

Научная статья
УДК 625.7.
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-114-129>
EDN: LXFVPU



КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПУТЁМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

М.А. Рюмкин¹, В.А. Шнайдер² ✉

¹ООО «Автодорпроект»,
г. Омск, Россия

²Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),
г. Омск, Россия

✉ ответственный автор
wihor@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Основной проблемой городов стала необеспеченная пропускная способность существующей городской транспортной сети в связи с ростом интенсивности движения за последние десятилетия и увеличения количества легковых автомобилей в составе транспортного потока. Обнаруженная проблема затрагивает большие города нашей страны и обусловлена увеличением уровня урбанизации. Регулярно возникающие заторы ухудшают качество жизни населения, негативно влияя также на экономическое благополучие и экологическую обстановку городских территорий. Пропускная способность улично-дорожной сети зависит от многих факторов. При решении задач повышения пропускной способности необходимо учитывать тип исследуемого объекта: городская дорога или дорога общего пользования; относится объект исследования к линейному участку; является ли примыканием (в одном и разных уровнях) либо пересечением (в одном и разных уровнях). Одним из инструментов для повышения пропускной способности на сегодняшний день являются интеллектуальные транспортные системы. Для задач мониторинга, контроля совместно с ИТС активно стали применяться технологии машинного зрения. Целью нашего исследования является разработка концепции интеллектуальной транспортной системы для повышения пропускной способности, существующей транспортной сети путем регулирования транспортных потоков с применением машинного зрения.

Материалы и методы. Рассматриваемый участок улично-дорожной сети находится в Центральном районе г. Омска. Исследования проводились в будние дни, в течение часа в утреннее и вечернее время часа пик. Учет проводился путем фиксирования прохождения пешеходов и проезда каждого транспортного средства через сечение. Применение видеофиксации дало возможность более точно определить количество транспортных средств, которые проезжают через рассматриваемое поперечное сечение. Полученные данные стали основой для создания транспортной модели как цифрового двойника, использования данных для обоснования принятых проектных решений, учета транспортных средств и принятых решений об актуализации светофорных циклов. Для оценки пропускной способности использовался программный комплекс PTV Vissim. В микроскопическую модель транспортного потока заложены модель поведения за впереди идущим автомобилем и модель смены полосы движения. Результат имитации – анимация движения транспорта в режиме онлайн на графических поверхностях и автономное перечисление различных транспортно-технических параметров.

Результаты. Концепция предполагает перераспределение транспортных потоков на альтернативный путь движения за счет машинного зрения, искусственного интеллекта и дорожных знаков группы 5.15. В программном комплексе PTV Vissim смоделировано решение с учетом предлагаемой концепции. Путем имитационного моделирования зафиксирован наиболее оптимальный временной интервал работы концепции, который составил ограничение работы модели в 20 мин. Данный промежуток позволяет как «распустить» потоки, так и не допустить заторы в течение часа пик.

Обсуждение и заключение. Развитие интеллектуальной системы, разработка усовершенствованных систем контроля и учета транспортных средств является важнейшим направлением исследований в области повышения пропускной способности транспортных потоков населенных пунктов. Для реализации на практике данной концепции необходима финансовая поддержка (государственное финансирование/гранты/частные инвестиции), привлечение профильных специалистов (комплексная задача) требует более детальную проработку проекта.

© Рюмкин М.А., Шнайдер В.А., 2026



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пропускная способность, улично-дорожная сеть, транспортная сеть, интеллектуальные транспортные системы, машинное зрение, интенсивность движения, картограмма транспортных потоков, концепция, моделирование транспортных потоков, коэффициент загрузки

Статья поступила в редакцию 10.12.2025; одобрена после рецензирования 21.01.2026; принята к публикации 16.02.2026.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Рюмкин М.А., Шнайдер В.А. Концепция повышения пропускной способности путём регулирования транспортных потоков на основе машинного зрения // Вестник СибАДИ. 2026. Т. 23, № 1. С. 114-129. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-114-129>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-114-129>

EDN: LXFBPU

CONCEPT OF INCREASING TRAFFIC CAPACITY BY REGULATING TRAFFIC FLOWS BASED ON MACHINE VISION

Maxim A. Ryumkin¹, Victoria A. Schneider² ✉

¹Avtodorproekt LLC,
Omsk, Russia

²Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia

✉ corresponding author
wihor@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The main problem facing modern cities is the insufficient road capacity within the operating urban transport network due to the increase of traffic intensity observed over the past decades and the growing number of passenger vehicles in traffic flows. The identified problem is relevant for large and major cities across the country and it is caused by the rising level of urbanization. Regular traffic congestion worsens living conditions, negatively affecting both the economic well-being and the ecological situation in urban areas. The traffic capacity of street-and-road network depends on many factors. When addressing the issue of increasing traffic capacity, it is necessary to consider the type of transport facility — whether it is an urban road or a road of general use; if the research object is a straight section, a junction, or an intersection (built at the same or different levels). One of the tools for increasing traffic capacity today is Intelligent Transport Systems (ITS). Along with ITS, machine vision technologies have been widely used for monitoring and control tasks. The purpose of this research is to develop a concept for an intelligent transport system aimed at increasing the traffic capacity of the urban road network through regulation of traffic flows with machine vision technology.

Materials and methods. A section of urban street-and-road network located in the Central District of Omsk has been investigated. One-hour surveys were carried out on weekdays, in the morning and evening peak periods. Data collection involved recording of both pedestrian and vehicle movement for a cross-section. The use of video recording made it possible to determine more accurately the number of vehicles that pass through the cross section. The data obtained formed the basis for building a transport model as a digital twin, taking design solutions, analysis of traffic census and updating traffic light cycles. The PTV Vissim software package was used to evaluate traffic capacity. The microscopic model of traffic flow includes a movement pattern for following a vehicle ahead and a pattern for changing lanes. The results of the simulation include animated traffic movements visualized online, displaying various transport and technical parameters.

Results. The concept suggests redirecting traffic flows to an alternative route with machine vision, artificial intelligence and road signs of 5.15 group. Within the PTV Vissim software, a model of the proposed concept was developed. Simulation results identified the optimal operational time interval for the concept — a 20-minute period. This interval allows redirecting the flows and preventing congestions during rush hours.

Discussion and conclusions. The development of intelligent systems and advanced traffic monitoring and control

© Ryumkin Maxim A., Schneider Victoria A., 2026



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

methods is a vital area of modern urban transport research concerning the increase of traffic capacity. For practical implementation, the proposed concept requires financial support (government funding or grants, private investments), recruiting professional experts and carrying out a more detailed project elaboration.

KEYWORDS: *traffic capacity, street-and-road network, transport network, intelligent transport systems, machine vision, traffic intensity, traffic volume map, concept, traffic flow modeling, road occupancy factor*

The article was submitted: December 10, 2025; approved after reviewing: January 21, 2026; accepted for publication: February 16, 2026.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Rjumkin M.A., Schneider V.A. Concept of increasing traffic capacity by regulating traffic flows based on machine vision. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2026; 23 (1): 114-129. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-114-129>

ВЕДЕНИЕ

В связи с ростом интенсивности движения за последние десятилетия и увеличения количества легковых автомобилей в составе транспортного потока основной проблемой городов стала необеспеченная пропускная способность существующей городской транспортной сети. Выявленная проблема касается всех крупных городов России, которая связана с ростом урбанизации. Постоянно образующиеся пробки снижают уровень комфортабельности жизни, сокращая как экономические, так и экологические показатели городов.

Привлекательность города и комфортность проживания в нем определяются с помощью индекса качества городской среды, который учитывает город по размеру, а также климатические условия его территориального расположения. «Индекс формируется Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Результаты формирования индекса используются в реализации положений Указа Президента РФ от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития РФ на период до 2030 года», национального проекта «Жилье и городская среда», в том числе для определения размера субсидии из федерального бюджета бюджетам субъектов РФ на поддержку государственных программ субъектов РФ и муниципальных программ формирования современной городской среды»¹.

В расчет индекса качества городской среды входят:

- жилье и прилегающее пространство;
- общественно-деловая инфраструктура и прилегающие пространства;
- улично-дорожная сеть;
- социально-досуговая инфраструктура и прилегающее пространство;
- озелененные пространства;
- общегородское пространство.

Оценка индекса качества городской среды осуществляется на основе следующих критериев: безопасность, идентичность и разнообразие, комфортность, современность и актуальность среды, экологичность и здоровье, эффективность управления.

В соответствии с данными, представленными на сайте, индекс качества городской среды г. Омска составляет 183 балла и характеризуется движением в сторону формирования благоприятной среды. Для повышения данного показателя и улучшения позиций привлекательности г. Омска среди городов России повышение пропускной способности существующей городской улично-дорожной сети является особенно важной.

Повышение пропускной способности – это задача, которая требует комплексного подхода к эффективным методам решения. При повышении пропускной способности уменьшаются заторы на улицах и дорогах, увеличиваются их технико-экономические показатели².

Для описания требований и методологии были приняты ряд документов, которые изменялись с течением времени. Некоторые из нормативов утратили свою силу либо были

¹Руководство по определению первоочередных направлений развития городской среды с помощью индекса качества городской среды / Индекс качества городской среды инструмент для оценки качества материальной городской среды и условий ее формирования / Минстрой России; 2025 [обновлено 01.11.2025, процитировано 01.11.2025]. Доступно: <https://индекс-городов.рф/#/>

²Рюмкин М.А. Интеллектуальная система для регулирования транспортных потоков на основе машинного зрения: магистерская диссертация: 08.04.01 // Рюмкин Максим Александрович; ФГБОУ ВО «СибАДИ». Омск, 2025. С. 85 : ил. 23.

усовершенствованы и стали базовыми для действующих на данный момент:

– ВСН 25-86. «Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» (утратил силу)³;

– «Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог» (утратил силу)⁴;

– ОДМ 218.4.0005–2010. «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах»⁵;

– ОДМ 218.2.020–2012. «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» (отменен)⁶;

– ОДМ 218.2.072–2016. «Методические рекомендации по оценке пропускной способности и уровней загрузки автомобильных дорог методом компьютерного моделирования транспортных потоков» (отменен)⁷;

– ОДМ 218.2.071–2016. «Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог»⁸;

– ГОСТ Р 70124–2022. «Дороги автомобильные общего пользования. Организация и безопасность дорожного движения на автомагистралях и скоростных автомобильных дорогах. Общие требования»⁹;

– Распоряжение Минтранса России от 27.12.2022 № АК-337-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению мониторинга дорожного движения»¹⁰;

– СП 396.1325800.2018. «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования» (с

Изменениями № 1, 2, 3)¹¹.

На основе анализа нормативных документов пришли к выводу, что методология определения пропускной способности в городских условиях описывалась подробно для разных условий в отмененном документе ОДМ 218.2.020–2012⁶. Действующие нормативные документы, регламентирующие условия проектирования улично-дорожной сети, не описывают требования и методологию определения пропускной способности. ОДМ 218.4.0005–2010⁵ является единственным нормативным документом, который можем применять при решении поставленной нами задачи.

На основе анализа нормативных документов выявлена зависимость от параметров, которые оказывают влияние на пропускную способность:

- 1) повышение автомобилизации населения;
- 2) проведение ремонтных работ на участках автомобильных дорог и городских улиц (дорог);
- 3) дорожно-транспортные происшествия;
- 4) смена постоянной зоны притяжения транспортных средств (праздничные, спортивные мероприятия);
- 5) перенастройка длительных фаз светового цикла;
- 6) погодные условия;
- 7) ненормативные параметры ширины полосы движения;

³ ВСН 25-86. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах (отменен) // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс».

⁴ Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог (утратил силу) // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс». Дата обновления: 01.11.2025.

⁵ ОДМ 218.4.0005–2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс». Дата обновления: 01.11.2025.

⁶ ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог (отменен) // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс».

⁷ ОДМ 218.2.072–2016. Методические рекомендации по оценке пропускной способности и уровней загрузки автомобильных дорог методом компьютерного моделирования транспортных потоков (отменен) / ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс».

⁸ ОДМ 218.2.071–2016. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс». Дата обновления: 01.11.2025.

⁹ ГОСТ Р 70124–2022. Дороги автомобильные общего пользования. Организация и безопасность дорожного движения на автомагистралях и скоростных автомобильных дорогах. Общие требования // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс». Дата обновления: 01.11.2025.

¹⁰ Распоряжение Министерства транспорта РФ от 27 декабря 2022 г. № АК-337-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению мониторинга дорожного движения» // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс». Дата обращения: 01.11.2025.

¹¹ СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования (с Изменениями № 1, 2, 3) // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс». Дата обновления: 01.11.2025.

8) движения автопоездов по запрещенным для их использования улицам и дорогам;

9) создание множества «карманов» для стихийной парковки транспортных средств вдоль городских дорог и улиц;

10) ограничение скоростного режима.

При решении задач повышения пропускной способности необходимо учитывать тип исследуемого объекта: городская дорога или дорога общего пользования. Далее относится объект исследования к линейному участку, является ли примыканием (в одном и разных уровнях) либо пересечением (в одном и разных уровнях).

Были выявлены основные способы и инструменты для повышения пропускной способности:

1) интеллектуальные транспортные системы;

2) налог на заторы (ограничение проезда);

3) развитие общественного транспорта;

4) расширение городских улиц и дорог;

5) выделение полосы движения для общественного транспорта;

6) перенастройка длительных фаз светового цикла;

7) организация кругового движения на перекрестках;

8) строительство транспортных развязок;

9) повышение ровности покрытия и нормативных параметров шероховатости.

Вопросам повышения пропускной способности были посвящены многие научные исследования. Перечислим основные работы, которые выделили в рамках своего исследования.

В работе Д.С. Мартяхина¹² рассматривались вопросы повышения пропускной способности при проектировании съездов городских

транспортных развязок в условиях движения плотных транспортных потоков.

С.Н. Боярский в своей диссертации¹³ рассматривал вопросы повышения эффективности функционирования пересечений УДС и сетей автомобильных дорог общего пользования в условиях высокого значения коэффициента загрузки движением на основе критерия минимума задержки транспорта.

В научном труде¹⁴ П.А. Пегина представлены исследования повышения эффективности и безопасности эксплуатации автомобильного транспорта на основе увеличения фактической пропускной способности автомагистрали за счет улучшения характеристик движения транспортных средств и учета природных факторов.

Я.А. Селиверстов в своем исследовании¹⁵ представил решения задачи повышения качества управления городской транспортной сети в условиях неопределенности внешней информационной среды путем разработки новых и совершенствования существующих моделей управления городскими транспортными потоками.

В своем научном труде¹⁶ А.А. Кураксин представил решения по совершенствованию методов оценки эффективности дорожного движения на основе применения технологии мезоскопического моделирования транспортных потоков, разработав методики учета влияния инцидентов на пропускную способность элементов улично-дорожной сети.

П.И. Поспелов, Д.С. Мартяхин, Т.К. Комарова в работе [1] представили исследование возможности увеличения пропускной способности городской улично-дорожной сети на основе комплексного подхода к оценке параметров транспортных потоков при использовании интеллектуальных систем управления.

¹² Мартяхин Д.С. Повышение пропускной способности при проектировании съездов городских транспортных развязок : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Мартяхин Дмитрий Сергеевич; Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т). М., 2008. 156 с. : ил. РГБ ОД, 61:08-5/1281Им.

¹³ Боярский С.Н. Повышение эффективности функционирования пересечений автомобильных дорог с высоким значением коэффициента загрузки движением: дис. ... на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.22.01 / Боярский Сергей Николаевич; Ур. гос. ун-т путей сообщ. Екатеринбург, 2015. 135 с.

¹⁴ Пегин П.А. Повышение эффективности и безопасности эксплуатации автомобильного транспорта на основе увеличения пропускной способности автомагистралей: дис. д-ра техн. наук: 05.22.10: Орлов. гос. техн. ун-т. Орел, 2011. 345 с.: ил. РГБ ОД, 71 12-5/182.

¹⁵ Селиверстов Я.А. Модели управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.22.01. С.-Петербург. гос. ун-т гражданской авиации. Санкт-Петербург, 2015. С. 179.

¹⁶ Кураксин А.А. Совершенствование методов оценки эффективности организации дорожного движения на основе применения технологии мезоскопического моделирования транспортных потоков: автореферат дис. кандидата технических наук : 05.22.10 / Кураксин Антон Александрович; Орлов. гос. ун-т. Орел, 2017. С. 192.

Исследователями С.В. Алексиковым и М.И. Альшановым [2] были представлены вопросы повышения эффективности функционирования улично-дорожной сети г. Волгограда. В качестве основных показателей эффективности приняты уровень загрузки дорог движением автотранспорта и средней скорости транспортных потоков в зависимости от числа полос движения магистралей, режима работы светофоров, интенсивности движения, длины перегона между регулирующими перекрестками, состояния проезжей части.

А.В. Антюфеев и С.В. Алексиков в статье «Повышение пропускной способности магистралей линейно-протяженных городских территорий» [3] представили исследования, связанные с особенностями современного этапа планировочного развития транспортных коммуникаций линейной градостроительной системы «Большой Волгоград».

Группа исследователей Р.Р. Минниханов, В.В. Девятков и др. в своем научном труде [4] представили «...усовершенствованный подход к построению имитационных моделей сегментов улично-дорожной сети для повышения эффективности функционирования дорожной инфраструктуры автоматизации выработки управляющих решений при различных сценариях изменения интенсивности потоков транспортных средств, параметрах работы светофорных объектов и организации дорожного движения в целом».

Вопросы внедрения интеллектуальных транспортных систем являются одним из основных инструментов для регулирования и контроля за движением транспортных средств¹⁷. Потенциал ИТС достаточно высокий, но использование на сегодняшний день их функционала является неполноценным и решает в основном задачи контроля, надзора, мониторинга безопасности движения. Ученые Белгородского ИТ-кластера в своих исследовательских работах приводят различные подсистемы, которые решают проблемы по повышению пропускной способности. Каждая подсистема имеет свое назначение и направлена на работу в определенной области транспортных процессов¹⁸. Комплекс оборудован системой фотовидеофиксации, состоит из

светофора с контролером, обзорной камеры с подсветкой, камеры фиксации ГРЗ (государственные регистрационные знаки) с подсветкой, терминального сервера.

Группа ученых В.Д. Шепелёв, З.В. Альметова и др. Южно-Уральского государственного университета в работе [5] представила всесторонний обзор исследований, посвященных различным методам расчета и оптимизации «зеленых волн». Основная цель исследования заключается в уменьшении количества остановок и минимизации времени в пути с использованием распознавания и определения типов автомобилей на основе машинного зрения.

Журнал «Научные высказывания» представил статью [6], авторами которой являются С.С. Акимова и О.Ф. Васильева. В данной статье произведен анализ текущего состояния и перспективы развития ИТС в России и в мире. Авторы предполагают, что ИТС является ключевым элементом в процессе цифровизации транспортной отрасли, а также в решении проблем в населённых пунктах, связанных с городской мобильностью (аварийность, перегруженность транспортной сети и т.д.). Статья представляет собой актуализированное исследование проблемных зон в области ИТС. Ее значимость заключается в комплексном подходе к описанию как технологической основы ИТС, так и организационно-экономических условий для их масштабного внедрения.

Следующая работа выполнена группой челябинских ученых О.С. Фадиной, В.Д. Шепелевым и др. [7]. «В данном исследовании представлен детальный анализ параметров транспортного потока на регулируемых перекрестках с применением машинного зрения. На основе обработки видеопотоков обученной и оптимизированной нейронной сетью (YOLOv4) был проведен анализ данных по оценке пропускной способности полос с разрешенным движением только прямо, собраны характеристики перекрестков, а также разработана математическая модель расчета средней скорости групповых автомобилей для обеспечения безостановочного проезда регулируемого пересечения при координированном управлении дорожным движением» [7].

¹⁷ Интеллектуальные транспортные системы. ФКО «Дороги России». Сайт Министерства транспорта РФ: Доступно: <https://dr.rosavtdor.gov.ru/department/deyatelnost-dr/intellektualnye-transportnye-sistemy> (дата обращения: 01.11.2025).

¹⁸ «Белгородский ИТ-кластер Интеллектуальный трафик / Белгородский ИТ-кластер [Электронный ресурс] // Белгородский ИТ-кластер: Доступно: <https://digital.belregion.ru/deyatelnost/it-klaster/?ysclid=mgghq2hvxv2220377022> / (дата обращения: 01.11.2025).

В России, в области умных дорог и интеллектуальных транспортных систем, провели совместное исследование Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого и Сочинский филиал Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. В статье [8] представлен успешный опыт реализации применения ИТС в направлении «умных дорог».

И.А. Чебыкин представил исследования по автоматизации мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения [9]. Разработка и анализ системы мониторинга дорожного движения, основанной на технологиях машинного зрения и методах кластерного анализа, представлена в научном труде И.Н. Пугачева [10].

Группа ученых Х.М.А. Асфур, Н.К. Горяев, В.И. Рассоха в статье [11] представили моделирование пропускной способности участка улично-дорожной сети с учётом формирования групп транспортных средств.

Ученые А.С. Акопов и Л.А. Бекларян в научной статье [12] представили эволюционный синтез реконфигурируемых многоуровневых дорожных сетей высокой пропускной способности с использованием многоагентного гибридного генетического алгоритма с поддержкой кластеризации. В следующей научном труде эта группа ученых исследует улучшение транспортного потока в дорожных сетях Манхэттена с помощью параллельного гибридного двухцелевого генетического алгоритма [13].

Г.И. Букреев в статье [14] предлагает метод сравнительной оценки транспортной связности городской агломерации и способы ее повышения в контексте целей устойчивого развития. М.Р. Якимов в научной статье [15] представил подходы к формированию эффективной маршрутной сети крупных городов, которая сможет повысить пропускную способность улично-дорожной сети.

Исследования показали, что такие приложения, как адаптивные сигналы светофора, информация о дорожном движении в режиме реального времени и системы управления дорожными ситуациями, могут сократить заторы до 20% и снизить уровень аварийности.

Европейский союз (ЕС) ERTICO–ITS Europe свидетельствует об успехах ИТС в снижении

пробок на дорогах и выбросов вредных веществ. Комплексный подход Европейского союза, включающий взаимосвязь между индивидуальными, общественными транспортными средствами, инфраструктурой (V2I), интеллектуальными сигналами светофора, показал положительные результаты в таких городах, как Копенгаген, Амстердам, и стал предметом для дальнейших обсуждений¹⁹.

Япония занимает лидирующие позиции в этой области благодаря информационно-коммуникационной системе транспортных средств (VICS), предоставляющей информацию о дорожном движении в режиме реального времени, что значительно сократило время в пути и повысило безопасность дорожного движения¹⁹.

В Австралии, особенно в таких городах, как Сидней, были отмечены положительные результаты использования ИТС. Для качественного результата внедрения ИТС исследователи подчеркивают необходимость проведения комплексных кампаний по просвещению общественности для получения максимальной выгоды¹⁹.

В условиях цифровизации строительной отрасли, многие труды как российских ученых, так и зарубежных, посвящаются направлению использования машинного зрения в действующих интеллектуальных транспортных системах для управления дорожным движением с учетом прогноза интенсивности движения автомобильного транспорта.

Китайские ученые Цзяньху Чжэн и Минфан Хуан в работе [16] для решения повышения пропускной способности автомобильной дороги предлагают использовать глубокое обучение для прогнозирования транспортного потока с помощью анализа временных рядов. Авторы разработали модель прогнозирования дорожного трафика на основе сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM). Предложенная модель сравнивалась с двумя классическими моделями прогнозирования (с моделью авторегрессионного интегрированного скользящего среднего (ARIMA) и моделью нейронной сети с обратным распространением ошибки (BPNN)).

Статья малайзиских ученых Нур Афиза Мат Разали, Нурайни Шамсаймон и др. [17] посвящена анализу методов оценки, подходов,

¹⁹ Мировой опыт применения системных решений в области ИТС: Сайт ФКУ «Дороги России». URL: <https://dr.rosavtodor.gov.ru/department/deyatelnost-dr/intellektualnye-transportnye-sistemy/mirovoj-opyt-vnedreniya-i-razvitiya-its?ysclid=mggi0pcaaf334181277> / (дата обращения: 01.11.2025).

методологии и алгоритмам, которые используются для прогнозирования транспортного потока. В статье представлен вывод о том, что наиболее распространёнными методами машинного обучения, применяемыми для прогнозирования транспортного потока, являются свёрточная нейронная сеть и модель с долгой и короткой краткосрочной памятью. Эффективность предложенных методов сравнивалась с эффективностью существующих базовых моделей.

Индийские ученые Bhartiya P., Bhatele M. и Woo A.A в статье [18] представили результаты исследования, которые могут послужить основой для разработки интеллектуальных транспортных систем, способных точно прогнозировать условия движения транспортных потоков, тем самым обеспечивая своевременную координацию и регулирование для уменьшения заторов и оптимизации.

Следующий научный труд индийских ученых Deekshetha H.R., Shreyas Madhav A.V., Tyagi A.K [19] посвящен разработке подхода повышения пропускной способности на основе сравнения данных по выбранному участку дороги города и определяет самые загруженные. Для решения поставленных задач предлагают использовать регрессионную модель для прогнозирования трафика с помощью машинного обучения, импортировав библиотеки Sklearn, Keras и TensorFlow.

Применение машинного зрения для анализа транспортного потока были посвящены работы канадских ученых Ting, Ta Jiun (Канада) [20], индийских ученых N. Parashuram и K. Vijayalakshmi N. [21].

Все исследования вышеперечисленных авторов еще раз подтверждает острую проблему, которая назрела на сегодняшний день как в мире, так и в России, в частности. Это подтверждает важность и актуальность тематики исследования.

Целью нашего исследования является разработка концепции интеллектуальной транспортной системы для повышения пропускной способности существующей транспортной сети путем регулирования транспортных потоков с применением машинного зрения.

Необходимо подтвердить адекватность и эффективность работы концепции на основе математического моделирования транспортных потоков в программном комплексе PTV VISSIM на объектах существующей транспортной сети г. Омска.

Задачи исследования:

1. Определение пропускной способности на исследуемом участке транспортной сети г. Омска.

2. Представление предполагаемой концепции алгоритмизированных процессов для интеллектуальных транспортных систем на основе машинного зрения в задачах повышения пропускной способности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках нашего исследования по повышению пропускной способности были намечены следующие мероприятия:

1) сбор исходных данных на исследуемом участке;

2) проведение учета интенсивности транспортных средств;

3) учет программы светофоров, аварийные участки;

4) возможность вариативности движения транспортных средств в условиях сложившейся городской застройки без реконструкции улиц и дорог, переустройства существующей улично-дорожной сети; перенастройка и корректировка светофорных циклов и (или) отдельно фаз; изменение организации дорожного движения; оптимизация пешеходного движения;

5) изменение количества полос движения в том или ином направлении с целью оптимизации дорожного движения в рамках внедрения предлагаемой концепции;

6) усовершенствование типов пересечений в одном или разном уровне автомобильных дорог;

7) повышение нормативных параметров покрытия проезжей части.

Рассматриваемый участок улично-дорожной сети находится в Центральном районе г. Омска. В границы рассматриваемого района попадают следующие улицы: ул. Интернациональная, ул. Фрунзе, ул. Орджоникидзе, ул. Гусарова, ул. Красный Путь, ул. Булатова, ул. Герцена, ул. Кемеровская. Сбор исходных данных проводился в течение одного месяца (20 рабочих дней). Обследования проводились в будние дни, в течение часа в утреннее и вечернее время часа пик. Учёт приводился путем фиксирования прохождения пешехода и проезда каждого транспортного средства через сечение, с дальнейшим занесением в шаблон учета интенсивности. В полевой журнал, который был составлен на основе ГОСТ

32965–2014²⁰ заносились данные о видах транспортных средств и их количестве. Для занесения количества пешеходов был разработан шаблон полевого журнала на основе карточки учета интенсивности движения пешеходов, утвержденный Распоряжением Министерства транспорта РФ от 27 декабря 2022 г. № АК-337-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению мониторинга дорожного движения»¹⁰.

Применение видеофиксации дало возможность более точно определить количество транспортных средств, которые проезжают через рассматриваемое поперечное сечение. Полученные данные стали основой для соз-

дания транспортной модели как цифрового двойника, использования данных для обоснования принятых проектных решений, учета транспортных средств и принятых решений об актуализации светофорных циклов.

Повышение пропускной способности на участке ул. Гагарина – мост им. 60-летия Победы осуществляется за счет внедрения интеллектуальной системы для регулирования транспортных потоков на основе машинного зрения. Были подготовлены картограммы транспортных потоков на основе данных по интенсивности движения 20 перекрестков исследуемой дороги (рисунок 1).

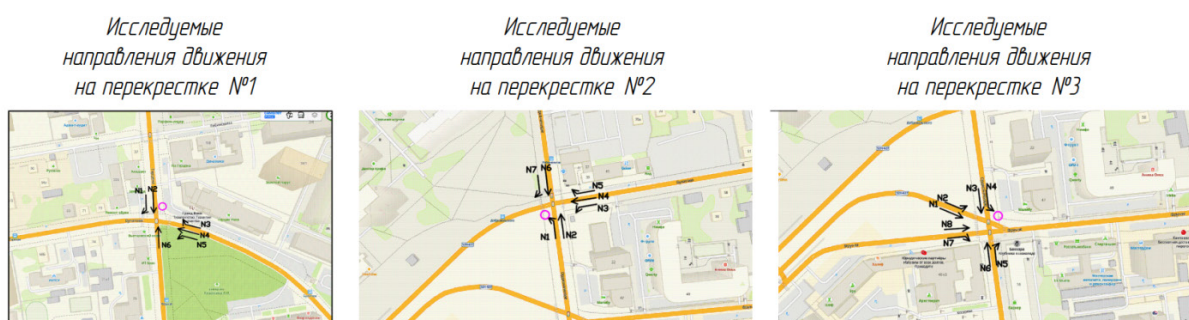


Рисунок 1 – Картограмма транспортных потоков на исследуемых перекрестках
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Map of traffic flows at the intersections under the study
Source: compiled by the authors.

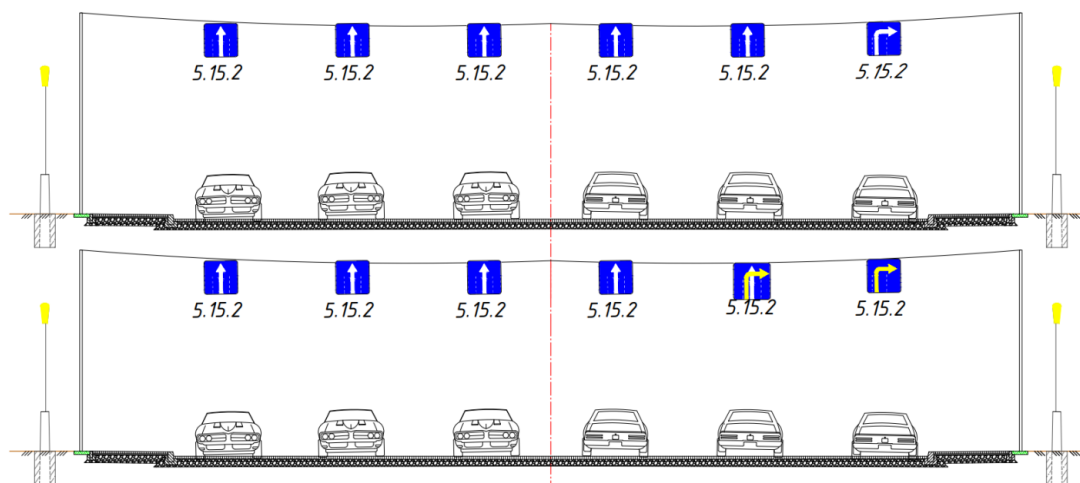


Рисунок 2 – Поперечный профиль автомобильной дороги с дорожными знаками группы 5.15
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Cross-section profile of a highway with road signs of 5.15 group
Source: compiled by the authors.

²⁰ГОСТ 32965–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока // ИС «Техэксперт: Интранет» / Консорциум «Кодекс». Дата обновления: 01.11.2025.



Рисунок 3 – План пути следования транспортных средств
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Vehicle route plan
Source: compiled by the authors.

Регулирование транспортных потоков в час пик на основе машинного зрения реализовано за счет переключаемых светодиодных знаков группы 5.15 (движение по полосам) (рисунок 2), изменения длительности фаз, а также элементов обустройства и разметки для дублирования измененной ситуации водителям транспортных средств. Данный комплекс предполагается внедрить на перекрестках и примыканиях, которые имеют светофорное регулирование на пути следования.

План пути следования существующий и измененный за счет внедрения в данную транспортную сеть комплекса представлен на рисунке 3.

Комплекс может предполагать работу автоматизированных и полуавтоматизированных режимов:

1) полностью автоматизированная система, которая будет учитывать количество единиц, проехавших через сечение дороги, и время проезда этих же средств до следующего сечения, расположенного на определенном расстоянии; «программный комплекс», в дан-

ном режиме интегрирован с существующими камерами, расположенными на перекрестках;

2) «программный комплекс» требует участия компетентных сотрудников-операторов, которые будут следить/отслеживать ситуацию по оборудованию фотовидеофиксации на рассматриваемом участке и принимать решения о необходимости включения комплекса для возможного альтернативного проезда транспортных средств.

Для более наглядного понимания была создана схема последовательности принятия решений от подготовительных данных до управления корректировкой пропускной способности. Для выявления факторов снижения пропускной способности проводится анализ исходных данных, объекта исследования, после описываются факторы, которые влияют на снижение пропускной способности. Оценка снижения пропускной способности осуществляется за счет определения фактической интенсивности движения, построения картограмм и определения уровня загрузки. Описанная схема представлена на рисунке 4.

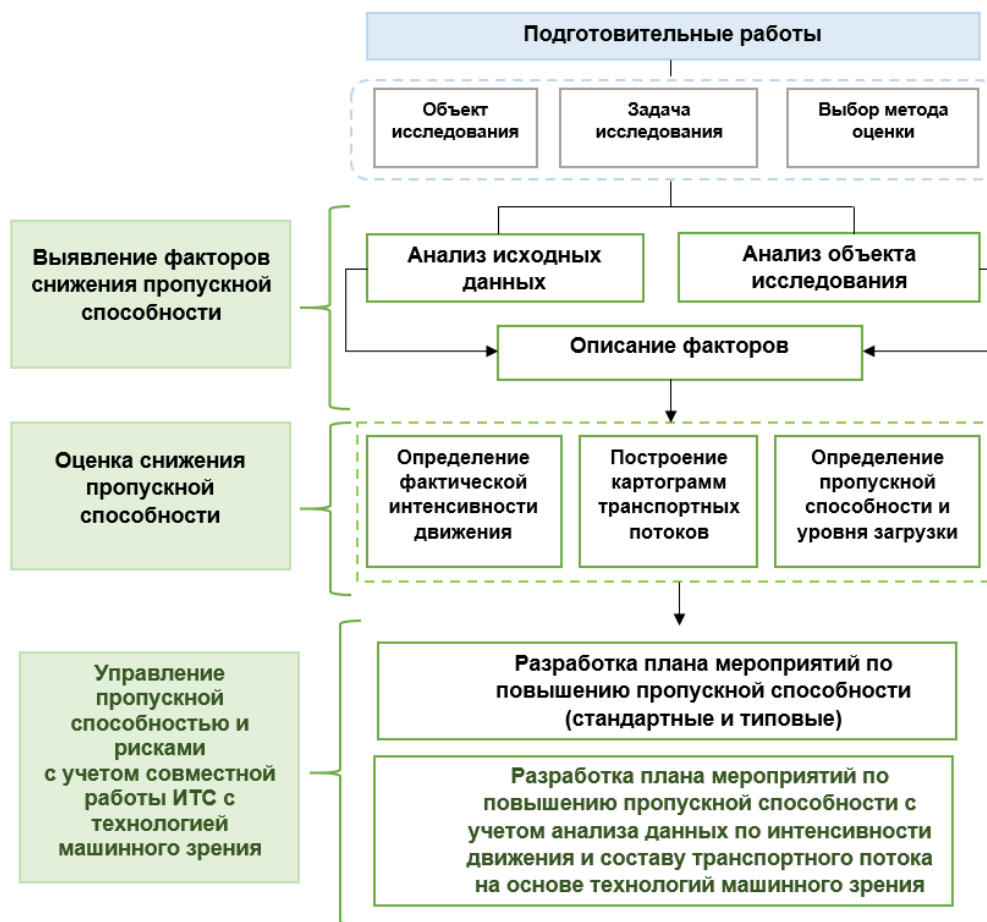


Рисунок 4 – Комплексная методика управления пропускной способностью
 Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Comprehensive methodology for managing traffic capacity
 Source: compiled by the authors.

Для оценки пропускной способности задействовали программный комплекс PTV Vissim. В микроскопическую модель транспортного потока заложены модели поведения за впереди идущим автомобилем и смены полосы движения. Результат имитации – это анимация движения транспорта в режиме онлайн на графических поверхностях и автономное перечисление различных транспортно-технических параметров. Возможно моделирование транспортных потоков на макроуровне.

Для корректной математической модели необходимо занести следующие данные в программный комплекс:

- фактическая интенсивность движения из полевых журналов в авт./ч и чел./ч;
- условия работы светофорных объектов;
- светофорная программа;
- данные о наличии пешеходного движения (в процессе моделирования расчетным пока-

зателем принималось время пересечения проезжей части пешеходами).

В ходе моделирования транспортных и пешеходных потоков было проанализировано входящее и исходящее количество транспортных средств и пешеходных потоков. На основе создания фактической ситуации было предложено аналитическим (предположительным) методом перераспределение транспортных потоков.

Данный комплекс позволил оценить существующую пропускную способность на улично-дорожной сети в Центральном районе г. Омска, а также послужил обоснованием в необходимости применения разрабатываемого комплекса по повышению пропускной способности. Математическая модель в программном комплексе PTV Vissim представлена на рисунках 5 и 6.

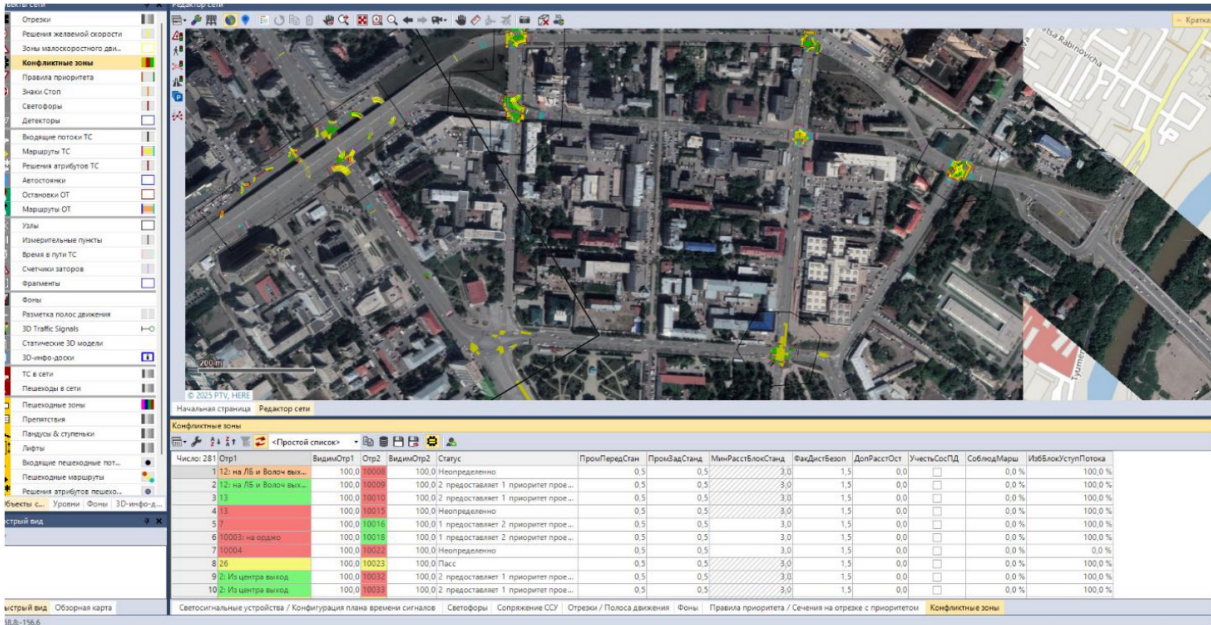


Рисунок 5 – Математическая модель в программном комплексе PTV Vissim
 Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Mathematical model in the PTV Vissim software package
 Source: compiled by the authors.

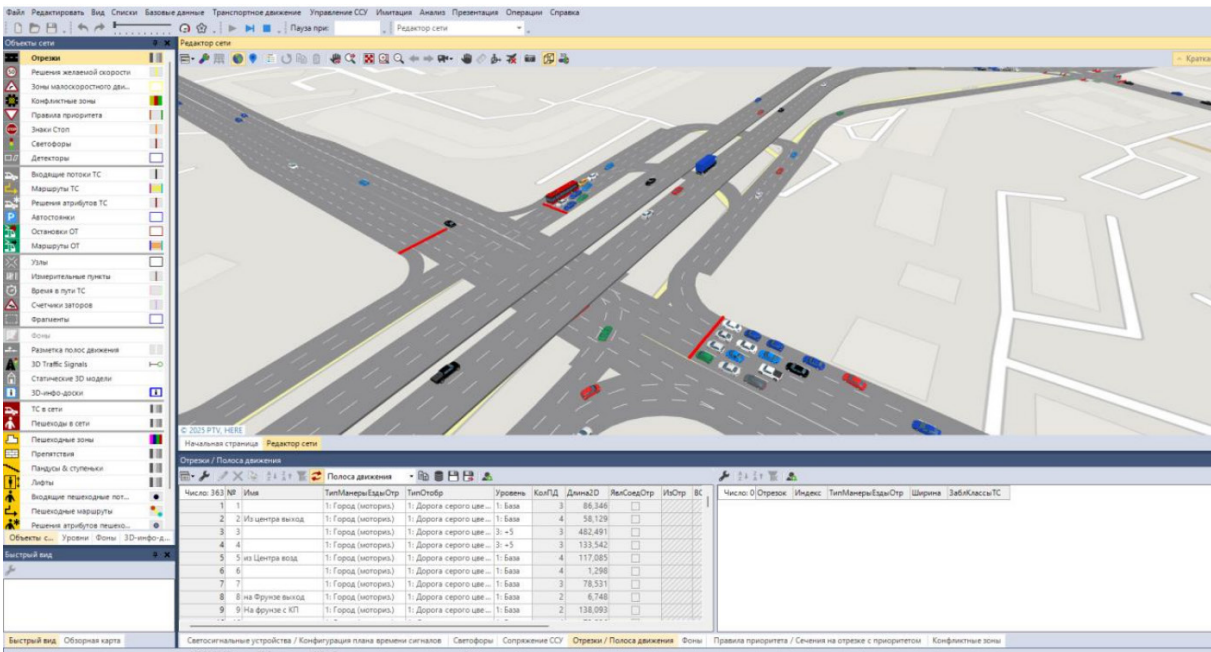


Рисунок 6 – Математическая модель в программном комплексе PTV Vissim, мост им. 60-летия Победы
 Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Mathematical model in the PTV Vissim software package, 60th Anniversary of Victory Bridge
 Source: compiled by the authors.

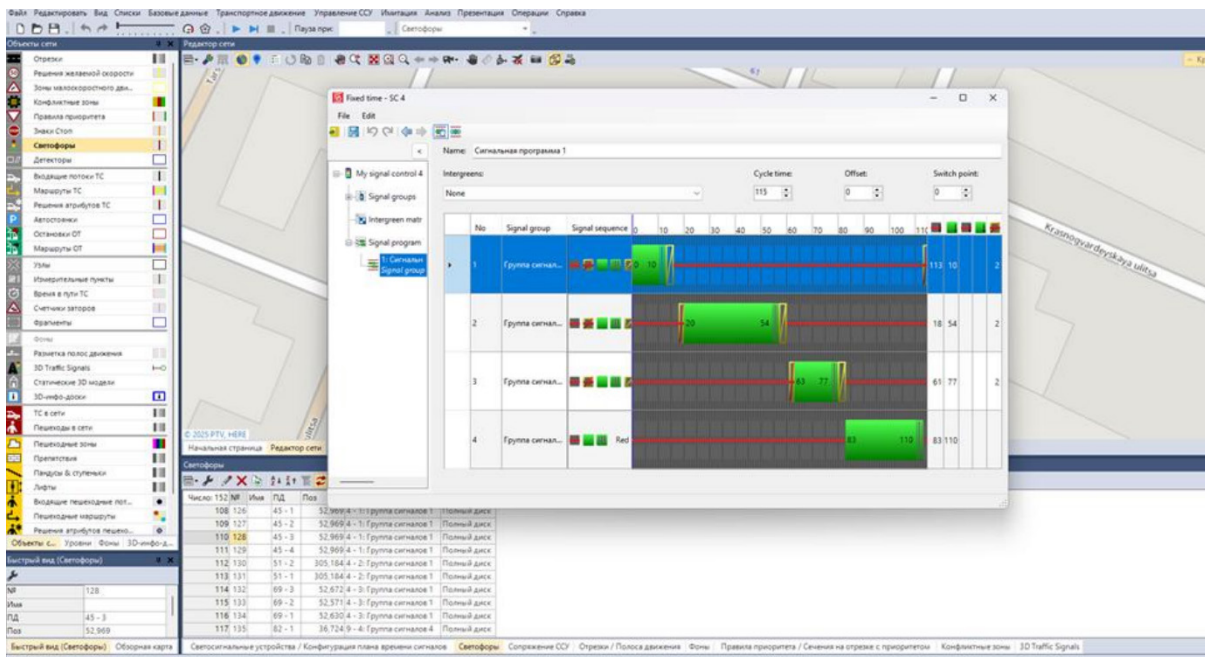


Рисунок 7 – Корректировка светофорных фаз на перекрестке ул. Интернациональная – ул. Герцена
 Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Adjustment of traffic light phases at the intersection of Internatsionalnaya Street and Herzen Street
 Source: compiled by the authors.

В ходе создания существующей математической модели помимо учетных транспортных средств также были учтены продолжительности фаз светофорных объектов. Результатом создания математической модели транспортных потоков послужил анализ созданной улично-дорожной сети.

Проанализировав вышеперечисленное, можно сделать вывод, что существующая транспортная сеть не в полной мере справляется с возникшей ситуацией на дорогах г. Омска. С самого начала имитации начинают образовываться заторы на 90% исследуемых перекрестков. Корректировка светофорных циклов не существенно меняет ситуацию, «распуская» одно из направлений движения, заторы на примыкающих улицах начинают увеличиваться. Тем самым можно подтвердить мнение о том, что «зеленая волна» не всегда удовлетворяет заданным потребностям и заторы начинают расти, создавая помехи на удаленных перекрестках от места корректировки светофорных фаз. Пример рабочего окна светофорного цикла показан на рисунке 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование транспортных потоков в дорожной отрасли имеет большое значение

для решений повышения пропускной способности улично-дорожной сети, безопасности и бесперебойности транспортных средств. Концепция предполагает перераспределение транспортных потоков на альтернативный путь движения за счет машинного зрения, искусственного интеллекта и дорожных знаков группы 5.15. В программном комплексе PTV Vissim смоделировано решение с учетом предлагаемой концепции.

Был проведен анализ для подтверждения жизнеспособности концепции путем сопоставления полученных результатов фактической смоделированной ситуации и с учетом внедренных предлагаемых мероприятий. Было выявлено, что после внедрения концепции основные показатели (время пути следования, максимальная и средняя длина заторов на рассматриваемых участках) для оценки заторов существенно сократили свои значения. Также об эффективности применяемой концепции говорит тепловая схема плотности.

Путем имитационного моделирования зафиксирован наиболее оптимальный временной интервал работы концепции, который составил ограничение работы модели в 20 мин. Данный промежуток позволяет как «распустить» потоки, так не допустить заторы в течение часа пик.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математические модели транспортных потоков дают актуальную и прогнозируемую информацию о «пробках», влиянии строительства новых дорог и изменении направлений движения, помогая заинтересованным сторонам принимать обоснованные решения. В городских условиях при застройке новых жилых комплексов (микрорайонов) необходимо учитывать транспортную обеспеченность и влияние прироста интенсивности движения за счет новых транспортных средств жителей, влияние в целом на пропускную способность транспортной сети города.

Развитие интеллектуальной системы, разработка усовершенствованных систем контроля и учета транспортных средств является важнейшим направлением исследований в области повышения пропускной способности транспортных потоков населенных пунктов.

Моделирование транспортных потоков является ключевым параметром для сокращения времени в пути следования, повышения логистических задач, снижения вредных выбросов от транспортных средств и улучшения психологического состояния водителей.

Преимущества предлагаемой концепции:

1) предполагаемая концепция не требует значительных вложений (реконструкция, строительство дорог) для повышения пропускной способности на улично-дорожной сети; необходимое оборудование предлагается интегрировать с существующими элементами обустройства, которые находятся в составе улицы: камеры фотовидеофиксации, стойки дорожных знаков, светофорные объекты;

2) имеет значительный эффект в области снижения вредных выбросов от транспортных в населенном пункте (наличие жилых домов, офисных помещений в непосредственной близости от проезжей части), улучшение психоэмоционального состояния водителей, снижение логистических затрат из-за пребывания в заторах;

3) предлагаемая концепция является гибкой, возможно применение во всех крупных городах.

Для реализации на практике данной концепции необходима финансовая поддержка (государственное финансирование/гранты/частные инвестиции), привлечение профильных специалистов (комплексная задача) требует более детальную проработку проекта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Комарова Т.К., Поспелов П.И., Мартыгин Д.С. Исследование параметров транспортного потока на элементах улично-дорожной сети в городских условиях // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 4(70):285–293. <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/70.25>
2. Алексиков С.В., Альшанова М.И. Повышение пропускной способности улично-дорожной сети г. Волгограда // Социология города. 2020. № 4. С. 58–68. <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/sotsiologiya-goroda/ahiv/2020-4/6/>.
3. Антюфеев А.В., Алексиков С.В. Повышение пропускной способности магистрали линейно-протяженных городских территорий // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 2. С. 128–134. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2023-2-128-134>
4. Минниханов Р.Р., Девятков В.В., Маряшина Д.Н. [и др.] Усовершенствованный подход при построении имитационных моделей сегментов улично-дорожной сети // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): труды XVI международной конференции. № 1. 2023. url: <https://mlsd2023.ipu.ru/proceedings/1145.pdf> (дата обращения: 07.10.2025). <https://doi.org/10.25728/mlsd.2023.1145>
5. Шепелёв В.Д., Альметова З.В., Михальчук В.В., Слободин И.С. Современные методы организации дорожного движения в городах // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2019. Т.13, № 4:С.186–194. <https://doi.org/10.14529/em190419>.
6. Акимова С.С., Васильева О.Ф. Интеллектуальные транспортные системы: обзор и перспективы // Научные высказывания. 2024. № 20 (67). С. 37–42. URL: https://nvjournal.ru/article/Intellektualnye_transportnye_sistemy_obzor_i_perspektivy (дата обращения: 01.11.2025).
7. Фадина О.С., Шепелев В.Д., Варворкин М.А., Плюхин Л.Э. Повышение пропускной способности на регулируемых пересечениях за счет оптимизации скоростных режимов транспортных потоков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2023. Т. 17, № 3. С. 175–182. URL: <https://vestnik.susu.ru/em/article/view/13630> (дата обращения: 01.11.2025).
8. Дмитриев И.И., Кириллов А.М. Умные дороги и Интеллектуальная транспортная система // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 2(53). С. 7–28. <https://doi.org/10.18720/CUBS.53.1.EDN.YRUVIT>.
9. Чебыкин И.А. Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения // Мир транспорта. Том 18, № 6. С. 74–87 (2020). <https://doi.org/https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-74-87>

10. Пугачев И.Н., Тормозов В.С. Разработка и анализ системы мониторинга дорожного движения, основанной на технологиях машинного зрения и методах кластерного анализа // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. № 4. С. 134–145. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2024_4_134

11. Асфур Х.М.А., Горяев Н.К., Рассоха В.И. Моделирование пропускной способности участка улично-дорожной сети с учётом формирования групп транспортных средств // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2024. № 6. С. 74–88. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-6-74>

12. Акопов А.С., Бекларян Л.А. Эволюционный синтез реконфигурируемых многоуровневых дорожных сетей высокой пропускной способности с использованием мультиагентного гибридного генетического алгоритма с поддержкой кластеризации // IEEE Access. Том 13. 2025. С. 53448–53474. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3554054>

13. Акопов А.С., Бекларян Л.А. Улучшение транспортного потока в дорожных сетях Манхэттена с помощью параллельного гибридного двухцелевого генетического алгоритма // IEEE Access. Том 12. 2024. С. 19532–19552. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.336139>

14. Букреев Г.И. Метод сравнительной оценки транспортной связности городской агломерации и способы ее повышения в контексте целей устойчивого развития // Экономика и управление. 2023. Т. 29, № 11. С. 1382–1393. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-11-1382-1393>

15. Якимов М.Р. Подходы к формированию эффективной маршрутной сети крупных городов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. № 3 (55). С. 107–113.

16. Zheng J., Huang M. Traffic Flow Forecast Through Time Series Analysis Based on Deep Learning // IEEE Access, vol. 8, pp. 82562-82570, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990738>

17. Razali N.A.M., Shamsaimon N., Ishak K.K. et al. Gap, techniques and evaluation: traffic flow prediction using machine learning and deep learning. *J Big Data* 8, 152 (2021). – <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00542-7>

18. Bhartiya P., Bhatele M., Woo A.A. A Machine Learning Approach for Predictive Analysis of Traffic Flow. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 2024. 5(5), 422–430. <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i5.2024.1892>.

19. Deekshetha H.R., Shreyas Madhav A.V., Tyagi A.K. Traffic Prediction Using Machine Learning. In: Suma, V., Fernando, X., Du, K.L., Wang, H. *Evolutionary Computing and Mobile Sustainable Networks. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2022. vol 116. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9605-3_68

20. Ting Ta Jiun. University of Toronto. ProQuest Dissertations & Theses, 2021. Poonam Bhartiya, Mukta Bhatele, Akhilesh A. Waoo (Индия) [Bhartiya, P., Bhatele, M., and Woo, A.A. (2024). A Machine Learning Approach for Predictive Analysis of Traffic

Flow. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 5(5), 422–430.

21. Parashuram and K. Vijayalakshmi, “A Comprehensive Analysis of Road Traffic Prediction Using Machine Learning Algorithms,” 2024 First International Conference on Software, Systems and Information Technology (SSITCON), Tumkur, India, 2024, pp. 1–5, <https://doi.org/10.1109/SSITCON62437.2024.10797035>

REFERENCES

1. Komarova T.K. Pospelov P.I., Martynkin D.S. Study of traffic flow parameters on the elements of the road network in urban conditions. December 2024. *News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering* 4 (70): 285-293. <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/70.25>

2. Aleksikov S.V., Alshanova M.I. Increasing the capacity of the road network of Volgograd // *Sociology of the city*. 2020. No 4. S. 58-68. (In Russ.) <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/sotsiologiya-goroda/archiv/2020-4/6/>.

3. Antyufeev A.V. Increasing the throughput capacity of the highway of linearly extended urban areas // *Academia. Architecture and construction*. 2023. № 2. С. 128-134. (In Russ.) <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2023-2-128-134>

4. Minnikhanov R.R., Devyatkov V.V., Maryashina D.N. et al. Improved approach to building simulation models of road network segments // *Management of the development of large-scale systems (MLSD “2023): proceedings of the Sixteenth International Conference*. № 1. 2023. url: <https://mlsd2023.ipu.ru/proceedings/1145.pdf> (Accessed: 07.10.2025) (In Russ.) <https://doi.org/10.25728/mlsd.2023.1145>

5. Shepelev V.D., Almetova Z.V., Mikhailchuk V.V., Slobodin I.S. Modern methods of traffic management in cities // *Bulletin of SUSU. Economics and Management Series*; 2019. Т. 13, № 4. С. 186–194. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/em190419>

6. Akimova S.S., Vasilyeva O.F. Intelligent transport systems: overview and prospects // *Scientific statements*. 2024; №20 (67). С. 37-42. (In Russ.) URL: https://nvjournal.ru/article/Intellektualnye_transportnye_sistemy_obzor_i_perspektivy. (Accessed: 01.11.2025)

7. Fadina O.S., Shepelev V.D., Varvorkin M.A., Plyukhin L.E. Increasing throughput at controlled intersections by optimizing the speed modes of traffic flows *Vestnik SUSU. Economics and Management Series*. 2023. Т. 17, № 3. С. 175–182. (In Russ.) URL: <https://vestnik.susu.ru/em/article/view/13630> (Accessed: 01.11.2025)

8. Dmitriev I.I., Kirillov A.M. Smart Roads and Intelligent Transport System [Text]. (In Russ.) <https://doi.org/10.18720/CUBS.53.1.2017>. С. 28

9. Chebykin I.A. Automation of Road Traffic Monitoring Using Computer Vision. *World of Transport*, 2020; Vol. 18, No. 6, pp. 74-87 (In Russ.) <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-74-87>

10. Pugachev I.N., Tormozov V.S. Development and Analysis of a Road Traffic Monitoring System Based on Machine Vision Technologies and Cluster Analysis Methods. *Bulletin of the Rostov State Transport University*. 2024; № 4. С. 134–145. (In Russ.) https://doi.org/10.46973/0201-727X_2024_4_134
11. Asfur H.M.A., Goryaev N. K., Rassokha V. I. Modeling the capacity of a street network section, taking into account the formation of groups of vehicles. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. 2024; No. 6. P. 74–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-6-74>
12. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Evolutionary Synthesis of High-Capacity Reconfigurable Multilayer Road Networks Using a Multiagent Hybrid Clustering-Assisted Genetic Algorithm. in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 53448-53474, 2025; (In Russ.) <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3554054>
13. Akopov A.S., Beklaryan L.A. Traffic Improvement in Manhattan Road Networks With the Use of Parallel Hybrid Biobjective Genetic Algorithm. in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 19532-19552, 2024; (In Russ.) <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3361399>
14. Bukreev G.I. The method of comparative assessment of transport connectivity of an urban agglomeration and ways of its improvement in the context of sustainable development goals. *Economics and Management*. 2023.; Vol. 29. No. 11. P. 1382–1393. (In Russ.) <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-11-1382-1393>
15. Yakimov M.R. Approaches to the Formation of an Effective Route Network in Large Cities *Bulletin of the Ural State University of Railway Engineering*. 2022. No. 3 (55). Pp. 107-113. (In Russ.)
16. Zheng J., Huang M. Traffic Flow Forecast Through Time Series Analysis Based on Deep Learning. in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 82562-82570, 2020; <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990738>
17. Razali N.A.M., Shamsaimon N., Ishak K.K. et al. Gap, techniques and evaluation: traffic flow prediction using machine learning and deep learning. *J Big Data* 8, 152 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00542-7>
18. Bhartiya P., Bhatele M., Woo A.A.. A Machine Learning Approach for Predictive Analysis of Traffic Flow. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 2024; 5(5), 422–430. <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i5.2024.1892>
19. Deekshetha, H.R., Shreyas Madhav, A.V., Tyagi, A.K. (2022). Traffic Prediction Using Machine Learning. In: Suma, V., Fernando, X., Du, K.L., Wang, H. (eds) *Evolutionary Computing and Mobile Sustainable Networks. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 116. *Springer, Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9605-3_68
20. Ting Ta Jiun., Poonam Bhartiya, Mukta Bhattele, Akhilesh A. Waoo. University of Toronto (Canada) ProQuest Dissertations & Theses, 2021. 28768284. A Machine Learning Approach for Predictive Analysis of Traffic Flow. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 2024. 5(5), 422–430.
21. Parashuram and K. Vijayalakshmi, “A Comprehensive Analysis of Road Traffic Prediction Using Machine Learning Algorithms,” 2024 First International Conference on Software, Systems and Information Technology (SSITCON), Tumkur, India, 2024, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/SSITCON62437.2024.10797035>

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Шнайдер В.А. Поиск научных исследований, организационные вопросы в ходе написания статьи.

Рюмкин М.А. Разработка концепции, создание транспортной модели, анализ жизнеспособности предлагаемой концепции.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Schneider V.A. Contribution to the overall work refers to the search for the relevant scientific literature, managing organizational issues when writing the manuscript.

Ryumkin M.A. Contribution to the overall work refers to the concept development, building the transport model, analyzing the concept viability.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шнайдер Виктория Александровна – доц. кафедры «Проектное управление и информационное моделирование в строительстве» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5).

SPIN-код: 7971-6163,

e-mail: wihor@mail.ru

Рюмкин Максим Александрович – инженер-проектировщик автомобильных дорог ООО «Автоторпроект» (644112, г. Омск, ул. Степанца, д.3, офис 35П).

e-mail: m.ryumkin99@bk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Schneider Victoria A. – Associate Professor, Department of Project Management and Information Modeling in Construction, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5, ave. Mira, Omsk, 644050).

SPIN-code: 7971-6163,

e-mail: wihor@mail.ru

Ryumkin Maxim A. – Highway Design Engineer, Avtodorproekt LLC, (3 Stepants Street, office 35P, Omsk, 644112).

e-mail: m.ryumkin99@bk.ru