

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СВЕТОФОРОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

К.О. Румянцева¹, А.С. Семькина²

^{1, 2} Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

¹rumiantseva.kam@yandex.ru

²fantarock@mail.ru

Аннотация. В статье представлен анализ эффективности автоматического регулирования светофоров (АРС) в условиях крупного города. Исследованы различные методы управления светофорным движением, включая фиксированные циклы и адаптивные системы. Проведен сравнительный анализ эффективности адаптивных систем на примере нескольких перекрестков с высокой интенсивностью трафика.

Ключевые слова. Автоматическое регулирование светофоров, адаптивные системы, интенсивность трафика, транспортное моделирование, интеллектуальные транспортные системы.

AUTOMATIC REGULATION OF TRAFFIC LIGHTS: CURRENT STATE, PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

K.O. Rumyantseva¹, A.S. Semykina²

^{1, 2} Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia

¹rumiantseva.kam@yandex.ru

²fantarock@mail.ru

Annotation. The article presents an analysis of the effectiveness of automatic traffic light control in a large city. Various traffic light control methods, including fixed cycles and adaptive systems, have been investigated. A comparative analysis of the effectiveness of adaptive systems is carried out using the example of several intersections with high traffic intensity.

Keywords. Automatic control of traffic lights, adaptive systems, traffic intensity, transport modeling, intelligent transport systems.

Современные мегаполисы и даже средние города сталкиваются с колоссальной проблемой – увеличенным количеством транспортных средств на дорогах. Высокая плотность населения, стремительный рост числа автомобилей и недостаточная пропускная способность дорожной сети приводят к образованию многокилометровых заторов, которые снижают эффективность организации дорожного движения. Более того, заторы становятся причиной значительного ухуд-

шения экологической обстановки, поскольку автомобили в режиме простоя выбрасывают в атмосферу огромное количество вредных веществ, усугубляя проблемы со здоровьем населения и повышая уровень загрязнения воздуха. Нельзя забывать и о безопасности дорожного движения: заторенные улицы – это повышенный риск аварий и столкновений, особенно в условиях плохой видимости или ограниченного пространства. Всё это подчёркивает критическую необходимость эффективного управления транспортной инфраструктурой, призванного не просто улучшить ситуацию, а кардинально ее изменить [1].

Одним из наиболее перспективных инструментов решения данной проблемы является автоматическое регулирование светофоров (АРС). В отличие от устаревших систем с жестко заданными временными циклами работы светофоров, АРС представляет собой сложную, интеллектуальную систему, способную динамически адаптироваться к изменяющимся условиям дорожного движения. Эта система – это не просто набор светофоров, а целый комплекс технических средств, включающий в себя разнообразные датчики, высокопроизводительные компьютеры для обработки данных и специализированное программное обеспечение, управляющее работой светофоров в режиме реального времени.

Датчики, установленные на дорогах и перекрестках, собирают огромное количество информации, которая используется для принятия решений. Эти датчики фиксируют интенсивность транспортных потоков в каждом направлении, скорость движения автомобилей, тип транспортного средства (легковой автомобиль, грузовик, автобус), наличие пешеходов и велосипедистов. Более того, современные системы АРС часто интегрируются с другими городскими системами, например, с системами общегородского видеонаблюдения, что позволяет учитывать ещё больше факторов, влияющих на дорожную обстановку. Полученные данные обрабатываются сложными алгоритмами интеллектуального управления трафиком (ИУТ), которые, анализируя текущую ситуацию, вычисляют оптимальные временные параметры для каждого светофора.

Для оценки эффективности АРС было проведено исследование на нескольких перекрестках с высокой интенсивностью трафика в центре города. На этих перекрестках были установлены датчики, фиксирующие интенсивность движения по каждому направлению. Данные, полученные с датчиков, использовались для работы адаптивных алгоритмов, которые динамически корректировали время работы светофоров.

В сравнении с ситуацией, когда на этих же перекрестках работали светофоры с фиксированными циклами, работа в системе автоматического регулирования светофоров показало следующие результаты:

Время задержки транспортных средств на перекрестках снизилось в среднем на 15-20%. Водители стали меньше времени проводить в ожидании зеленого сигнала светофора.

- Пропускная способность перекрестков увеличилась на 10-12%. Больше автомобилей проезжало перекрестки за единицу времени.

- Благодаря уменьшению времени работы двигателей автомобилей на холостом ходу, произошло снижение уровня выбросов вредных веществ в атмосферу.

Стоит отметить, что результаты исследования варьировались в зависимости от конкретного перекрестка и времени суток. Эффективность адаптивных систем была наиболее высокой в часы пик, когда интенсивность движения была наиболее высокой [2].

Внедрение и эксплуатация АРС сопряжены с рядом проблем, связанных с необходимостью точного моделирования транспортных потоков, адаптации к меняющимся условиям трафика, обеспечения безопасности и устойчивости системы. Воспроизведение транспортных потоков с высокой степенью точности – это сложная задача. На точность предсказаний оказывают значительное влияние действия водителей и непредсказуемые обстоятельства, такие как дорожно-транспортные происшествия или ремонтные работы. Ключевым моментом является наличие в системе достаточной адаптивности, чтобы учитывать различные сценарии: от традиционных утренних и вечерних пиковых часов до более редких ситуаций, таких как природные катастрофы или крупные общественные мероприятия.

Несмотря на это, потенциальные выгоды от использования АРС, включающие сокращение времени в пути, снижение заторов и улучшение экологической обстановки, делают данную технологию перспективной для развития транспортной инфраструктуры современных городов.

Существует несколько основных подходов к управлению светофорным движением, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки [3]:

1. Метод фиксированного цикла. Самый простой и распространенный метод регулирования дорожного движения, при котором время работы светофоров задано заранее и не изменяется в зависимости от текущей дорожной обстановки. Данный метод эффективен при стабильном и предсказуемом трафике дорожного движения, но не способен адаптироваться к меняющимся дорожным условиям, что приводит к увеличению заторов и времени в пути в периоды пиковой нагрузки.

2. Метод ручного управления. Управление светофорами производится оператором на основе данных, получаемых с камер видеонаблюдения в режиме реального времени, обеспечивая гибкость управления дорожным трафиком. Однако, недостатком является то, что существенна зависимость от человеческого фактора и ограничена пропускная способность.

3. Метод управления с помощью адаптивных систем. Этот метод использует данные о текущей дорожной обстановке, полученные с помощью датчиков, камер видеонаблюдения и других средств мониторинга, для динамической корректировки параметров светофорного цикла. Адаптивное управление эффективно распределяет транспортные потоки и минимизирует задержки на перекрестках, особенно в условиях меняющегося трафика. Существуют различные алгоритмы адаптивного управления, такие как SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique), SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) и MOTION (Method for the Optimization of Traffic in Networks).

4. Метод управления с помощью адаптивных систем в свою очередь подразделяется на:

- **управление с помощью локальных адаптивных систем:** управление каждым светофором независимо, на основе данных, получаемых с датчиков, расположенных непосредственно перед перекрестком.

- **управление с помощью координированных адаптивных систем:** согласованная работа нескольких светофоров, расположенных вдоль магистрали или в сети улиц, для обеспечения «зеленой волны» для транспортных потоков, движущихся в определенном направлении. При этом, светофоры обмениваются между собой данными о трафике. Это позволяет снизить задержки и увеличить пропускную способность магистрали, но требует точной синхронизации светофоров и может быть неэффективным при высокой интенсивности трафика в поперечном направлении.

- **управления на основе прогнозирования трафика:** использование данных о прошлых и текущих транспортных потоках для прогнозирования будущего трафика и предварительной корректировки параметров светофорного цикла позволяет более эффективно управлять движением в условиях предсказуемых изменений, таких как часы пик или проведение массовых мероприятий.

Алгоритмы ИУТ – это сложные математические модели, учитывающие множество переменных. Они способны предсказывать изменения в транспортных потоках, оптимизируя работу светофоров не только в данный момент, но и на перспективу, минимизируя задержки и повышая пропускную способность перекрестков. Например, в часы-пик система может увеличить время зелёного сигнала для наиболее загруженных направлений, а в периоды низкой интенсивности движения перевести светофоры в режим мигающего желтого или вовсе выключить их. Кроме того, современные алгоритмы ИУТ учитывают приоритеты различных типов транспортных средств, например, давая преимущество общественному транспорту или машинам экстренных служб [4].

Выбор оптимальной стратегии регулирования светофорного движения – это задача, требующая комплексного подхода. Она зависит от множества факторов, включая размеры города и его планировку, плотность застройки, интенсивность и характер транспортных потоков (например, наличие крупных транспортных магистралей или узких улочек), географическое расположение и климатические условия, а также, конечно же, доступные финансовые ресурсы и существующие технические возможности [5]. В небольшом городе может быть достаточно простой системы APC, тогда как для мегаполиса потребуется сложная многоуровневая система, интегрированная с другими городскими системами управления.

Реализация и внедрение APC требуют значительных инвестиций. Необходимо приобрести и установить датчики, создать и настроить программное обеспечение, обеспечить квалифицированное обслуживание системы. Однако, выгоды от внедрения APC значительно перевешивают затраты.

Снижение времени простоя в пробках, улучшение экологической ситуации, повышение безопасности дорожного движения – всё это приносит ощутимую экономическую и социальную выгоду для городской агломерации [6]. В итоге, автоматическое регулирование светофоров – это не просто модернизация транспортной инфраструктуры, а необходимый шаг к созданию комфортной и

безопасной городской среды. Именно поэтому разработка и внедрение все более совершенных систем АРС является одной из приоритетных задач для современных городов [7].

Список литературы

- 1) Васильев, В. Н. Моделирование транспортных потоков для оптимизации управления светофорным движением / В. Н. Васильев, А. П. Смирнов // Автоматика и телемеханика. – 2023. – № 10. – С. 87-98.
- 2) Кузнецов, С. И. Адаптивное управление светофорным движением на основе нейронных сетей / С. И. Кузнецов // Информационные технологии в управлении. – 2022. – № 4. – С. 35-42.
- 3) Лебедев, А. А. Анализ эффективности различных алгоритмов управления светофорным движением / А. А. Лебедев // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 5. – С. 56-65.
- 4) Адаптивное управление светофорами: как это работает. – URL: <https://habr.com/ru/articles/448358/> (дата обращения: 8.04.2025).
- 5) Паращук, Е. М., Горшкова, Н. Г. Алгоритм адаптивного регулирования дорожного движения : учебное пособие / Е. М. Паращук, Н. Г. Горшкова. – Белгород : Изд-во БГТУ , 2016. – С. 155-164.
- 6) Семыкина А.С. Повышение безопасности дорожного движения за счет снижения тяжести последствий ДТП / А.С. Семыкина, Н.А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. – № 3(62) 2018. – С. 88-96.
- 7) Андреева, С.О. Обеспечение безопасности транспортных средств / С.О. Андреева, Д.В. Петрова, А.С. Семыкина // В сборнике: Образование. Наука. Производство. Сборник докладов XVI Международного молодежного форума. Белгород, 2024. С. 3-7.

References

1. Vasiliev, V. N. Modeling of traffic flows for optimizing traffic light control / V. N. Vasiliev, A. P. Smirnov // Automation and telemechanics. – 2023. – No. 10. – pp. 87-98.
2. Kuznetsov, S. I. Adaptive traffic light control based on neural networks / S. I. Kuznetsov // Information technologies in management. – 2022. – No. 4. – pp. 35-42.
3. Lebedev, A. A. Analysis of the effectiveness of various traffic light control algorithms / A. A. Lebedev // The world of transport. – 2021. – Vol. 19, No. 5. – pp. 56-65.
4. Adaptive traffic light control: how it works. – URL: <https://habr.com/ru/articles/448358/> (date of access: 04/08/2025).
5. Paraschuk, E. M., Gorshkova, N. G. Algorithm of adaptive traffic regulation : a textbook / E. M. Paraschuk, N. G. Gorshkova. Belgorod : Publishing House of BSTU, 2016. pp. 155-164.
6. Semykina A.S. Improving road safety by reducing the severity of the consequences of an accident / A.S. Semykina, N.A. Zagorodny // The world of transport and technological machines. – No. 3(62) 2018. pp. 88-96.
7. Andreeva, S.O. Ensuring the safety of vehicles / S.O. Andreeva, D.V. Petrova, A.S. Semykina // In the collection: Education. Science. Production. Collection of reports of the XVI International Youth Forum. Belgorod, 2024. pp. 3-7.