

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Федосеевкова Елена Сергеевна (Омск, Россия) – аспирант кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» ФГБОУ ВО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kaf\_oput@sibadi.org).*

*Fedoseenkova Elena Sergeevna (Omsk, Russia) – postgraduate student of the head of the department «The organization of transportations and management on transport» the Siberian automobile and road university. (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: kaf\_oput@sibadi.org).*

*Витвицкий Евгений Евгеньевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kaf\_oput@sibadi.org).*

*Vitvitskiy Evgeniy Evgenievich (Omsk, Russia) – Doctor of Engineering, Professor. Head of the department «The organization of transportations and management on transport» the Siberian automobile and road university. (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: kaf\_oput@sibadi.org).*

УДК 656.056.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛОВ СВЕТОФОРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ДЛИНУ ОЧЕРЕДИ НА СМЕЖНЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ

*А. Ю. Харабаджи  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Россия*

**Аннотация.** *Рассматривается вопрос повышения эффективности работы перекрестков в изменяющихся условиях загрузки улично-дорожной сети (УДС) города. Изучается влияние продолжительности временных циклов соседних светофорных объектов на длину очереди транспортных средств, возникающей между светофорными объектами. Показано, что процесс образования очереди имеет динамический характер, который следует исследовать в рамках подхода нелинейной динамики.*

**Ключевые слова.** *Транспортный поток; регулирование светофорных объектов; моделирование транспортных потоков.*

### ВВЕДЕНИЕ

Общее состояние транспортного обслуживания граждан Российской Федерации не может на сегодняшнем этапе социально-экономического развития России не вызывать беспокойства. Транспорт – связующее звено всех направлений и видов деятельности.

Из-за постоянного роста автомобилизации количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на дорогах и время задержек транспорта стремительно растет. Для многих стран мира данная проблема становится стратегически важной, а значит, задача по уменьшению заторов на дорогах является одной из приоритетных.

Решение данной задачи стало актуальным еще в 60-х годах прошлого века, когда начала разрабатываться интеллектуализация

транспортной системы регулирования светофорными объектами (СО). В настоящее время многие государства инвестируют в интеллектуальные транспортные системы (ИТС), вследствие чего светофорное регулирование эволюционировало в адаптивное управление светосигнальных установок.

Указанная тема была чрезвычайно широко исследована разными авторами. Приведем лишь некоторые результаты, непосредственно касающиеся тематики исследования. В работе [1] рассмотрены принципы адаптивного управления светофорными объектами, также даны описания координированного и корректируемого управления транспортными потоками. Автор приходит к выводу, что адаптивное регулирование СО является эффективным средством борьбы с заторами.

В работе [2] показана перспективность использования интеллектуальной транспортной сети при управлении транспортными потоками мегаполиса. Приведена и проанализирована структура ИТС, сделан обзор основных идей и методов в области имитационного и прогнозного моделирования транспортных потоков.

В рамках статьи [3] предлагаются стратегии по снижению транспортной нагрузки на УДС крупных городов, а так же необходимые меры для реализации ИТС на примере города Санкт-Петербурга.

Целью настоящего исследования является выявления закономерности продолжительности временных циклов соседних СО на длину очередей, возникающих между светофорными объектами. Актуальность такой работы оправдана тем, что в настоящее время в г. Туле не проведены работы по согласованию циклов светофорного регулирования даже на соседних пересечениях. Кроме этого, при решении перспективных вопросов внедрения ИТС так же необходимо подобное согласование.

Теоретической основой для разработки перспективных алгоритмов адаптивного управления может стать нелинейная динамика транспортных систем, применяемая для моделирования транспортных потоков [4-6]. В рамках такого подхода существенно возрастает роль прогнозирования различных состояний транспортной системы, как на макро-, так и на микроуровнях.

### ДОПУЩЕНИЯ МОДЕЛИ

1) не учитывается наличие маршрутов общественного транспорта; данное допущение приемлемо для решаемой задачи и не вызывает дополнительных погрешностей, так как время суток в задаче не увязывается с расписанием маршрутного транспорта, а статистически наличие пассажирского подвижного состава учитывается с помощью состава транспортного потока (см. ниже);

2) влияние парковочных мест не учитывается, так как на исследуемом участке они находятся в заездных карманах и существенно не влияют на движение транспорта в крайней правой полосе;

3) расстояния входов транспортных потоков выбирались произвольно от центра пересечений, то есть состояние транспортных потоков на смежных к исследуемому участкам УДС учитывается величиной потока за единицу времени; при необходимости всегда имеется возможность детализировать входные

потоки по сколь угодно малым интервалам времени в течение суток;

4) геометрия улиц учитывается шириной и количеством полос для движения; локальные изменения направления и ширины незначительны и для задачи исследования существенной погрешности не вносят;

5) состав транспортного потока: установлено следующее соотношение состава транспортного потока: 95 % – легковые автомобили; 5% – автобусы; грузовые автомобили отсутствуют ввиду запрета на движение подобных транспортных средств по пр. Ленина;

6) скорость автотранспортных средств (АТС) изменяется в соответствии с широко известной моделью «следования за лидером»;

7) пешеходное движение не учитывается, так как считается, что пешеходы полностью успевают переходить улицы за время пешеходной фазы и не создают препятствий для транспортных средств.

Исходные данные для экспериментов были получены в результате проведенного натурного обследования пересечений на проспекте Ленина (в сторону ул. Советской) между улицами Льва Толстого и Первомайской в городе Тула.

Натурное обследование проводилось в рабочие дни с 17:00 до 18:00. В эти часы УДС имеет наивысшую загрузку в связи окончанием рабочего дня, при этом интенсивности и плотности транспортных потоков на перекрестках фиксировались на видеокамеру. В дальнейшем путем воспроизведения видеоматериалов было подсчитано количество АТС в необходимых направлениях.

С помощью сервиса «Яндекс-карты» было определено расстояние между исследуемыми пересечениями. Кроме этого, были установлены параметры циклов светофорного регулирования: цикл СО на ул. Льва Толстого в настоящее время составляет 95 сек, а на ул. Первомайская – 120 сек (рис.1).

Вычислительный эксперимент проводился при изменении цикла СО на ул. Льва Толстого и постоянном цикле на ул. Первомайская. Для определения наиболее рациональной длительности циклов эксперимент проводился 8 раз, из которых 1 раз относительно базового (существующего), 1 раз для цикла в 120 секунд на Льва Толстого и Первомайской и 6 раз с вариацией смещения цикла между соседними СО в 5-30 сек. Смещение проводилось для 2-й группы светосигнальных установок, т.е. ул. Льва Толстого.

## ОПИСАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Для выполнения экспериментов использовалась программа PTV - VISION VISSIM, в которой была создана модель УДС (см. рис. 1).

Задача, решаемая с помощью модели, – оценить влияние параметров работы светофорных объектов при различных циклах светофорного регулирования на длину очередей и количество остановок транспортных средств при проезде пересечений.

На соответствующих перекрёстках были введены светосигнальные группы, ул. Первомайская – 1-ая группа и ул. Льва Толстого – 2-ая.

Все разрешенные направления движения автомобилей задавались с помощью функции «Решения маршрута», при этом количество автомобилей по направлениям в процентах задавалось по результатам наблюдений.

В модели устанавливаются правила дорожного движения, чтобы исключались «столкновения» и «пересечения» транспортных потоков. Для этого использовались функции «Знаки приоритета» и «Конфликтные зоны».

Для сбора информации устанавливается «счетчик затора» и «измерительный пункт».

План проведения эксперимента:

1) Запуск программы с базовыми циклами СО для имитации реальной обстановки на УДС. После имитации 2-х часов работы СО были получены данные о количестве остановок, длине очереди и потоке.

2) Установление эквивалентности циклов светосигнальных групп, т.е. все временные значения смены сигналов на ул. Льва Толстого стали равны аналогичным на ул. Первомайской. Полученные данные заносились в таблицу и строились графики.

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

По результатам эксперимента было построено семейство кривых, отображающих зависимости средней длины очереди и количества остановок от длины цикла.

Ниже приведено парное сравнение при разных продолжительностях светофорного регулирования и смещениях (рис. 2 и 3).

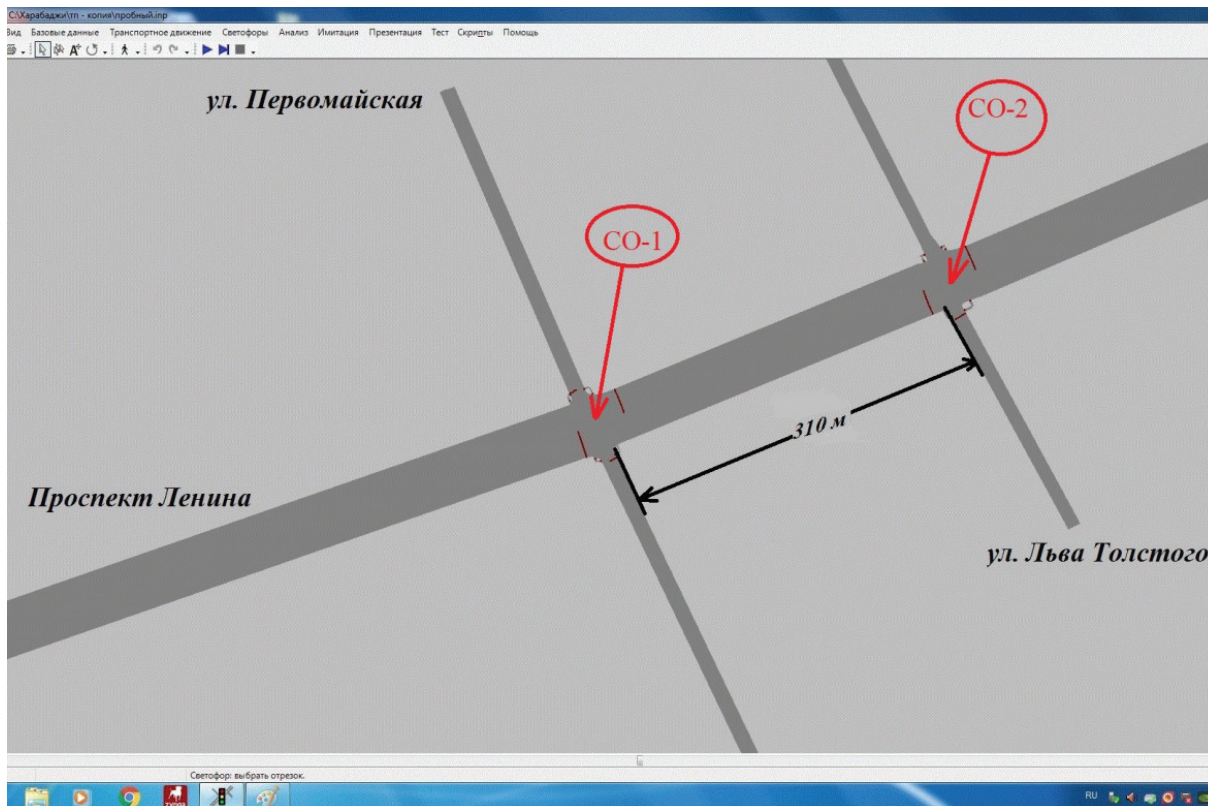


Рисунок 1 – Параметры модели УДС

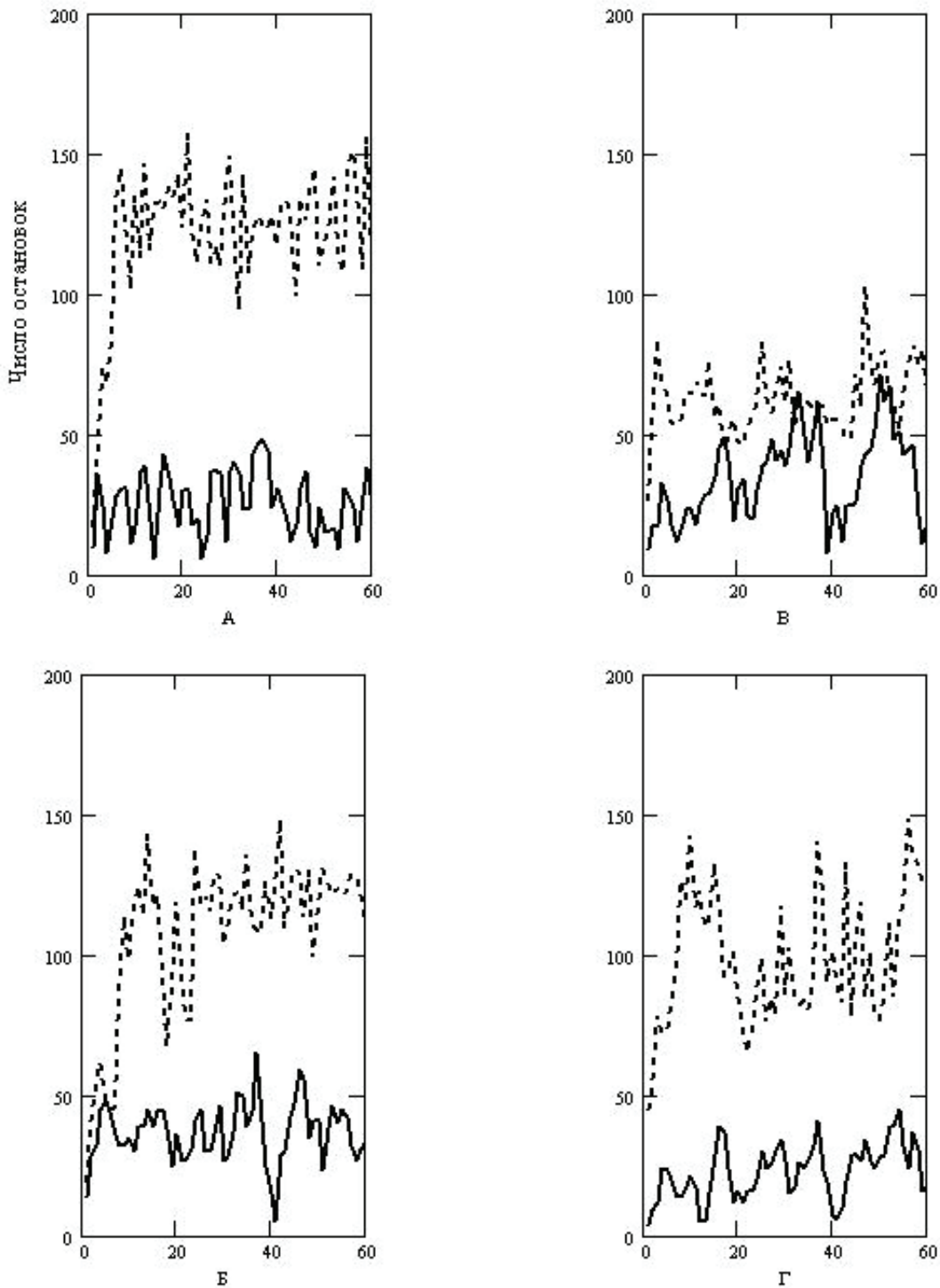


Рисунок 2 – Сравнение эффективности регулирования СО по количеству остановок в очереди АТС.  
По оси абсцисс указан номер цикла светофорного регулирования в одном вычислительном эксперименте, по оси ординат – суммарное количество остановок, совершенных всеми АТС при проезде пересечения.  
А – ул. Л. Толстого - 90 сек, ул. Первомайская – 120 сек; Б – ул. Л. Толстого – 120 сек, ул. Первомайская – 120 сек, смещение 0; В – то же, смещение 15 сек; Г – то же, смещение 30 сек; сплошная линия – очередь перед ул. Л. Толстого (в центр), пунктирная – перед ул. Первомайской (из центра)

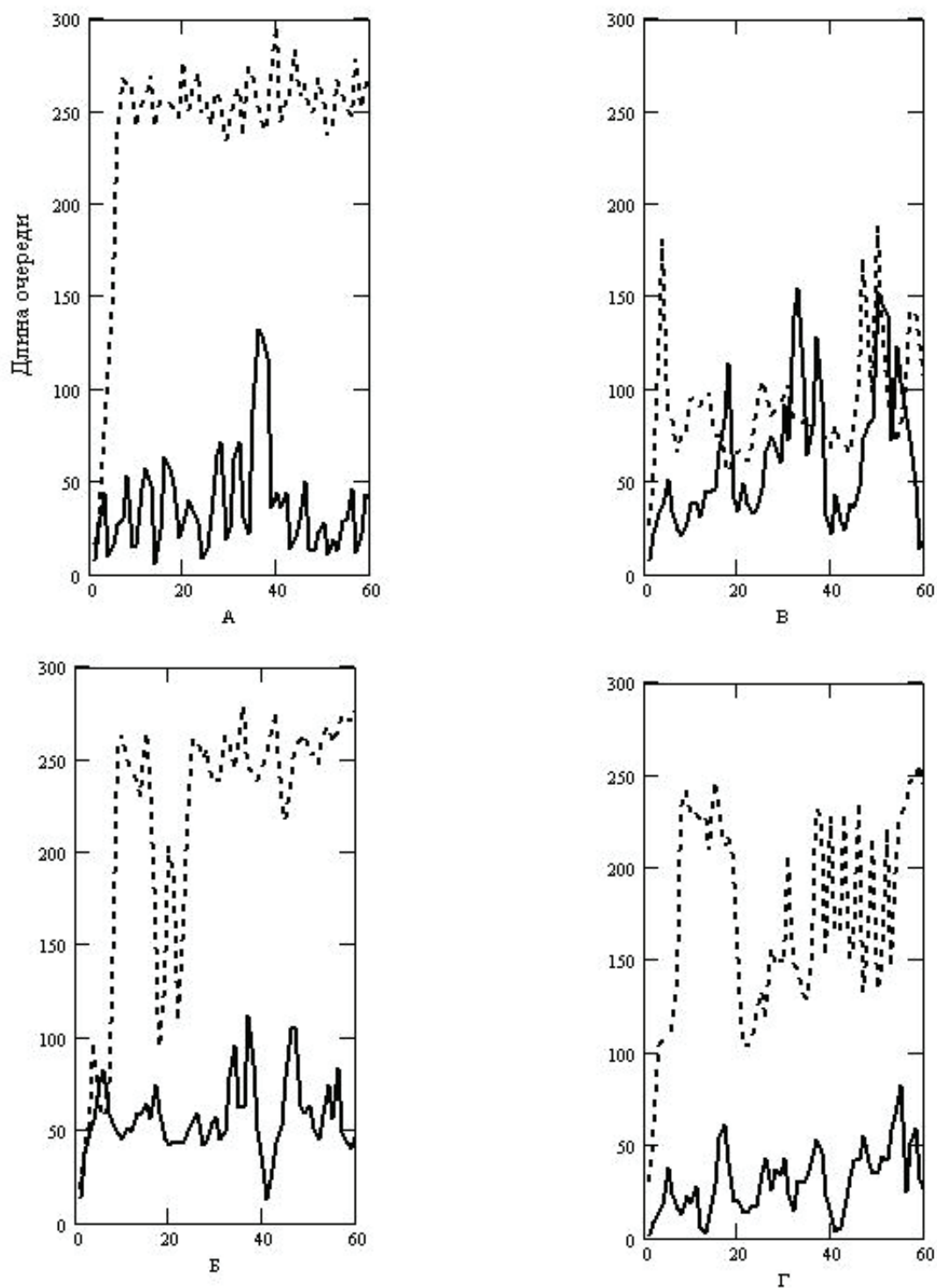


Рисунок 3 – Сравнение эффективности регулирования СО по длине очереди (остальные обозначения те же, что и на рис.2)

Как видно из графиков (см. рис. 2 и 3), количество остановок и длина очереди существенно зависят от продолжительности цикла на перекрестке. При существующей ситуации (для ул. Льва Толстого – 95 сек и ул. Первомайская – 120 сек, рис.2,3, А) очевидна существенная разница в длинах очередей, скапливающихся в перегоне в противоположных направлениях, что говорит о практической необходимости увеличить цикл светофора до 120 сек на ул. Льва Толстого.

С помощью построенной модели исследовался вопрос влияния смещения начала работы светофорных объектов на соседних пересечениях. Проведено парное сравнение длины очереди и количества остановок при смещении в 15-30 сек. Опыты, выполненные со смещением от 5 до 10 секунд, не показаны в данной работе ввиду низкой эффективности этих вариантов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования с помощью модели были выявлены изменения длины очереди и количества остановок от параметров цикла светофорных объектов на соседних перекрестках, а так же сделан анализ полученных результатов. Так, рис.2, А показывают, что среднее число остановок в базовом (существующем) варианте составляет: для ул. Первомайской (от центра) – около 125, для ул. Л. Толстого (к центру) – около 25. Это свидетельствует о крайней неравномерности работы перегона. Вариант на рис.2, В показывают, что среднее число остановок при смещении циклов на 15 сек составляет: для ул. Первомайской (от центра) – около 70, для ул. Л. Толстого (к центру) – около 30. Подобные результаты видны и для длины очереди (рис.3, А и В).

Модель и последовательность выполнения расчетов могут использоваться для решения аналогичных задач и для других перекрестков в г. Туле и в других городах и представляют собой методику, позволяющую выявлять наиболее рациональный вариант светофорного регулирования с точки зрения сокращения длин очередей и увеличения пропускной способности перекрестков, а также более однородного использования перегона в противоположных

направлениях.

Таким образом, получены инструменты (модель и методика), позволяющие выбирать наиболее рациональные соотношения циклов соседних светофоров, что является необходимым подготовительным этапом при принятии решений о включении адаптивных алгоритмов управления СО [7-8]. На основании проведенных опытов можно сделать выводы о целесообразности повышения времени светофорного цикла на ул. Льва Толстого. При временном цикле 95 сек наблюдается большое скопление автомобилей в очереди на перегоне перед ул. Первомайской (рис.2 и 3). При цикле 120 сек и смещении в 15 сек представляет собой наиболее рациональный вариант, в обоих направлениях средняя длина очереди и количество остановок становятся более близкими по величине.

Представляется крайне перспективным для более точного решения задачи использовать динамические модели транспортных потоков в рамках нелинейной динамики, в которой могут быть учтены различные фазы состояния транспортного потока [4-6].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воробьев А. И. Современные методы светофорного регулирования [Электронный ресурс]. 2014. N 2 (2). Режим доступа: <http://www.adi-madi.ru>
2. Павленко П. Ф. Моделирование системы адаптивного управления транспортными потоками // Наука, техника и образование. 2015. № 7(13), С.34-37.
3. Ногова Е. Г. Интеллектуализация транспортных систем в задаче стабилизации транспортной ситуации в крупных городах [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.adf.spbgasu.ru/Conference2006/section\\_3.pdf](http://www.adf.spbgasu.ru/Conference2006/section_3.pdf)
4. Агуреев И. Е. Нелинейные модели транспортных процессов и систем // Известия ТулГУ. Серия: Автомобильный транспорт. 2006. Вып.10. С.3-11.
5. Агуреев И. Е., Богма А. Е., Пышный В. А. Динамическая модель транспортной макросистемы // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 6. Ч. 2. С.139-145.
6. Агуреев И. Е., Гладышев А. В. Динамика производства и спроса в диссипативной моде-

ли логистической системы // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 6. Ч. 2. С.152-160.

7. Агуреев И. Е., Кретов А. Ю., Мацур И. Ю. Исследование алгоритмов светофорного регулирования перекрестка при различных параметрах транспортного потока // Известия

ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 7. Ч. 2. С.54-61.

8. Агуреев И. Е., Мацур И. Ю., Минаков Е. И. Тульский "Взгляд" на соблюдение правил дорожного движения // Дороги: Инновации в строительстве. 2011. № 10. С.24.

## THE INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TRAFFIC LIGHTS CYCLE DURATION ON THE CROSSROAD TRANSPORT SITUATION (BY THE EXAMPLE OF TULA)

A. Y. Harabadji

**Abstract.** *The issue of opportunities to improve the efficiency of intersections in the changing conditions of the traffic load of the city is considered. The influence of the duration of the time cycles of neighboring traffic lights on the length of the vehicle queue that appears between the traffic lights is studied. It is shown that the formation of the queue has a dynamic character, which should be investigated within the framework of the nonlinear dynamics approach.*

**Keywords:** *traffic flow; regulation of traffic lights; traffic modeling.*

### REFERENCES

1. Vorob'ev A. I. Sovremennye metody svetofornogo regulirovaniya [Modern methods of traffic signal regulation]. 2014. no 2 (2). Available at: <http://www.adi-madi.ru>

2. Pavlenko P. F. Modelirovanie sistemy adaptivnogo upravleniya transportnymi potokami [Modeling of adaptive traffic management system]. Nauka, tekhnika i obrazovanie. 2015. № 7 (13), P.34-37.

3. Nogova E. G. Intellektualizaciya transportnyh sistem v zadache stabilizacii transportnoj situacii v krupnyh gorodah [Intellectualization of transport systems in the task of stabilizing the transport situation in large cities]. Available at: [http://www.adf.spbgasu.ru/Conference2006/section\\_3.pdf](http://www.adf.spbgasu.ru/Conference2006/section_3.pdf).

4. Agureev I. E. Nelinejnye modeli transportnyh processov i system [Nonlinear models of transport processes and system ]. Izvestiya TulGU. Seriya: Avtomobil'nyj transport. 2006. Vyp.10. P.3-11.

5. Agureev I. E., Bogma A. E., Pyshnyj V. A. Dinamicheskaya model' transportnoj makrosistemy [Dynamic model of transport macrosystem]. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2013. Vyp. 6. CH. 2.139-145 pp.

6. Agureev I. E., Gladyshev A. V. Dinamika proizvodstva i sprosa v dissipativnoj modeli logisticheskoy sistemy [Dynamics of production

and demand in the dissipative model of the logistics system]. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2013,. Vyp. 6, CH. 2, 152-160 pp.

7. Agureev I. E., Kretov A. YU., Macur I. YU. Issledovanie algoritmov svetofornogo regulirovaniya perekrestka pri razlichnyh parametrah transportnogo potoka [Investigation of algorithms of traffic signal regulation of intersection at various parameters of a traffic flow]. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2013. Vyp. 7. CH. 2. P.54-61.

8. Agureev I. E., Macur I. YU., Minakov E. I. Tul'skij Vzglyad na soblyudenie pravil dorozhnogo dvizheniya [Tula. View on observance of rules of traffic]. Dorogi. Innovacii v stroitel'stve, 2011, no 10. P.24.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

A. Ю. Харабджи (Тула, Россия) – магистрант 1 курса Политехнического института Тульского государственного университета (300012, г. Тула пр.Ленина, 92, ТулГУ кафедра AuAX, e-mail: [xapasala@mail.ru](mailto:xapasala@mail.ru)).

A. Y. Harabadji (Tula, Russia) – the 1st course student of graduate studies of the Polytechnic Institute, Tula State University (300012, Tula, Lenin Av., 92, Tula State University, Automobile and Automobile Economy Department, e-mail: [xapasala@mail.ru](mailto:xapasala@mail.ru)).