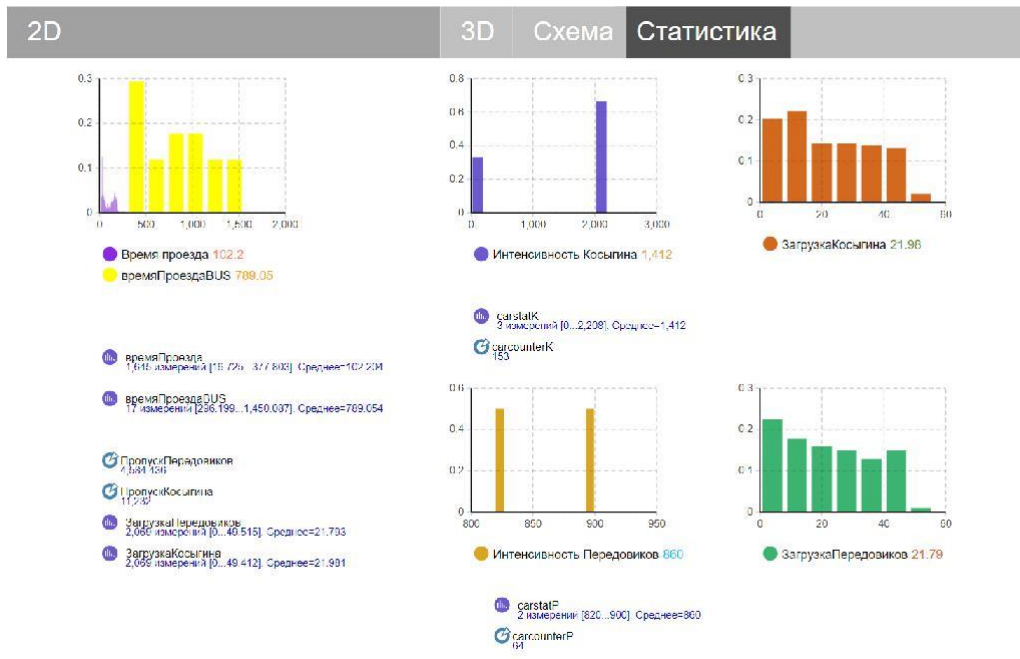


Рис. 6. Оконная форма выполнения сбора статистики модели

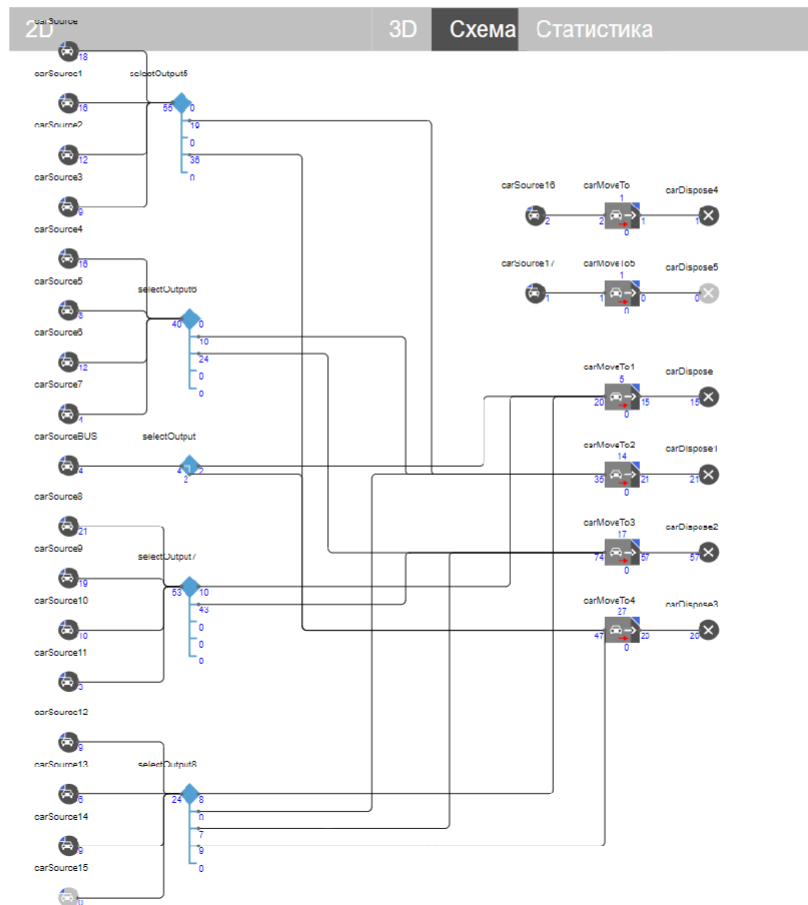


Рис. 7. Схема движения заявок по блокам

Выполним эксперимент оптимизация и откалибруем значения нашего светофора и сравним полученные значения.

Статистические данные при имеющихся фазах светофора (зеленый для проспекта Косыгина – 60 сек., зеленый для Передовиков – 50 сек.) при 5 баллах пробок на рисунке 9.



Рис. 8. Оконная форма сбора статистики

Выполним оптимизацию с целью минимизировать время проезда автомобилей через перекресток на рисунке 9.

3. Эксперимент оптимизации

Для того, чтобы найти такие значения длительности фаз светофора, при которых достигается наименьшее значение среднего времени проезда, мы используем Оптимизационный эксперимент программы Anylogic.

Данный эксперимент позволяет провести большое количество прогонов работы модели с различными значениями длительности фаз светофора и определением среднего времени проезда перекрестка в каждом прогоне. Происходят прогоны автоматически, несколько одновременно, мы видим только график по среднему времени проезда в разных прогонах.

Во время оптимизации алгоритм OptQuest [9] определит наименьшее значение и запомнит при каких параметрах оно достигалось. Алгоритм OptQuest является наиболее эффективным на сегодняшний день, в нем используются как методы математической оптимизации, так и нейронные сети, и эвристики поиска решения. Алгоритм запатентован и его содержание скрыто правообладателем.

В основе эксперимента лежит целевая функция:

$$\text{root.времяПроезда.mean()},$$

где root – корневой объект (так как наш объект находится на в поле оптимизация, а в поле main); времяПроезда – параметр, который нам нужно максимизировать/минимизировать; mean() - использует среднее значение параметра времяПроезда.



Значение данной функции выбираем – минимизировать. Это значит, что программа будет выполнять прогоны, а запоминать наименьшее значение, которое удалось достигнуть.

Выставим ограничения оптимизации. В ограничениях варьируемых параметров выставим, что длительность зеленого сигнала может быть не меньше 10 секунд и не больше 180 с шагом 5. Такой промежуток и шаг наиболее оптимальны, так достигается оптимальное время ожидания результатов, если бы мы указали шаг 1, количество прогонов пришлось бы совершить в 5 раз больше. Выполнение процесса оптимизации отражено на рисунке 8.

Если задать время зеленого сигнала для Косыгина-Х, а для Передовиков Y, у нас получаются следующие ограничения:

$$10 \leq X \leq 180;$$

$$10 \leq Y \leq 180, \text{ где числа } X \text{ и } Y \text{ кратны } 5.$$

После задания ограничений и указания целевой функции запустим оптимизационный эксперимент, подборка значений X и Y осуществляется с помощью функции random- генератору случайных чисел, которые независимы друг от друга и подчиняются заданной последовательности

$$X_{n+1} = (aX_n + c) \bmod m, \text{ где } 0 < m, 0 < a < m, 0 < c < m, X_0 < m$$

	Текущее	Лучшее
Итерация:	213	4
Функционал ↓	359.375	306.976
Параметры	Copy best	
time1	105	30
time2	10	10
time3	35	95
потокМашин	5	5

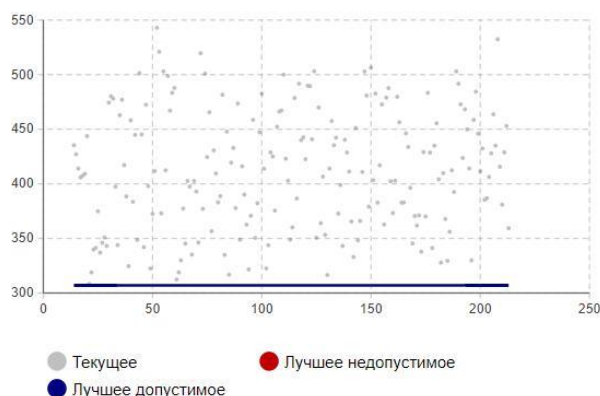


Рис. 9. Оконная форма выполнения оптимизации

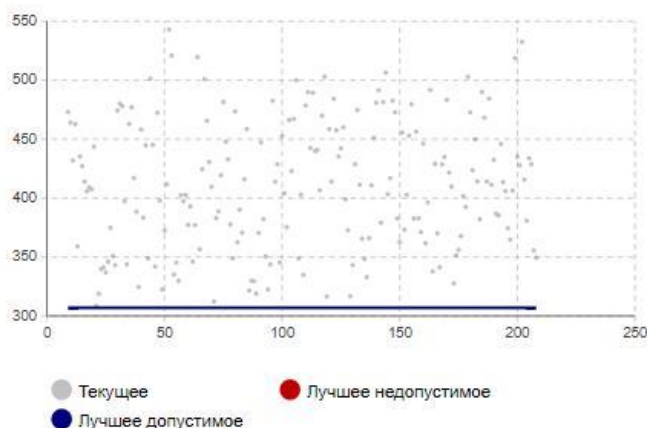


Рис. 10. График значений среднего времени проезда

Оптимизационный эксперимент показал, что наименьшее среднее время проезда перекрестка составляет 307 секунд и достигается при длительности зеленого сигнала для улицы Передовиков – 30 секунд, для проспекта Косыгина – 95 секунд.



Полученные значения применим к нашему светофору и произведем сбор статистики с новыми параметрами работы светофора.



Рис. 11. Оконная форма сбора статистики

Аналогичным образом проведем оптимизацию для остальных значений баллов пробок, возникающих на данном перекрестке.

Таблица 2 – Оптимизация для остальных значений баллов пробок

Балл пробок	Среднее время проезда при исходных параметрах	Длительность зеленого сигнала для ул. Передовиков	Длительность зеленого сигнала для пр-та Косыгина	Среднее время проезда при полученных параметрах	Среднее время изменилось (%)
1	90	35	55	78	15
2	215	40	75	185	16
3	334	30	90	210	59
4	366	30	95	270	36
5	397	30	95	307	29
6	405	45	95	311	30
7	412	30	95	320	29

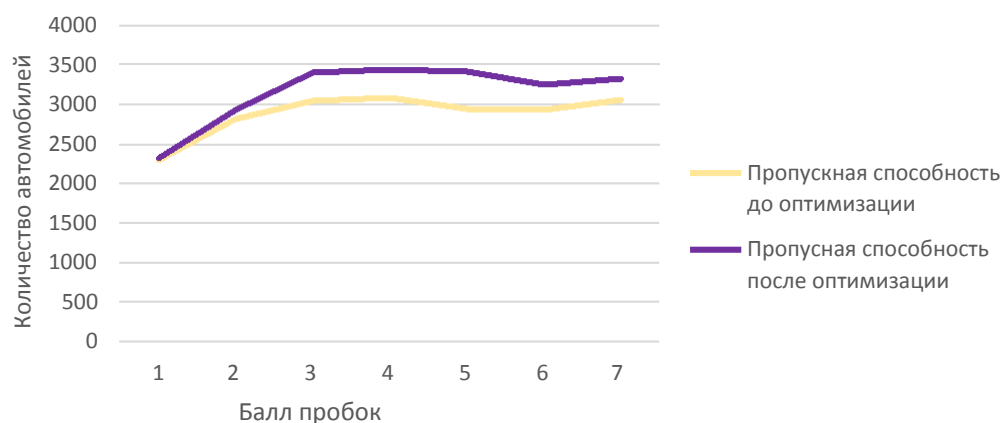


Рис. 12. График фактической пропускной способности перекрестка (авт./час)

На рисунке 12 представлен график фактической пропускной способности Перекрестка, снижение показателя при повышении балла пробок, хотя транспортный поток растет вызвано тем, что действует движения по полосам, таким образом чем плотнее транспортный поток, тем сложнее водителю перестроится в нужный ряд. В целом на данном графике видно, что фактическая пропускная способность перекрестка после проведения оптимизации возросла относительно пропускной способности с исходными показателями.

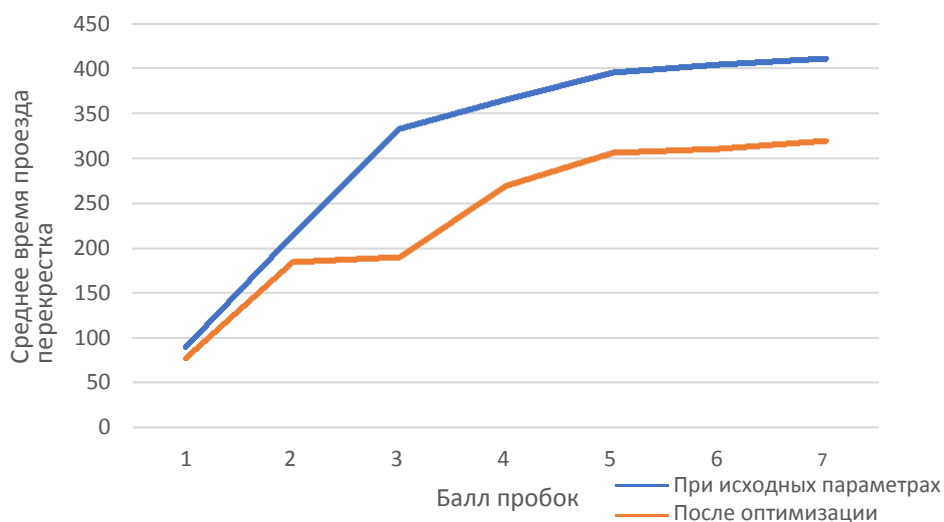


Рис. 13. График зависимости среднего времени проезда перекрестка от балла пробок

На рисунке 13 мы видим, что после оптимизации среднее время проезда перекрестка уменьшилось для каждого балла пробок. В среднем для каждого балла удалось сократить среднее время проезда перекрестка на 30%. Интенсивность движения на пр-те Косыгина в среднем превышает интенсивность движение ул. Передовиков на 45%. Таким образом, на пр-те Косыгина часто возникают заторы, которые с течением времени только увеличивают свою протяжённость. Так как на пр-те Косыгина присутствует сначала сужение количества полос с трех до двух, позже возникновение автобусной полосы и расширение до 3 полос для движения автомобилей, возрастает вероятность возникновения ДТП при заторах, т.к. водителям приходится в условиях плотного движения выполнять перестроения. Такое распределение времени позволит создать баланс между пересекающимися дорогами. Настройка светофоров не решит проблему пробок, однако поможет облегчить ситуацию, снизив время проезда и, следовательно, увеличив скорость движения на участке дороги.



Заключение

В процессе моделирования была осуществлена разработка структурной модели перекрестка ул. Передовиков и пр-та Косыгина. Проведена оптимизация имитационной модели работы перекрестка и оптимизация среднего времени проезда. Предложенный алгоритм оптимизации позволяет быстрее проезжать перекресток (с незначительными отклонениями), уменьшая при этом дорожные конфликты, ДТП, и тем самым снижая затраты на бензин, т.к. машины не будут задерживаться на перекрестке. Данная оптимизация может также применяться и на других перекрестках, участках дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веб-сервис «Яндекс.Пробки» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://yandex.ru/maps/2/saint-petersburg> (дата обращения 03.05.2020).
2. Курьянова, О.Е. Безопасность транспортного процесса: методические указания к практическим работам/О.Е.Курьянова. -М.: МАДИ, 2016.-С,60.
3. Кравченко, П.С. Микроскопические математические модели транспортных потоков: Аналитический обзор/ П. С. Кравченко, Г. А. Омарова- Новосибирск: СО РАН- 2014г. – С,24-30.
4. Prigogine I. A Boltzman-like approach to the statistical theory of traffic flow / Theory of Traffic Flow. Ed. Herman R. Amsterdam: Elsevier, 1961.
5. Gasis D.C. et al. Car following theory of steady state flow // Operations Research. – 1959. – Vol. 7. – P. 499-505.
6. Daganzo C.F. Remarks on Traffic Flow Modeling and its Applications // Dept. of Civil and Environmental Engineering University of California, Berkeley.
7. Программный продукт Anylogic. Возможности [Электронный ресурс]. —Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/> (дата обращения: 22.03.2020).
8. Андронов С.А. Интеллектуальные транспортные системы / Андронов С.А., Фетисов В.А.— Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019.— 260 с.
9. Справочная система Anylogic. Эксперимент OptQuest [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/blog/optquest-v-anylogic-optimiziruem-model-pravilno/> (дата обращения: 19.04.2020).
10. Майоров Н. Н. Моделирование транспортных процессов / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов. - СПб.: Изд-во ГУАП, 2011. - 163 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Евтушенко Антонина Евгеньевна

студент кафедры системного анализа и логистики Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения 190000, Санкт-Петербург, ул.Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: eae_1101@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Evtushenko Antonina Evgenievna

Student of the department of system analysis and logistics
Saint-Peterdburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: eae_1101@mail.ru