

Анализ и моделирование транспортных потоков на перекрестке для управления качеством городской среды

Т.В. Ерещенко, Н.М. Рашевский, Д.А. Хорошун, Д.Н. Ряпалов, Р.Ф. Курамшин

Волгоградский Государственный Технический Университет, Волгоград

Аннотация: В статье рассматривается проблема улучшения системы управления транспортными потоками. В среде AnyLogic моделируется загруженность потока машин с вычислением эффективности пропускной способности. Варьируя параметры агента-автомобиля и системы управления светофорами, выявляются оптимальные значения длительности работы сигналов и достигается наименьшее время проезда перекрестка. Для анализа загруженности выбранного участка города Волгограда был использован картографический сервис. На количественной модели был проведен эксперимент, в виде измерения параметров автомобильного потока в разное время суток. Проведен поиск оптимального решения задачи управления движением на конкретном участке дороги г. Волгограда, для чего были выбраны изменяемые параметры, определена целевая функция в виде времени ожидания на перекрестке и получено решение задачи в виде значений времени переключения светофоров. К преимуществу метода можно отнести наглядность модели и простоту использования.

Ключевые слова: эффективность пропускной способности, агент-автомобиль, модель движения, управление перекрестками, имитационное моделирование.

Введение

Волгоград - один из самых протяженных городов России. Основанный вдоль реки Волга, он имеет протяженность около 100 километров. С каждым годом Волгоград развивается и расширяется вдоль реки. В связи с этим появляются новые микрорайоны, жилые комплексы — это способствует росту количества автомобилей, а также увеличивается количество заторов на дорогах.

Это проблема многих крупных городов. При сформированной инфраструктуре проведение новых автомагистралей не всегда возможно, поэтому есть смысл улучшать систему управления транспортными потоками. Существует несколько подходов к решению этой проблемы. Например, можно проводить множественные эксперименты в реальных условиях, что ведет к потере времени и может привести к еще большему образованию пробок. Альтернативной идеей является моделирование загруженности потока машин с вычислением эффективности пропускной способности.

Таким образом, является актуальным построение модели движения транспортных средств на перекрестке, где при помощи некоторого количества экспериментов и управления светофорами будут выявляться наилучшие значения длительности работы каждого сигнала и достигаться наименьшее время проезда перекрестка.

Постановка задачи

В данной моделируемой среде рассматривается несколько параметров: свойства агента-автомобиля, сигналы светофора на перекрестке. Агент-автомобиль описывается набором фиксированных параметров: интенсивность прибытия $N_{\text{авто}}$ [кол-во в час]; длина L [м]; начальная скорость $v_{\text{нач}}$ [км/ч]; предпочитаемая скорость v [км/ч]; максимальное ускорение a [м/с²]; максимальное торможение $a_{\text{торм}}$ [м/с²].

Система управления светофором описывается набором фиксированных параметров: количество секций $N_{\text{секц}}$; продолжительность разрешающего сигнала T_1 ; продолжительность запрещающего сигнала T_2 ; продолжительность предупреждающего сигнала T_3 .

При проектировании модели были приняты стандартные данные: длина, м – 4,5; нач. скорость, км/ч – 60; предпочитаемая скорость, км/ч – 79; макс. ускорение, метров в секунду² – 1,8; максимальное торможение, метров в секунду² – 4,2; пребывание автомобилей, штук в час – 1400

Исходные данные для светофоров: для красного, желтого и зеленого цветов секция прямо соответственно 30, 3, 90 секунд, а секция на поворот – 90, 3, 30 секунд.

Анализ моделируемой местности

В Волгограде существует три основных протяженных магистрали: первая, вторая, а также третья продольные. Для моделирования был выбран перекресток, соединяющий третью продольную магистраль и вторую, так как он соединяет в себе объездную дорогу, а также центр города – в связи с чем

на нем наблюдается большой поток автомобилей. Осложняет ситуацию наличие большого потока транзитного транспорта.

На первом этапе были собраны данные об автопарке города и населении. В Волгограде на 2020 год численность легковых автомобилей составляет 267,3 тыс. шт., а население примерно 1 млн. человек. Показатель обеспеченности автомобилями (автомобилизация) на 1 тыс. человек составляет 265 шт., то есть примерно каждый 4 житель обладает легковым автомобилем [1].

Анализируя исследования, проведенные в работе [2], можно увидеть, что показатель автомобилизации в Волгограде находится на среднем уровне. Однако если учитывать рост количества автомобилей с каждым годом, а также сокращение маршрутов и автопарка общественного транспорта, то этот показатель будет только расти.

В связи с тем, что дороги были построены в разное время и рассчитаны на разный поток автомобилей, начинают возникать проблемные места, в которых пропускная способность дороги (перекрестка) ниже, чем реальный поток автотранспорта. По этой причине была поставлена цель – повысить эффективность развязок и перекрестков.

Проведение вычислительного эксперимента

Для анализа загруженности выбранного участка был использован картографический сервис [3]. На основе полученных данных был выбран самый загруженный день недели - пятница, а также 3 временных промежутка: утро (8:30 - 9:30), день (11:30 - 12:30) и вечер (16:30 - 17:30).

С помощью программного пакета AnyLogic [4, 5], созданного для имитационного моделирования [6], была построена модель эффективности пропускной способности автомобильных дорог, см. рисунок 1.

На данной модели различными цветами отмечены скорости движения агентов-автомобилей: красный цвет – скорость менее 10 км/ч; оранжевый –

Таблица 1 – Модельные данные

	Промежуток времени		
	8:30 - 9:30	11:30 - 12:30	16:30 - 17:30
Кол-во авто	150	138	222
Ср. скорость (км/ч)	50	60	17
Время проезда (сек)	78	69	285

скорость от 10 км/ч до 25 км/ч; желтый – скорость от 25 км/ч до 40 км/ч; светло зеленый – скорость от 40 км/ч до 60 км/ч; зеленый – скорость более 60 км/ч.

С целью развития идей по оценке безопасности участка транспортной системы города для совершенствования транспортной сети [7-8], была выполнена работа по оптимизации светофорной сети.

В изначально представленной модели проблема возникает на одностороннем движении с севера на юг по 3-ей Продольной Магистральной из-за большого скопления транспорта. Причиной скоплений на определенном участке модели может являться статический режим работы светофора [9], который не подстраивается под текущий поток автомобилей, а одинаково работает как при заторах, так и при свободной дороге. На остальных направлениях, по улице Неждановой с запада на восток и по 3-ей Продольной Магистральной с юга на север, пропускная способность в норме.

На количественной модели был проведен эксперимент, в виде измерения параметров автомобильного потока в утреннее, дневное, вечернее время. Экспериментом выявлено, что в утренние часы, а именно - с 8:30 до 9:30, загруженность данного участка минимальна, количество автомобилей составляет 150 штук в час.

В дневное время, а именно с 11:30 до 12:30, поток автомобилей слегка уменьшается и количество составляет 138 штук в час, время проезда 69 секунд.

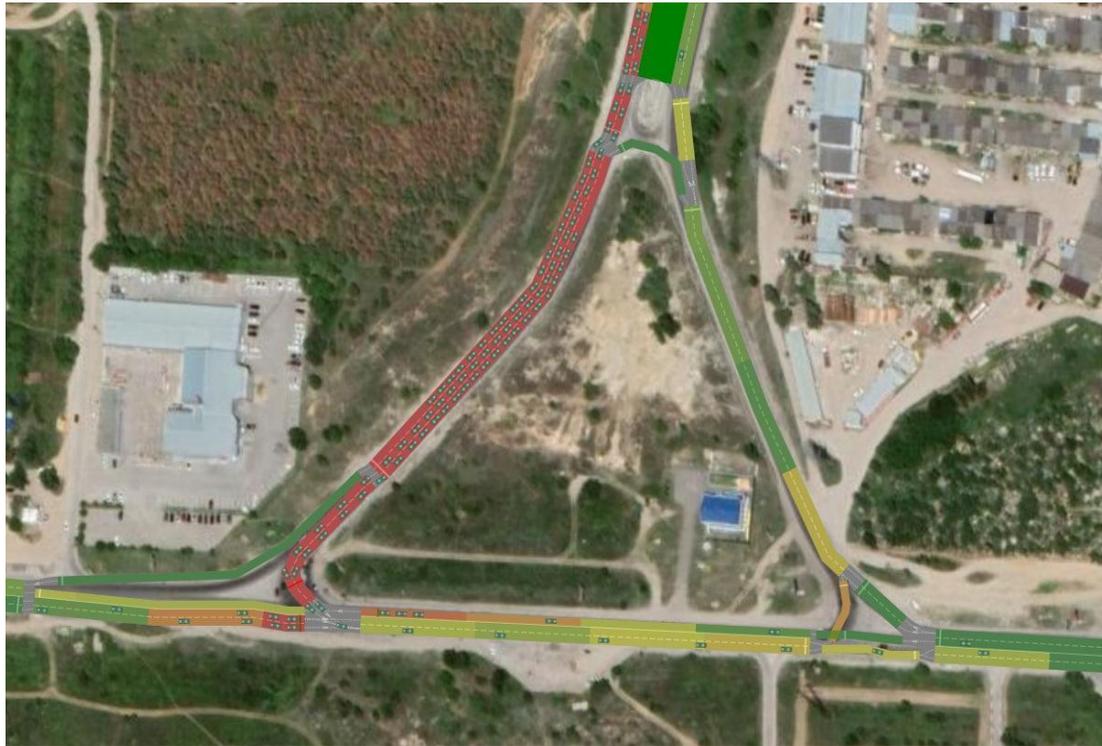


Рис. 1. – Перекресток с 3-й Продольной магистрали на улицу Неждановой

В вечернее время, а именно - с 16:30 до 17:30, поток автомобилей сильно увеличен, их количество составляет 222 штук в час, что влияет на образование пробки на автотрассе, а также на время проезда, которое равно 285 секунд.

Данный эксперимент выявил проблемные составляющие: светофор, плохая инфраструктура, некачественное покрытие дороги и транспортная градостроительная подсистема в определенной локации, но основной причиной затора является плохо оптимизированный регулируемый светофор.

Для исправления дорожной ситуации был проведен ряд экспериментов на данных в вечернее время суток с изменением длительности работы каждого сигнала системы управления светофором:

- В первом эксперименте изменены длительности разрешающих и запрещающих сигналов светофоров со 120 и 30 секунд до 90 секунд. Получены данные для светофоров: для красного, желтого и зеленого цветов

для обеих секций прямо и на поворот соответственно 90, 3, 90 секунд. Время проезда изменилось до 125 секунд.

- Во втором эксперименте изменены длительности разрешающих и запрещающих сигналов светофоров со 120 и 30 секунд до 60 секунд. Получены данные для светофоров: для красного, желтого и зеленого цветов для обеих секций прямо и на поворот соответственно 60, 3, 60 секунд. Время проезда изменилось до 131 секунд.

Далее изменены длительности разрешающих и запрещающих сигналов светофоров со 120 и 30 секунд до 45 секунд. Получены данные для светофоров: для красного, желтого и зеленого цветов для обеих секций прямо и на поворот соответственно 45, 3, 45 секунд. Время проезда изменилось до 113 секунд.

В четвертом эксперименте изменены длительности разрешающих и запрещающих сигналов светофоров со 120 и 30 секунд до 30 секунд. Получены данные для светофоров: для красного, желтого и зеленого цветов для обеих секций прямо и на поворот соответственно 30, 3, 30 секунд. Время проезда изменилось до 109 секунд.

В пятом эксперименте изменены длительности разрешающих и запрещающих сигналов светофоров со 120 и 30 секунд до 60 и 30 секунд. Получены данные для светофоров: для красного, желтого и зеленого цветов секция прямо соответственно 30, 3, 60 секунд, а секция на поворот – 60, 3, 30 секунд. Время проезда изменилось до 99 секунд.

В ходе экспериментов, было выявлено, что при длительности сигналов светофора, равных 60 и 30 секундам, время проезда перекрестка минимальное, см рисунок 2. Таким образом, альтернативная модель из последнего эксперимента является наиболее оптимальной для любого времени суток.

Это положительно влияет на безопасность дорожного движения [10], а также на уменьшение заторов на данном участке дороги.



Рис. 2. – Перекресток с 3-й Продольной магистрали на улицу Неждановой при альтернативных данных светофора

Заключение

В статье проведен поиск оптимального решения задачи управления движением на конкретном участке дороги г. Волгограда, для чего были выбраны изменяемые параметры, определена целевая функция (оптимизируемое значение) в виде времени ожидания на перекрестке и получено решение задачи в виде значений времени переключения светофоров.

Преимуществами данного подхода к моделированию и исследованию транспортных сетей в пакете AnyLogic является простота и наглядность построения модели, возможность модифицирования и усовершенствования модели пользователем.

Разработанная методика дает возможность оптимизации любого перекрестка города, что в условиях постоянного увеличения потока машин весьма оправданно.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>, и Волгоградской области. Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре "Цифровые



технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве" ИАиС ВолгГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

Литература

1. Обеспеченность автомобилями в крупнейших городах России. ТОП-20. // Аналитическое агентство Автостат. URL: autostat.ru/press-releases/46332/.
2. Ховавко И. Ю., Экономический анализ московских пробок. // Государственное управление. Электронный вестник. – 2014. – № 43. – С. 122.
3. Проблемный перекресток. // Картографический сервис GoogleMaps URL: google.com/maps/@48.7071016,44.4409814,16.75z/data=!5m1!1e.
4. Shamlitskiy, Ya I; Mironenko, S N; Kovbasa, N V; Bezrukova, N V; Tynchenko, V S; Kukartsev, V V. Evaluation of the effectiveness of traffic control algorithms based on a simulation model in the AnyLogic // Journal of Physics: Conference Series. 2019. №10. URL: elib.sfu-kras.ru/handle/2311/128916.
5. AnyLogic. URL: anylogic.ru.
6. Long K., Lin Q., Gu J., Wu W. and Han L. Exploring Traffic Congestion on Urban Expressways Considering Drivers' Unreasonable Behavior at Merge/Diverge Sections in China. Sustainability. 2018. V.10. No. 12. P. 4359.
7. Рашевский Н.М., Руденко И.Е., Соколов Д.А., Феклистов В.А., Якунин О.А., Разработка системы поддержки принятия решений на основе рассуждения по прецедентам по оценке безопасности участка транспортной системы города // Инженерный вестник Дона. 2022. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7802.
8. Криволапова О.Ю. Анализ эффективности проектов совершенствования транспортной сети // Инженерный вестник Дона. 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/830.
9. Губанов Н. Г., Козлов В. В., Баротова А. Ж., Имитационная модель перекрестка с возможностью регулирования движения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / СамГТУ. Самара. 2017. С. 576-580.

10. Кульцова М. Б., Садовникова Н. П., Дмитриенко Д. В., Рашевский Н. М., Комплексный анализ безопасности транспортной системы Волгограда // Известия ВолгГТУ. 2013. № 22(125). С. 72-77.

References

1. Obespechennost' avtomobilyami v krupnejshih gorodah Rossii. TOP-20. [Availability of cars in the largest cities of Russia. TOP 20.]. Analiticheskoe agentstvo Avtostat. URL: autostat.ru/press-releases/46332/.

2. Novavko I. YU., Ekonomicheskij analiz moskovskih probok. Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik. 2014. № 43. P. 122.

3. Problemnyj perekrestok. Kartograficheskij servis GoogleMaps. - URL: google.com/maps/@48.7071016,44.4409814,16.75z/data=!5m1!1e.

4. Shamlitskiy, Ya I; Mironenko, S N; Kovbasa, N V; Bezrukova, N V; Tynchenko, V S; Kukartsev, V V. Journal of Physics: Conference Series. 2019. №10. URL: elib.sfu-kras.ru/handle/2311/128916.

5. AnyLogic. - URL: anylogic.ru.

6. Long K., Lin Q., Gu J., Wu W. and Han L. Exploring Traffic Congestion on Urban Expressways Considering Drivers' Unreasonable Behavior at Merge/Diverge Sections in China. Sustainability. 2018. V.10. No. 12. P. 4359.

7. Rashevskij N.M., Rudenko I.E., Sokolov D.A., Feklistov V.A., Yakunin O.A., Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №7 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7802.

8. Krivolapova O.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/830.

9. Gubanov N. G., Kozlov V. V., Barotova A. ZH., Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii: sbornik statej. SamGTU. Samara. 2017. Pp 576-580.

10. Kul`czova, M.B., Sadovnikova, N.P., Dmitrienko, D.V., Rashevskij, N.M. Izvestiya VolgGTU. 2013. T. 18. № 22(125). Pp. 72–77.