

УДК 656.11

UDC 656.11

**СПЕЦИФИКА АДАПТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ
ДВИЖЕНИЕМ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ
СЕТИ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ**

**SPECIFICITY OF ADAPTIVE TRAFFIC
MANAGEMENT IN THE STREET-ROAD
NETWORK OF ROSTOV-ON-DON**

А. С. Мишин, А. В. Воротынцева

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

mishin_aleksey94@mail.ru

abigile559@gmail.com

Рассматривается реализация стратегии адаптивного управления дорожным движением в узлах улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону. Представлены результаты сравнительного анализа изменения характеристик транспортных потоков при существующей и оптимизированной схемах организации дорожного движения в узлах улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону.

Ключевые слова: адаптивное управление, нечеткая логика, дорожное движение, моделирование движения.

A. S. Mishin, A. V. Vorotyntseva

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

mishin_aleksey94@mail.ru

abigile559@gmail.com

The article discusses the strategy implementation for adaptive traffic control at junctions of the road network of Rostov-on-Don. It presents the results of a comparative analysis of characteristics changes of traffic flow at the existing and the optimized schemes of road traffic organization at junctions of the road network of Rostov-on-Don.

Keywords: adaptive control, fuzzy logic, traffic, travel movement simulation.

Введение. Для управления дорожным движением разработаны различные стратегии управления, представляющие собой комплекс мероприятий для создания условий движения, обеспечивающих бесконфликтное и удобное взаимодействие участников дорожного движения. В зависимости от конфигурации улично-дорожной сети (УДС), от особенностей транспортных и пешеходных потоков применяется, стратегия управления, подходящая для конкретного участка УДС [1]. Поскольку дорожное движение в крупных городах усложняется, то возникает необходимость пересматривать существующие стратегии управления и разрабатывать новые. С развитием интеллектуальных технологий появляется возможность решать актуальные задачи по управлению дорожным движением [2].

Перспективным, с точки зрения оптимизации распределения транспортных и пешеходных потоков, является адаптивное управление дорожным движением, базирующееся на использовании интеллектуальных технологий, которое по праву можно считать самой высокоорганизованной формой управления [3, 4]. Принцип адаптации лежит в основе функционирования систем адаптивного управления в рамках современных интеллектуальных транспортных систем.

Основная часть. Конкретная стратегия управления разрабатывается на основе принципов управления дорожным движением в узле УДС:

— временно-зависимое управление — стратегия разрабатывается на основе анализа исторических характеристик транспортных потоков и реализуется согласно фиксированным временным планам;

— транспортно-зависимое управление — стратегия разрабатывается на основе анализа текущей транспортной ситуации [5].

При временно-зависимом управлении расчет параметров работы светофорной сигнализации делается заранее, и светофорный объект работает, в трех режимах (например, утро, обед и вечер). Интенсивность и другие характеристики транспортного потока могут меняться чаще, чем три раза в день. Такое управление подходит в случае, когда транспортный поток относительно стабилен и меняется редко (например, в малонаселенных пунктах).

Для транспортных потоков густонаселенных городов временно-зависимое управление не подходит (только в ночные часы). Необходимо чаще в течение дня менять режим работы светофора, «подстраиваясь» к транспортному потоку. Управление зависит от характера движения транспорта, отсюда название: транспортно-зависимое управление.

Идея транспортно-зависимого управления стала развиваться и реализовываться в разных формах в системах управления дорожным движением в городах. Формой транспортно-зависимого управления высокого уровня можно считать адаптивное управление.

Для определения специфики адаптивного управления следует исходить из концепции адаптации, подразумевающей изменения структуры, алгоритмов функционирования и параметров системы с целью достижения оптимального состояния или поведения системы при начальной неопределенности и изменяющихся условиях работы системы во взаимодействии с внешней средой.

Транспортные потоки современной УДС являются сложными, изменяющимися динамическими объектами, и качественно управлять ими достаточно сложно [6]. Построение технической инфраструктуры системы управления требует разработки адекватного алгоритма расчета параметров управления. Алгоритмы расчетов разрабатываются с применением различных теорий математической науки [7]. Если управлять транспортным потоком по принципу адаптации, то система управления должна гибко реагировать на изменения поведения транспортного потока. Изучение поведения транспортного потока в различных ситуациях и выявление основных принципов его поведения является основой для генерации оптимальной стратегии управления.

Целесообразность адаптивного управления дорожным движением в узле УДС, объясняется следующими условиями:

- динамикой изменения поведения и объема транспортного потока;
- низким процентом ситуаций полного насыщения фрагмента УДС.

Достоинством системы, реализующей адаптивное управление, является способность выработать оптимальную стратегию управления практически любой транспортной ситуацией. К недостаткам следует отнести большие затраты времени на сбор информации о поведении объекта управления и стратегиях управления таким поведением.

Система адаптивного управления содержит результаты наблюдений за поведением транспортного потока и результаты расчетов параметров управления транспортными потоками. Полученная информация используется для построения алгоритма работы системы управления и разработки оптимальной стратегии управления. Подобные задачи решаются с помощью развивающихся интеллектуальных вычислительных технологий, к которым можно отнести теорию нечеткой логики. Теория нечеткой логики рассматривает задачи, связанные с явлениями, имеющими многозначный и неточный характер. Например, транспортный поток достаточно многозначен, и описать правильно его конкретное поведение с помощью только одной характеристики недостаточно. Теория нечеткой логики хорошо подходит для разработки

системы классификации состояний транспортного потока, что важно при управлении потоком в режиме онлайн [8, 9].

Данные о транспортном потоке с детекторов транспорта поступают в модуль управления. В зависимости от поступивших данных транспортный поток относят к определенному классу и выбирают конкретную стратегию управления — оптимальные параметры режима работы светофорных объектов.

Существуют алгоритмы, по которым в реальном времени можно «пересчитывать» параметры режима работы светофорных объектов. Но программы, реализующие эти алгоритмы, дорогостоящие и, с точки зрения, объемов вычислений, громоздки [5]. В этом случае следует заменить сложный вычислительный механизм более простым, но не менее эффективным.

Предлагается осуществлять выработку оптимальных параметров управления с помощью модуля нечеткого управления [10]. Процедура построения алгоритма функционирования модуля базируется на использовании положений теории нечеткой логики. Структура модуля является классической для управления объектами и процессами. Специфика и индивидуальность работы проявляется на следующих этапах:

- исследование объекта управления с целью выявления закономерности поведения объекта;
- формирование модуля численных значений оптимальных параметров управления.

Индивидуальность разработки проявляется в ходе построения обучающей выборки — качественной основы механизма генерации оптимальных параметров управления.

Работу модуля можно описать следующим образом. Модуль нечеткого управления, содержащий информацию об оптимальных параметрах управления, генерирует данные практически без вычислений.

Для получения информации, необходимы данные наблюдений за управлением потоком в достаточном количестве ситуаций. Следовательно, необходимо создать готовую базу, содержащую адекватные оптимальные параметры управления при любых значениях характеристик управляемого транспортного потока.

Основные этапы разработки алгоритма выработки оптимальных параметров управления дорожным движением в узле УДС в своей последовательности можно обозначить следующим образом:

1. Обоснование целесообразности применения алгоритма для выработки оптимальных параметров управления дорожным движением (оптимального значения времени горения зеленого сигнала светофора для разрешенных направлений движения) в конкретном узле УДС.
2. Построение блок-схемы алгоритма выработки оптимальных параметров управления в модуле нечеткого управления, на базе классической структуры модуля нечеткого управления.
3. Получение обучающей выборки по характеристикам транспортных потоков для конкретного узла УДС в специальной программной среде для оптимизации параметров режима работы светофорной сигнализации TRANSYT.
4. Построение базы правил определения оптимальных параметров управления дорожным движением в модуле нечеткого управления.
5. Оценка адекватности работы построенного модуля нечеткого управления дорожным движением с помощью специальной программной среды для моделирования дорожного движения AIMSUN: проведение сравнительного анализа критериев оценки качества функционирования

системы управления дорожным движением при существующей и предлагаемой схемах организации дорожного движения в конкретном узле УДС.

На основе существующих схем организации дорожного движения и разработанного алгоритма генерации оптимальных параметров управления дорожным движением на перекрестках ул. Б. Садовая — пр. Сиверса, ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону построены модели оценки характеристик транспортных потоков в программной среде AIMSUN (рис.1, 2).

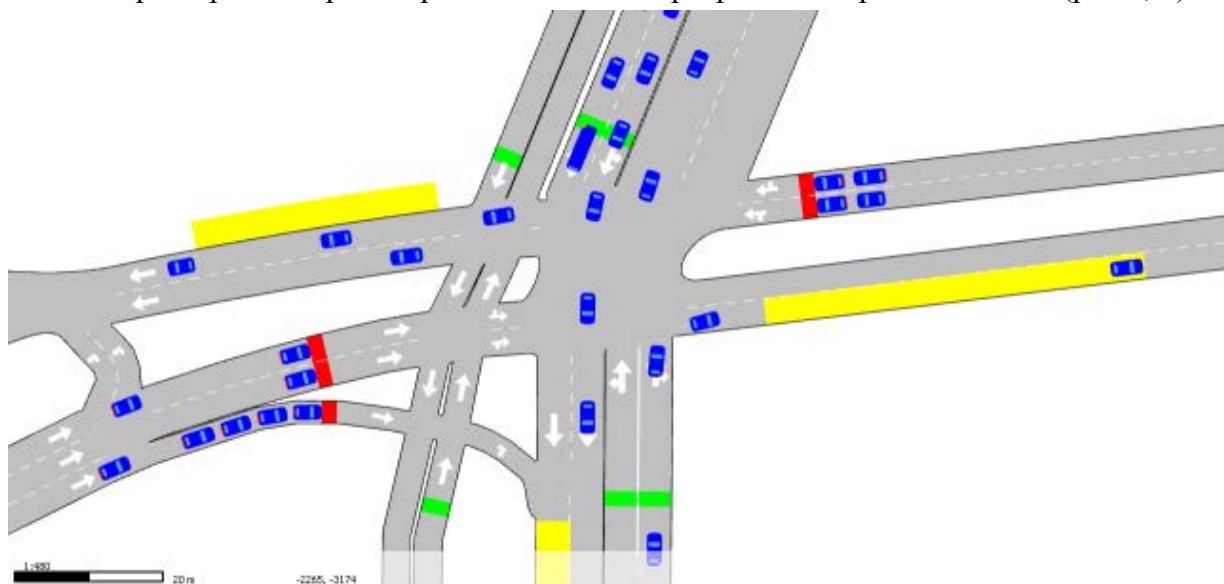


Рис.1. Интерфейс процедуры моделирования дорожного движения на перекрестке ул. Б. Садовая — пр. Сиверса в г. Ростове-на-Дону

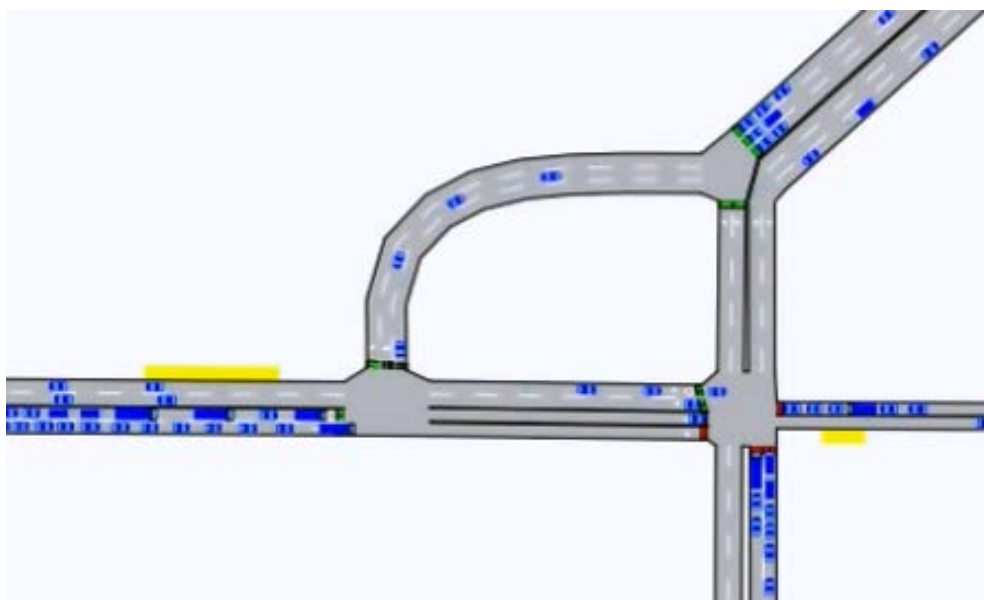


Рис.2. Интерфейс процедуры моделирования дорожного движения на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

В ходе моделирования дорожного движения на обозначенных перекрестках получены значения характеристик транспортных потоков (табл. 1, 2).

Таблица 1

Характеристики совокупных транспортных потоков при существующей (1) стратегии управления и адаптивной (2) на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

Дата, период моделирования	Стратегия управления	Задержки движения z, сек/км	Средняя скорость V_{cp} , км/ч	Суммарное время в пути $t_{сум}$, ч	CO ₂ , г	NO _x , г	PM, г	VOC, г
Четверг 07:30 – 08:30	1	625,26	20,37	249,26	791 289,4	2 412,2	215,6	1 074,6
	2	312,64	24,61	121,11	691 507,3	2 111,1	185,6	918,7
Четверг 12:00 – 13:00	1	602,37	21,15	222,78	771 971,6	2 239,6	209,8	1 186,7
	2	522,38	22,72	195,55	775 779,5	2 283,7	216,0	1 053,9
Четверг 13:00 – 14:00	1	652,23	21,90	230,16	715 862,5	2 065,1	197,9	1 058,5
	2	562,84	22,38	229,13	737 132,4	2 029,4	210,1	1 054,3
Четверг 17:00 – 19:30	1	420,00	20,51	181,28	724 792,8	1 634,7	215,0	1 086,6
	2	335,11	21,61	158,13	669 825,9	1 537,3	197,1	922,68
Суббота 09:00 – 10:00	1	607,00	21,11	234,38	835 365,7	2 734,9	226,9	1 137,2
	2	513,00	22,80	189,81	730 681,1	2 452,2	193,9	1 068,8
Суббота 13:00 – 14:00	1	665,82	20,88	269,49	809 524,7	2 160,6	230,5	1 201,6
	2	538,71	22,08	230,31	762 941,9	1 960,1	226,4	1 151,6

Таблица 2

Характеристики совокупных транспортных потоков при существующей (1) стратегии управления и адаптивной (2) на перекрестке ул. Б. Садовая — пр. Сиверса в г. Ростове-на-Дону

Дата, период моделирования	Стратегия управления	Задержки движения z, сек/км	Средняя скорость V_{cp} , км/ч	Суммарное время в пути $t_{сум}$, ч	CO ₂ , г	NO _x , г	PM, г	VOC, г
Суббота 09:00 – 10:00	1	104,84	30,48	33,86	378376,6	1218,8	67,7	453,4
	2	100,97	31,30	32,88	361578,4	1130,0	60,9	467,3
Четверг 13:00 – 14:00	1	111,75	29,89	40,61	421996,7	1201,5	71,2	554,2
	2	108,32	30,50	40,08	433392,3	1258,1	74,4	544,5
Четверг 17:30 – 19:00	1	108,03	30,65	38,59	398514,9	1084,2	66,2	517,1
	2	107,21	30,72	37,58	388860,9	1059,8	65,4	509,8

Анализ динамики изменения полученных значений характеристик совокупных транспортных потоков на рассматриваемых перекрестках позволяет сделать вывод о преимуществе реализованной стратегии адаптивного управления. На перекрестке ул. Б. Садовая

— пр. Сиверса существующая стратегия близка к оптимальной. На перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна разработанная стратегия адаптивного управления приводит к значительному улучшению существующей ситуации, о чем можно судить, в том числе, по динамике изменения характеристик транспортных потоков в утренний час-пик (рис. 3-9). Кроме того, значимость полученных результатов является весомой в силу того, что пересечение ул. Доватора — ул. Мадояна является фрагментом УДС, движение по которому осуществляется группой скоординированных по времени светофорных объектов.

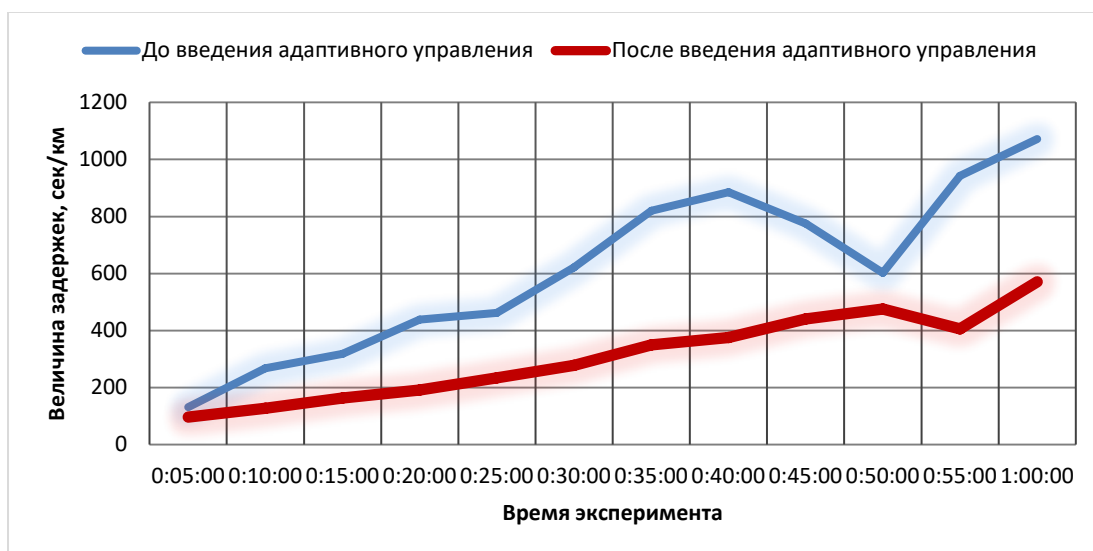


Рис. 3. График изменения задержек движения в будние дни в период 07:00 – 08:00 на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

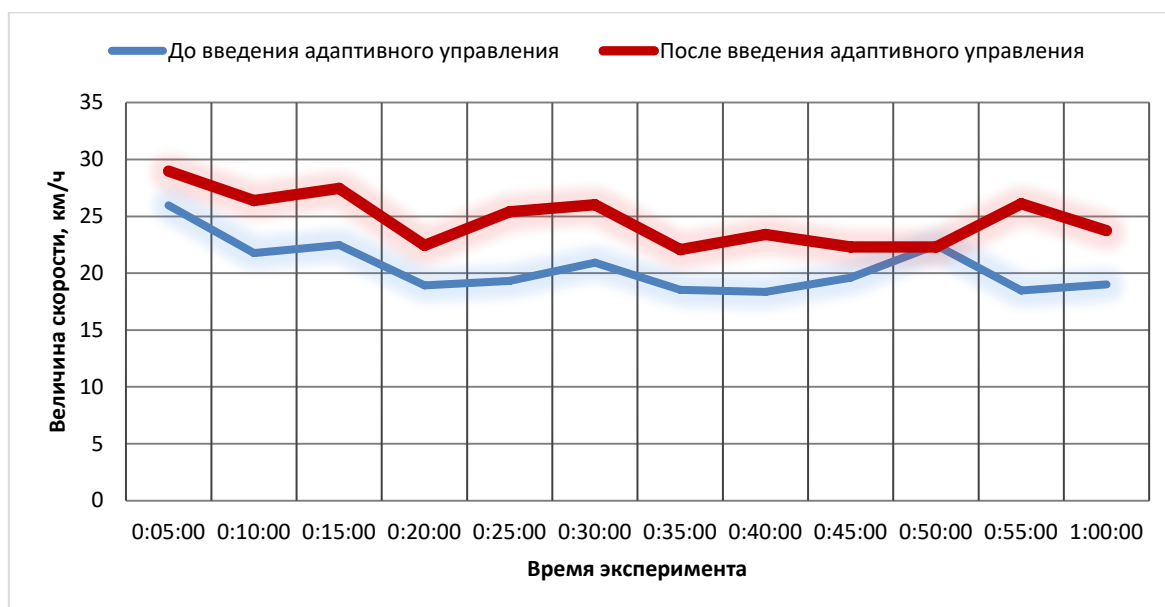


Рис. 4. График изменения средней скорости движения в будние дни в период 07:00 – 08:00 на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

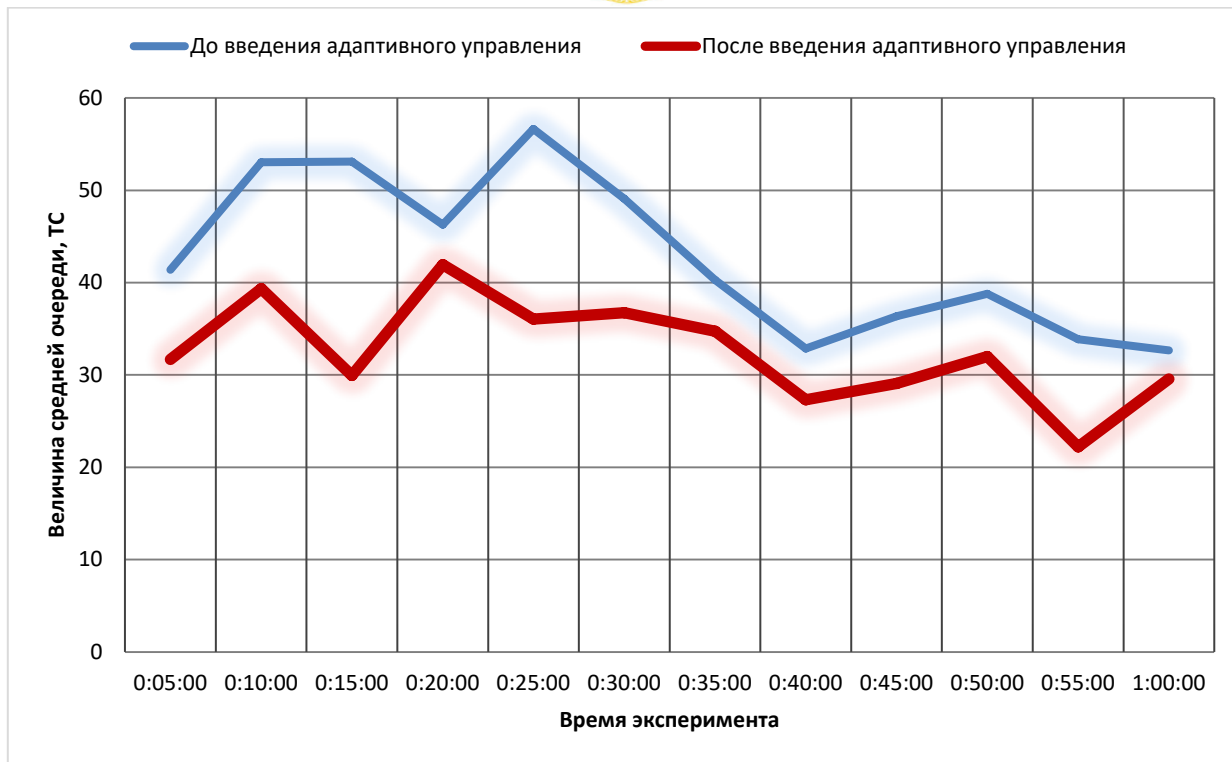


Рис. 5. График изменения средней длины очереди транспортных средств в будние дни в период 07:00 – 08:00 на перекрестке ул. Доватора - ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

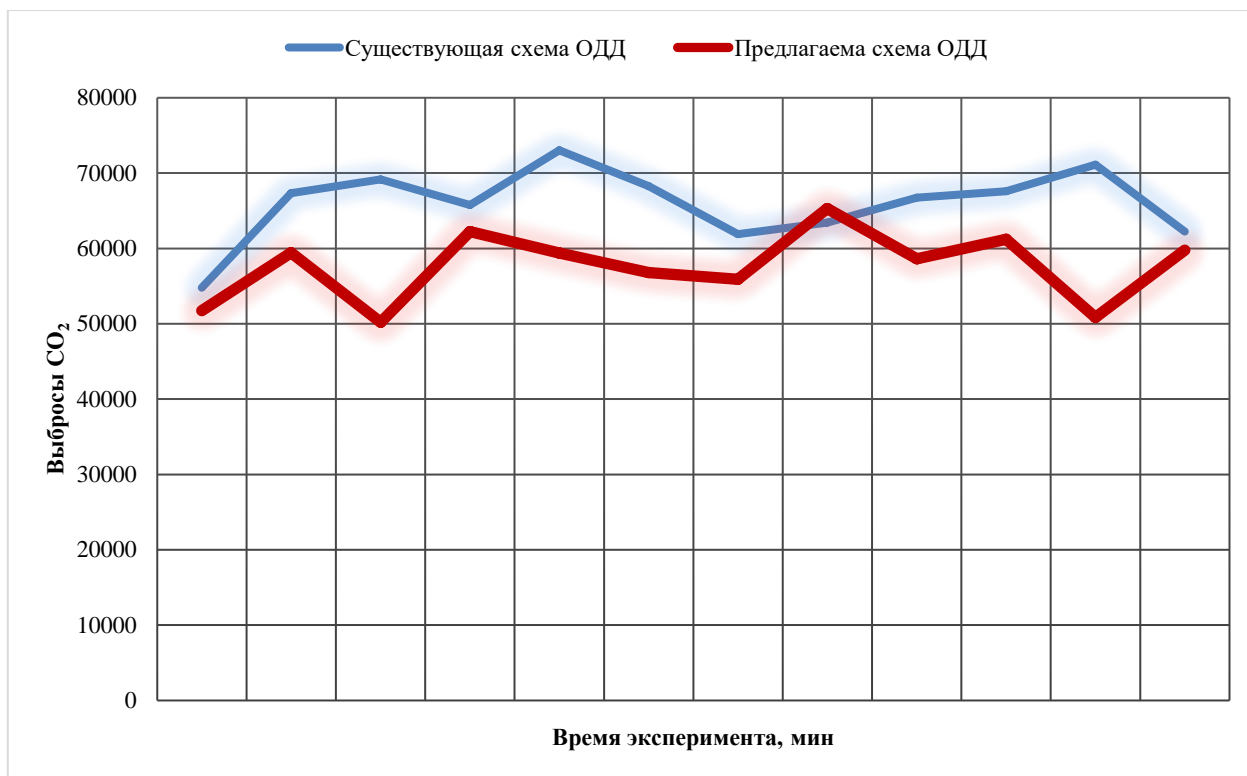


Рис. 6. График изменения выбросов CO₂ в будние дни в период 07:00 – 08:00 на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

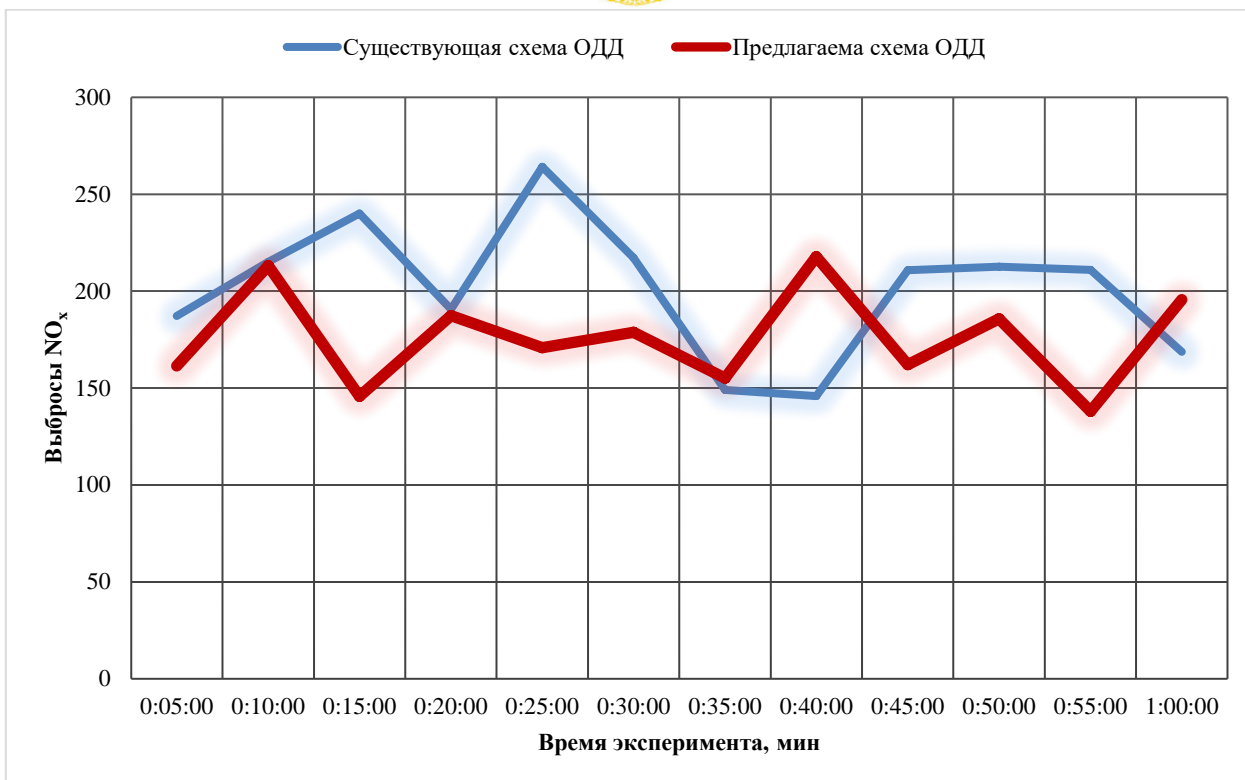


Рис. 7. График изменения выбросов NO_x в будние дни в период 07:00 – 08:00 на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

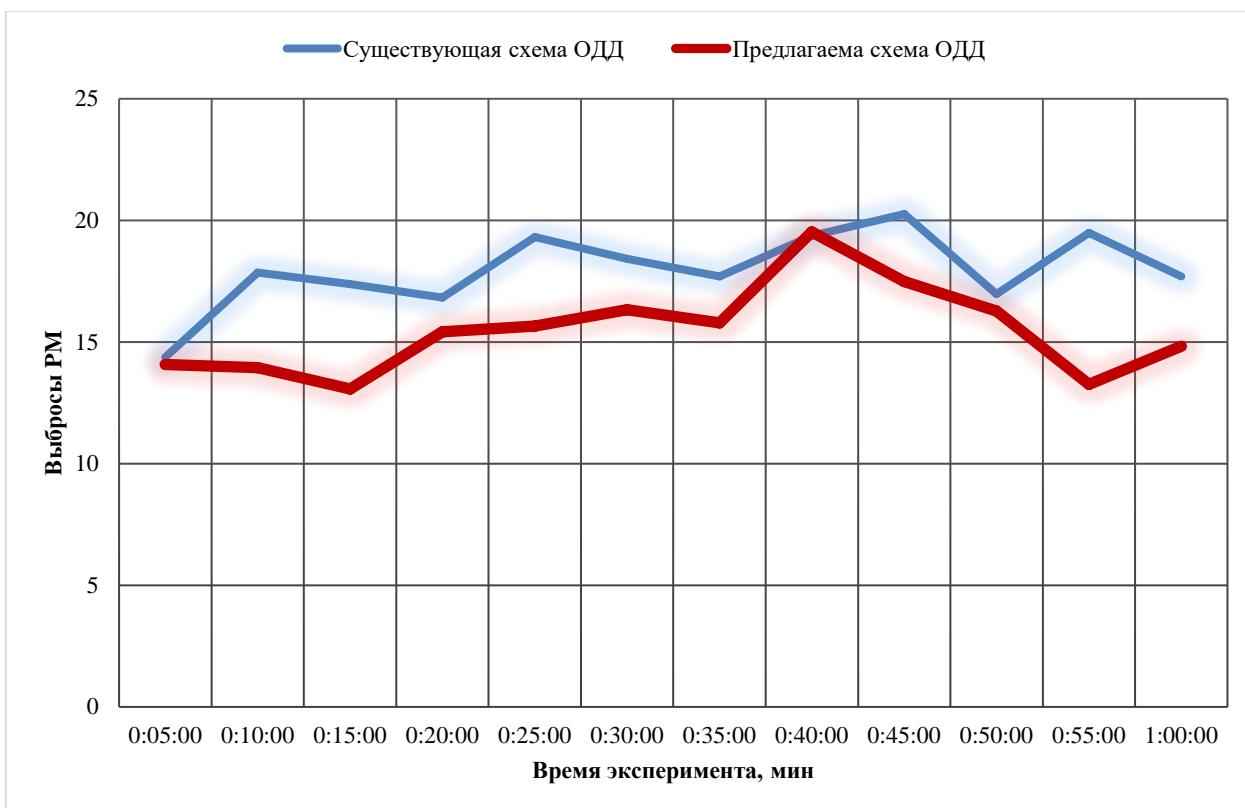


Рис. 8. График изменения выбросов PM в будние дни в период 07:00 – 08:00 на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

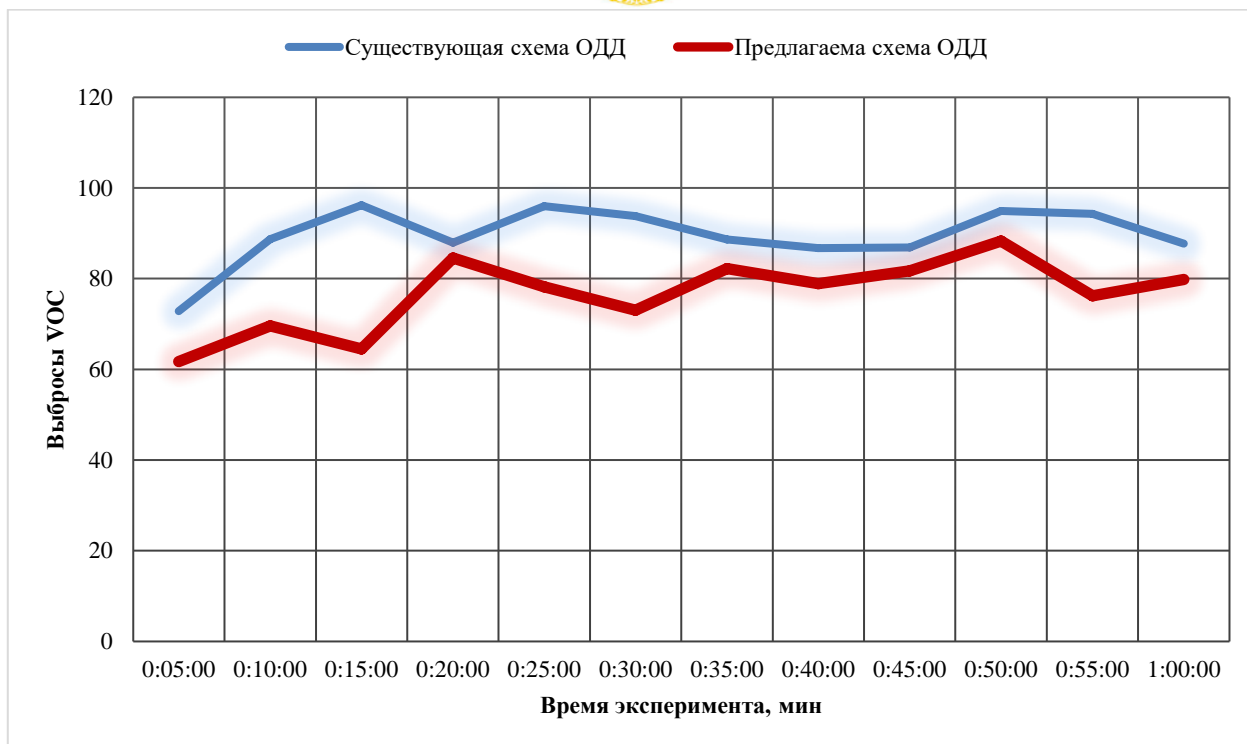


Рис. 9. График изменения выбросов VOC в будние дни в период 07:00 – 08:00 на перекрестке ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону

Заключение. Полученные результаты реализации механизма генерации оптимальных параметров режима работы светофорной сигнализации на перекрестках ул. Б. Садовая — ул. Сиверса, ул. Доватора — ул. Мадояна в г. Ростове-на-Дону дают основания полагать, что разработанный механизм можно использовать при управлении дорожным движением в режиме онлайн на перекрестках обозначенных конфигураций, в структуре модуля нечеткого управления. Устойчивость тенденции изменения как транспортных, так и экологических характеристик транспортных потоков на обозначенных перекрестках при анализируемых в ходе моделирования стратегиях управления свидетельствует о достаточно высокой степени адекватности разработанного механизма.

Библиографический список.

1. Галкина, Г. А. Оценка качества моделируемых схем организации дорожного движения / Г.А. Галкина // Материалы Международной научно-практической конференции «Строительство – 2014». — Ростов-на-Дону : РГСУ, 2014. — С. 60–62.
2. Галкина, Г. А. Принцип адаптивного управления транспортными потоками в узле транспортной сети / Г.А. Галкина, Н.С. Негров // Научное обозрение — №9 — Ч.3. — 2014. — С. 1038-1041.
3. Кочерга, В. Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: учебное пособие / В. Г. Кочерга, В. В. Зырянов, В. И. Коноплянко — Ростов-на-Дону : РГСУ, 2001. — 108 с.
4. Кочерга, В. Г. Оценка и прогнозирование параметров дорожного движения в интеллектуальных транспортных системах / В. Г. Кочерга, В. В. Зырянов — Ростов-на-Дону : РГСУ, 2001. — 130 с.
5. Пржибыл, П. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек [пер. с чешск. и ред. В. В. Сильянова]. — Москва : МАДИ (ГТУ), 2003 — 540 с.

6. Луканин, В. Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: учебное пособие для вузов / В. Н. Луканин, А. П. Буслаев, М. В. Яшина — Москва : ИНФРА-М, 2001. — 646 с.
7. Kerner, B. S. Theory of breakdown phenomenon at highway bottlenecks / B. S. Kerner // *Transpn. Res. Rec.* 1710 — 2000. — С. 136-144.
8. Галкина, Г. А. Особенности разработки системы классификации транспортных ситуаций в рамках системы адаптивного управления транспортными потоками на сети / Г. А. Галкина, Н. С. Негров // *Материалы Международной научно-практической конференции «Строительство – 2011»*. — Ростов-на-Дону : РГСУ, 2011. — С. 54–56.
9. Галкина, Г. А. Метод прогнозирования состояния транспортного потока при управлении на сети [Электронный ресурс] / Г. А. Галкина // *Инженерный вестник Дона*. — Т. 22. — № 4-1 (22). — 2012. — Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1071>. (дата обращения 15.02.2017 г.).
10. Рутковская, Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский [пер. с польск. и ред. И. Д. Рудинского]. — Москва : Горячая линия – Телеком, 2007. — 452 с.