

ОИД
СЕР
№2/ЕВ
СЕР
№2/ЕВ
СЕР
№2/ЕВ

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК



Том 22, Выпуск №4 (117)
2025



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА РУТ (МИИТ)



ИНСТИТУТ
УПРАВЛЕНИЯ
И ЦИФРОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Логистика и управление цепями поставок

2025 Том 22, выпуск 4 (117)

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научно-электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <https://lscm.elpub.ru/jour>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Розенберг И.Н. д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Россия)
Кузьмин Д.В. к.т.н., доцент (Россия)
Аврамович З.Ж. д.т.н., профессор (Сербия)
Апатцев В.И. д.т.н., профессор (Россия)
Багинова В.В. д.т.н., профессор (Россия)
Баранов Л.А. д.т.н., профессор (Россия)
Бекжанова С.Е. д.т.н., профессор (Казахстан)
Бородин А.Ф. д.т.н., профессор (Россия)
Вакуленко С.П. к.т.н., профессор (Россия)
Герامي В.Д. д.т.н., профессор (Россия)
Дыбская В.В. д.э.н., профессор (Россия)
Заречкин Е.Ю. к.филос.н. (Россия)
Илесалиев Д.И. д.т.н., профессор (Узбекистан)
Корнилов С.Н. д.т.н., профессор (Россия)
Мамаев Э. А. д.т.н., профессор (Россия)
Петров М.Б. д.т.н., профессор (Россия)
Рахмангулов А.Н. д.т.н., профессор (Россия)
Сергеев В.И. д.э.н., профессор (Россия)
Сидоренко В.Г. д.т.н., профессор (Россия)

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор:

Розенберг Игорь Наумович

Заместитель главного редактора:

Кузьмин Дмитрий Владимирович

Редакционный совет:

Апатцев Владимир Иванович
Багинова Вера Владимировна
Баранов Леонид Аврамович
Вакуленко Сергей Петрович
Заречкин Евгений Юрьевич

Компьютерная верстка:

Мусатов Дмитрий Вадимович

© ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК

Учредитель - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9)

Адрес редакции: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ГУК-1, ауд. 1203

Тел: +7 (495) 684 - 29 - 07

URL: <https://lscm.elpub.ru/jour>

E-mail: transportjournal@yandex.ru

Журнал выходит 4 раза в год. Номер подписан в печать 15.12.2025. Тираж 150 экземпляров. Отпечатано с оригинал-макета в типографии «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. им Чернышевского Н.Г., д. 88, Литер У.

* Изображение на обложке сгенерировано нейронной сетью Kandinsky 2.1 по запросу «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов»

Logistics and Supply Chain Management

2025 Vol. 22, Iss. 4 (117)

The full texts in Russian and key information in English are also available at the Website of the Russian scientific electronic library at <https://www.elibrary.ru> (upon free registration).

Journal web-site - <https://lscm.elpub.ru/jour>

EDITORIAL BOARD

Igor N. Rozenberg, D.Sc. (Eng), Professor, Corresponding member of the RAS (Russia)

Dmitry V. Kuzmin, PhD, Associate Professor (Russia)

Zoran J. Avramovich, D.Sc. (Eng), Professor (Serbia)

Vladimir I. Apattsev, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Vera V. Baginova, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Leonid A. Baranov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Saule E. Bekzhanova, D.Sc. (Eng), Professor (Kazakhstan)

Andrey F. Borodin, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Sergey P. Vakulenko, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Victoria D. Gerami, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Valentina V. Dybskaya, D.Sc. (Econ), Professor (Russia)

Evgeny Y. Zarechkin, PhD, (Ph), (Russia)

Daurenbek I. Ilesaliev, D.Sc. (Eng), Professor (Uzbekistan)

Sergey N. Kornilov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Enver A. Mamaev, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Mikhail B. Petrov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Alexander N. Rakhmangulov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Victor I. Sergeev, D.Sc. (Econ), Professor (Russia)

Valentina G. Sidorenko, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

EDITORIAL OFFICE

Editor-in-Chief:

Rozenberg N. Igor

Deputy Editor-in-Chief:

Kuzmin V. Dmitry

Editorial Board:

Vladimir I. Apattsev

Vera V. Baginova

Leonid A. Baranov

Sergey P. Vakulenko

Evgeny Y. Zarechkin

Dmitry V. Kuzmin

Computer layout:

Dmitrii V. Musatov

© LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Founder - Federal state autonomous educational institution of higher education «Russian University of Transport» (127994, Moscow, Obraztsova STR., 9, building 9,)

Editorship address: 127994, Moscow, Obraztsova STR., 9, building 9, office 1203

Phone number: +7 (495) 684 - 29 - 07

URL: <https://lscm.elpub.ru/jour>

E-mail: transportjournal@yandex.ru

The journal is published 4 times a year. The number was signed to the press on 15/12/2025. The circulation is 150 copies.

Printed from the original layout in the Amirit printing house, 410004, Saratov, st. named after Chernyshevsky N.G., 88, Liter U.

СОДЕРЖАНИЕ

Дубчак И.А.	
Геоинформационное моделирование при управлении перевозками	4
Цветков В.Я.	
Цифровые логистические риски	15
Чернышев Н.В.	
Интеллектуальное управление транспортной логистикой: метрики эффективности и критерии оценки в эпоху цифровой трансформации	24
Гришин К.А.	
Электронные навигационные пломбы в системе контроля грузовых перевозок	40
Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Коробовский К.М., Торицын А.М.	
Моделирование адаптивного светофорного регулирования для оптимизации транспортных потоков на перекрестке	51
Информация для авторов.....	68

CONTENTS

Dubchak I.A.	
Geoinformation modeling in transportation management	4
Tsvetkov V. Ya.	
Digital logistics risks	15
Chernyshev N.V.	
Intelligent Transport Logistics Management: performance metrics and evaluation criteria in the era of digital transformation	24
Grishin K.A.	
Electronic navigation seals in the cargo transportation control system	40
Kuzmin D.V., Baginova V.V., Korobovsky K.M., Toritsyn A.M.	
Simulation of adaptive traffic light regulation to optimize traffic flows at an intersection	51
Information for authors.....	68

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПЕРЕВОЗКАМИ

Дубчак И.А.¹

¹ Российский университет транспорта

Аннотация: цель работы исследование применения геоинформационного моделирования в управлении перевозочными процессами. Дан сравнительный анализ логистических и геоинформационных технологий. Отмечены общие области применения. Дана систематика технологий логистики и показано применение геоинформатики для этих областей. Показано, что в условиях цифровизации транспорта и логистики цифровое моделирование в геоинформатике подходит для реализации цифровых логистических технологий. Геоинформационное моделирование включает цифровые и не цифровые методы и этим объединяет цифровую и не цифровую логистику. Геоинформационное моделирование в логистике позволяет создавать более надежные планы перевозок и накапливать опыт выполнения перевозок в сложных условиях.

Ключевые слова: управление перевозками, пространственная информация, логистика, геоинформационное моделирование, геоинформационный поток.

© Дубчак И.А.

Поступила 02.10.2025, одобрена после рецензирования 12.12.2025, принята к публикации 12.12.2025.

Для цитирования:

Дубчак И.А. Геоинформационное моделирование при управлении перевозками // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №4 (117). - С. 4–14.

Информация об авторах:

Дубчак И.А. — начальник управления новых проектов и технологий, ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), e-mail: dia.rut.miit@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Существует ряд аспектов, которые сближают геоинформатику и логику. Первый аспект области применения. Геоинформатика применяется в областях использования пространственной информации и необходимости пространственного моделирования. Логистика также применяется в области использования пространственно-временной информации [1]. С потребительских позиций геоинформатика может быть рассмотрена как сервисная технология, удовлетворяющая потребности разных прикладных областей, включая логику. С потребительских позиций логистика может быть рассмотрена как сервисная технология [2], удовлетворяющая потребности в перевозках и решающая задачи пространственной экономики [3]. С потребительских позиций логистика направлена на удовлетворение запросов общества по доставке товаров и грузов и оптимизации цепочки поставок. Эта позиция также сближает геоинформатику и логику. Аспект управления сближает логику и геоинформатику [4]. Логистика требует управления и сама является инструментом управления перевозками [5]. Геоинформатика используется для управления. Аспект пространственных данных. Использование пространственной информации также сближает геоинформатику

и логику. Большинство рассмотренных видов логики применяют пространственную информацию. Пространственную информацию обрабатывает геоинформатика. Поэтому интеграция геоинформатики с логистикой [6] или формирование логистической геоинформатики повышает эффективность логистических процессов. В аспекте обработки эти науки дополняют друг друга. В геоинформатике обработка информации более развита и используется большее количество моделей. Логистика решает в основном задачи распределения и оптимизации. Геоинформатика решает задачи геоинформационного морфизма [7] и пространственных преобразований. При этом существует различие. Логистика обрабатывает и использует информационные и материальные потоки [7]. Геоинформатика в большей степени обрабатывает данные и в меньшей степени геоинформационные потоки. Аспект транспортной и информационной безопасности. Логистика решает задачи выявления и управления рисками. Геоинформатика решает задачи выявления неопределенности, которая является причиной рисков. Поэтому методы геоинформатики приемлемы в логистике, в ряде случаев они выполняют поддержку технологий логики, в других дополняют ее.

ВИДЫ ЛОГИКИ И ИХ ОТНОШЕНИЕ К ГЕОИНФОРМАТИКЕ

Логистика не однородна, а имеет ряд специализированных направлений применения. Целесообразно рассмотреть виды логики, которые связаны с геоинформатикой. Глобальная логистика (Global logistics) [9] представляет собой процесс управления материальными потоками через цепочку поставок от одного географического места до другого в другой части мира. Для этого часто требуется интермодальная транспортная система, морские, воздушные, железнодорожные и автомобильные перевозки. Геоинформатика поддерживает решение данных задач путем глобального пространственного моделирования. Геоинформатика имеет возможность строить пространственные модели разных масштабов в иерархически связанной системе, что позволяет сводить глобальные задачи к локальным.

Предварительная логистика (Advance logistics) [10] состоит из действий, необходимых для разработки или разработки плана проведения логистических операций. Эта задача поддерживается геоинформатикой как возможность работы в местных координатных системах и переходе к глобальным координатам.

Логистика закупок (Procurement logistics) [11] включает: исследование рынков, планирование потребностей, принятие решений «производить или покупать», управление поставщиками, размещение заказов и контроль заказов. Цели в логистике закупок могут быть противоречивыми: максимизация эффективности за счет концентрации на основных компетенциях, аутсорсинг при сохранении автономии компании или минимизация затрат на закупки при максимальной безопасности

в процессе поставок. Эта задача поддерживается геоинформатикой как возможность поддержки пространственной экономики и возможность проведения территориального анализа.

Распределительная логистика решает задачи оптимального размещения ресурсов, выбор мест размещения производства на основе критериев оптимизации. Эта задача решается в геоинформатике с использованием методов геоинформационного моделирования и пространственного анализа.

Дистрибьюторская логистика (Distribution logistics) [12] (логистика распределения товаров) направлена на доставку готовой продукции потребителю. Она включает обработку заказов, складирование и транспортировку. Логистика распределения необходима, потому что время, место и количество производства отличаются от времени, места и количества потребления. Эта задача поддерживается геоинформатикой путем использования тематического картографирования с изображением размещения складов и точек потребления.

Основной функцией логистики утилизации (Disposal logistics) [13] является снижение затрат на логистику и повышение качества услуг, связанных с утилизацией отходов, образующихся в ходе деятельности предприятия. Ее можно рассматривать как модифицированную задачу распределения. Эта задача решается в геоинформатике с использованием методов геоинформационного моделирования и пространственного анализа.

Обратная логистика (Reverse logistics) [14] направлена на операции, которые связаны с повторным использованием продуктов и материалов. Процесс обратной логистики вклю-

чает в себя управление и продажу излишков, а также продуктов, возвращаемых поставщикам от покупателей. Обратная логистика – это все операции, связанные с повторным использованием продуктов и материалов. Это «процесс планирования, реализации и контроля эффективного и рентабельного потока сырья, незавершенного производства, готовой продукции и соответствующей информации от точки потребления до точки происхождения с целью восстановления стоимости или надлежащая утилизация. Эта задача решается в геоинформатике с использованием методов геоинформационного моделирования и пространственного анализа

Зеленая логистика (Green logistics) [15] включает действия по минимизации воздействия логистической деятельности на окружающую среду. Сюда входят все действия прямого и обратного потоков. Эта задача решается в геоинформатике с использованием методов геоинформационного моделирования и оверлея

Строительная логистика (Construction logistics) [16] использовалась на протяжении тысячелетий. Поскольку различные человеческие цивилизации пытались построить наилучшие из возможных сооружений для жизни и защиты. Теперь строительная логистика стала жизненно важной частью строительства. За последние несколько лет строительная логистика стала отдельной областью знаний и исследований в рамках предмета управления цепочками поставок и логистики. Эта задача решается в геоинформатике с использованием методов геоинформационного проектирования и моделирования.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ

Цифровая логистика возникла как форма цифровизации транспорта. Цифровая логистика [17] опирается на цифровую железную дорогу [18], интеллектуальные транспортные системы и беспилотный транспорт [19]. Современные исследования указывают на прямую взаимосвязь между уровнем цифровизации и качеством принимаемых логистических стратегических решений. Предприятия с вы-

соким уровнем цифрового развития обладают адаптивностью к внешним условиям и демонстрируют устойчивость в условиях информационной неопределённости [20]. Геоинформатика в качестве одной из основ использует цифровые модели [21] местности и объектов, что органически вписывает ее в цифровые технологии.

Интеллектуальная логистика [22]. Развитие методов искусственного интеллекта широко применяется в геоинформатике [23]. В геоинформатике развиваются интеллектуальные ГИС [24] как специализированные интеллектуальные системы или как системы поддержки интеллектуальных логистических систем. Возникло новое направление интеллектуальной логистики. Основная цель интеллектуальной логистики это "...процесс организации цепочки доставки и управления этой цепью на основе интеллектуальных систем и интеллектуальных технологий. Эта цель означает, что логистические процессы направлены на доставку грузов с основными ключевыми показателями: минимальные затраты, точное время, заданное место

Интеллектуализация транспортной логистики является новым направлением в логистике и сталкивается с рядом проблем. Одна из основных проблем – терминологическая. Она состоит в подмене понятия «интеллектуализация транспортной логистики» близкими категориями: компьютеризация логистики; автоматизация логистики; комплексное управление транспортными потоками и пр. Одной из

ФУНКЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В геоинформатике для описания пространственной информации применяют гео-данные и модели, построенные на их основе [1]. Эти данные и модели позволяют эффективно учитывать пространственные зависимости социально-экономической информации при управлении, производстве и в бизнесе. Применительно к среде логистической деятельности геоинформационное моделирование и выполняет следующие основные функции.

Первая функция — интегрирующая. Она заключается в том, что пространственная информация служит основой интеграции других видов информации как наиболее постоянная в сравнении с другими видами. Чаще всего эта функция реализуется при сборе статистики, которая затем «накладывается» на пространственную информацию и на основе такой комбинации строятся различные тематические карты, отражающие состояние перевозок.

причин является то, что близкое к интеллектуальной логистике понятие «интеллектуальной транспортной системы» (ИТС) также трактуется во многих отечественных источниках как автоматизированная система управления транспортом. Это приводит к тому, что проблемы интеллектуализации транспорта сужаются до проблем его автоматизации или автоматизации управления транспортом.

Тактические задачи интеллектуализации транспортной логистики состоят также в нахождении оптимального сочетания методов классической логистики с методами интеллектуальной логистики. К числу этих задач относятся: безопасность и охрана на транспорте, развитие интермодальных транспортных операций, развитие методологии точно в срок" (JIT), развитие методов телематики, сокращение транспортных издержек, развитие кросс-докинга и др. Полное решение задачи кросс-докинга сопряжено с факторами «информационная необозримость» и «информационная сложность». Поэтому только ИЛС дает возможность корректного решения такой задачи.

Вторая функция — количественного геометрического оценивания. Эта функция геоинформационного моделирования используется для геометрических и связанных с ними экономических расчетов. Следует отметить, что пространственная информация в геоинформационных моделях составляет меньшую часть. Большую часть в них составляют социально-экономические данные. Примером служит расчет площади земельного участка или длина пути. Эта геометрическая характеристика, которая определяет стоимость данного участка или затраты по перевозке.

Третья функция — прогностическая. Она связана с тем, что текущая ситуация перевозки может быть связана с динамическими параметрами пространственной среды. Геоинформационное моделирование позволяет предсказать состояние перевозки в будущем.

Четвертая функция — экономического оценивания. Например, решение транспорт-

ной задачи (оптимизация перевозок) или задачи Лаунхардта (оптимизация распределительной логистики) может получаться средствами ГИС или геоинформационного моделирования.

МАТЕРИАЛЬНЫЕ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТОКИ

Ключевым динамическим показателем в современной логистике является понятие материального и информационного потока. Можно ввести понятие «геоинформационный поток» как информационный поток, связанный с пространственной информацией и геоинформатикой. Геоинформационный поток обязательно связан с пространственной информацией и геоинформатикой. Геоинформационный поток имеет два значения: реальный поток в пространстве, например поток грузов по железной дороге; информационная модель потока использующего геоданные. Геоданные обязательный атрибут геоинформационного потока.

Внешние материальные логистические потоки протекают между различными предприятиями и разными географическими точками в пространстве. Внутренние материальные потоки протекают внутри одного предприятия в локальной области пространства. Логистический поток включает операции погрузки, разгрузки, транспортировки, комплектации и другие. В настоящее время материальный поток сопровождается информационным потоком. Соответствующий материальному информационный поток включает операции по сбору, обработке и передаче информации.

Принципиальным отличием современного логистического подхода от существовавшего ранее является интеграция отдельных звеньев логистических цепочек в единую систему (интеграция техники, технологии, экономики, методов планирования и управления потоками), способную обеспечивать устойчивость при воздействии внешней среды. Это сближает логистику с геоинформатикой, которая также основана на интеграции технологий и пространственных цепочках.

Логистика требует использования все большего объема пространственной, транспортной и экономической информации. Компании не могут конкурировать, улучшать

Пятая функция геоинформационного моделирования — управленческая. Она связана с возможностью ГИС как системы поддержки принятия решений.

обслуживание и сокращать затраты без информационных систем. Необходимы новые технологии, основанные на логистике, то есть на ряде нововведений технологического, организационного, экономического и управленческого характера в производстве, торговле, транспортировке и коммуникации

Одна концепция логистического подхода к управлению материальными потоками заключается, прежде всего, в смене приоритетов между различными видами хозяйственной деятельности в пользу большего применения информационных потоков для управления материальными потоками.

Преимуществом ГИС является возможность выдачи информации в картографической форме. Наиболее ярко это преимущество проявляется применении электронных карт в навигаторах, которые позволяют оптимизировать маршруты. Связь концепций логистики с методами геоинформатики повышает эффективности логистических технологий

Геоинформатика использует реальный материал, текущую информацию о состоянии объектов на земной поверхности. Эта информация находится в открытом доступе со многих зарубежных спутников. Как инструмент анализа в геоинформатике используется ГИС, которая позволяет учитывать пространственные факторы и проводить пространственный анализ внешней среды. Таким образом, применение геоинформатики в инноватике дает положительный эффект, а геоинформационные технологии предстают как часть процесса внедрения инновационных проектов, то есть как инновационные технологии

Географические особенности России определяют приоритетную роль транспорта в развитии конкурентных преимуществ страны с точки зрения реализации ее транзитного потенциала. Транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей хозяйства, важнейшей составной частью производственной и

социальной инфраструктуры. Это повышает значение логистики при решении народнохозяйственных задач. Объемные характеристики транспортного обслуживания напрямую влия-

ют на объем информационных моделей и потоков, с которыми необходимо оперировать в логистике.

ГЕОДАННЫЕ В ЛОГИСТИКЕ

Сравнению ключевых показателей логистики с геоданными подчеркивает близость между ними. Геоданные это интегрированные данные, которые включают три группы: «место», «время», «тема». Это дает основание решать логистические задачи в единой системе пространственно-временных и тематических данных. Важным свойством геоинформатики является интеграция всех данных в виде трех связанных групп: «место», «время», «тема». Эта интеграция создает синергетический эффект, т.е. позволяет решать задачи, которые при разделении на отмеченные группы либо не решаются, либо решаются с меньшей эффективностью. Такая интеграция в логистике отсутствует. Особенно важны геоданные при решении логистических задач. В качестве подходов и методов, имеющих значение для логистики, следует выделить

- Геоинформационный подход [25] к анализу процессов и явлений/

- Визуальное моделирование.
- Выявление и использование пространственных отношений.
- Учет и использование геореференчных связей.
- Использование геостатистики для решения логистических задач.
- Применение метрик в различных пространствах.
- Нечисловая математика и статистика.

Еще одна особенность применение теории исследования операций в логистике. Характерная особенность исследования операций — системный подход к поставленной проблеме как главный методологический принцип. Он заключается в рассмотрении логистических задач с точки зрения их влияния на функционирование логистической системы в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоинформатика дополняет логистику, и их интеграция приносит ощутимую пользу. Логистика решает специальные задачи, которые геоинформатика не решает. Однако, геоинформатика осуществляет поддержку логистических решений путем предоставления картографических моделей и создания геоинформационных моделей логистических потоков. Геоинформатика обладает развитым аппаратом пространственного анализа, который можно использовать для решения задач распределительной логистики и для оптимизации маршрутов. Использование геоинформатики

в логистике производстве имеет свою специфику, что дает основание ввести термин «геоинформационная логистика». Геоинформационные технологии являются инструментом преодоления многих информационных барьеров, которые возникают в современной логистике. Современная логистика более бедна в аспекте использования данных по сравнению с геоинформатикой. Геоданные включают в себя большее число параметров, чем традиционные логистические данные. Применение геоданных расширяет возможности логистики.

Список источников

1. Markelov V.M. Application Geodata in Logistics // *European Researcher*. 2012, (33), № 11-1. - pp 1835-1837.
2. Шеховцов Р. В. Сервисная логистика // Ростов-на-Дону: Изд-во АПСН СКНЦ ВШ. – 2003. -240с.
3. Маркелов В.М. Логистика и пространственная экономика // *Славянский форум*. - 2013. - 1(3). - с.91-95.
4. Маркелов В.М. Пространственная информация как фактор управления // *Государственный советник*. – 2013. - №4. – с 34-38.
5. Палагин Ю. И. Логистика—планирование и управление материальными потоками. – СПб.: Политехника, 2012. - 286 с.
6. Коваленко Н.И. Интеграция геоинформатики и логистики // *Перспективы науки и образования*- 2014. - №6. - с. 26-30.
7. Цветков В. Я. Геоинформационный морфизм. Образовательные ресурсы и технологии. 2024. № 4 (49). С. 84-91.
8. Хазанова Л. Э. Логистика. Методы и модели управления материальными потоками - М.: БЕК, 2003. - 113 с.
9. Haralambides H. E. Gigantism in container shipping, ports and global logistics: a time-lapse into the future // *Maritime Economics & Logistics*. – 2019. – Т. 21. – №. 1. – С. 1-60.
10. Selviaridis K., Norrman A. Performance-based contracting for advanced logistics services: challenges in its adoption, design and management // *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. – 2015.
11. Uusitalo J. A framework for CTL method-based wood procurement logistics // *International Journal of Forest Engineering*. – 2005. – Т. 16. – №. 2. – С. 37-46.
12. Konstantakopoulos G. D., Gayialis S. P., Kechagias E. P. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: A literature review and classification // *Operational research*. – 2022. – Т. 22. – №. 3. – С. 2033-2062.
13. Xu J., Shi Y., Zhao S. Reverse logistics network-based multiperiod optimization for construction and demolition waste disposal // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2019. – Т. 145. – №. 2.
14. Prajapati H., Kant R., Shankar R. Bequeath life to death: State-of-art review on reverse logistics // *Journal of cleaner production*. – 2019. – Т. 211. – С. 503-520.
15. Baah C., Jin Z., Tang L. Organizational and regulatory stakeholder pressures friends or foes to green logistics practices and financial performance: investigating corporate reputation as a missing link // *Journal of cleaner production*. – 2020. – Т. 247.
16. Wegelius-Lehtonen T. Performance measurement in construction logistics // *International journal of production economics*. – 2001. – Т. 69. – №. 1. – С. 107-116.
17. Лёвин Б. А., Ефимова О. В. Цифровая логистика и электронный обмен данными в грузовых перевозках // *Мир транспорта*. – 2017. – Т. 15. – №. 2. – С. 142-149.
18. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // *Мир транспорта*. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - с. 50-61.
19. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation // В сборнике: *AIP Conference Proceedings*. Melville, New York, United States of America, 2021.
20. Братусь, Н. В. Формальные модели информационной определенности и неопределенности в информационном поле / Н. В. Братусь, А. В. Рачков // *Образовательные ресурсы и технологии*. – 2025. – № 2(51). – С. 85-92.
21. Цветков В. Я., Маркелов В.М. Применение цифровых моделей в логистике // *Геоде-*

зия и картография. - 2013. - №7. - с.59-62.

22. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. - 2011. - № 4. – с. 38-40.

23. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. - 2010. -№ 5. - с.41-43.

24. Бучкин Д.В. Состояние и развитие интеллектуальных ГИС // Информация и космос. 2020. - №3. –с .119-123.

25. Майоров А.А., Цветков В.Я., Маркелов В.М. Геоинформационный подход в логистике // Геодезия и аэрофотосъемка, - 2012.- №6. - с. 93-97.

GEOINFORMATION MODELING IN TRANSPORTATION MANAGEMENT

Dubchak I.A.¹

¹ Russian University of Transport.

Abstract: the purpose of this paper is to study the application of geoinformation modeling in transportation process management. A comparative analysis of logistics and geoinformation technologies is provided. Common areas of application are highlighted. A taxonomy of logistics technologies is presented, and the application of geoinformation science to these areas is demonstrated. It is shown that, in the context of the digitalization of transport and logistics, digital modeling in geoinformation science is suitable for the implementation of digital logistics technologies. Geoinformation modeling incorporates digital and non-digital methods, thereby uniting digital and non-digital logistics. Geoinformation modeling in logistics allows for the creation of more reliable transportation plans and the accumulation of experience in executing transportation in complex conditions.

Keywords: transportation management, spatial information, logistics, geoinformation modeling, geoinformation flow.

© Dubchak I.A.

Received 02.10.2025, approved 12.12.2025, accepted for publication 12.12.2025.

For citation:

Dubchak I.A. Geoinformation modeling in transportation management. Logistics and Supply Chain Management. 2025. Vol 22, Iss 4 (117). pp. 4-14.

Information about the authors:

Dubchak I.A. — Head of the Department of New Projects and Technologies, FGAOU VO Russian University of Transport, e-mail: dia.rut.miit@yandex.ru.

References

1. Markelov V.M. Application Geodata in Logistics // European Researcher. 2012, (33), № 11-1. -pp 1835-1837.
2. Shekhovtsov R. V. Service logistics //Rostov-on-Don: Publishing House of the APSN of the Russian Academy of Sciences. – 2003. - pp 240.
3. Markelov V.M. Logistics and spatial economics // Slavic Forum. - 2013. - 1(3). - pp.91-95.
4. Markelov V.M. Spatial information as a management factor // State Councilor. – 2013. - No. 4. – pp 34-38.
5. Palagin Yu. I. Logistics—planning and management of material flows. – St. Petersburg: Polytechnic, 2012. - 286 p.:
6. Kovalenko N.I. Integration of geoinformatics and logistics // Prospects of science and education- 2014. - No. 6. - pp.26-30.
7. Tsvetkov V. Ya. Geoinformation morphism. Educational resources and technologies. 2024. No. 4 (49). pp. 84-91.
8. Khazanova L. E. Logistics. Methods and models of material flow management - M.: BECK, 2003. -113 p.
9. Haralambides H. E. Gigantism in container shipping, ports and global logistics: a time-lapse into the future //Maritime Economics & Logistics. – 2019. – Vol. 21. – No. 1. – pp. 1-60.
10. Selviaridis K., Norrman A. Performance-based contracting for advanced logistics services: challenges in its adoption, design and management //International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. – 2015.
11. Uusitalo J. A framework for CTL method-based wood procurement logistics //International Journal of Forest Engineering. - 2005. – Vol. 16. – No. 2. – pp. 37-46.
12. Konstantakopoulos G. D., Gayialis S. P., Kechagias E. P. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: A literary review and classification //Operational research. – 2022. – Vol. 22. – No. 3. – pp. 2033-2062.
13. Xu J., Shi Y., Zhao S. Reverse logistics network-based multiperiod optimization for construction and demolition waste disposal //Journal of Construction Engineering and Management. – 2019. – Vol. 145. – No. 2.
14. Prajapati H., Kant R., Shankar R. Bequeath life to death: State-of-art review on reverse logistics //Journal of cleaner production. – 2019. – Vol. 211. – pp. 503-520.
15. Baah C., Jin Z., Tang L. Organizational and regulatory stakeholder pressures friends or foes to green logistics practices and financial performance: investigating corporate reputation as a missing link //Journal of cleaner production, 2020, vol. 247.
16. Wegelius-Lehtonen T. Performance measurement in construction logistics //International journal of production economics. – 2001. – Vol. 69. – No. 1. – pp. 107-116.
17. Levin B.A., Efimova O. V. Digital logistics and electronic data exchange in freight transportation //Mir transport. – 2017. – Vol. 15. – No. 2. – pp. 142-149.
18. Levin B.A., Tsvetkov V.Ya. Digital railway: principles and technologies // The world of transport. - 2018. - T. 16. - №3 (76). - pp. 50-61.
19. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in the process of unauthorized vehicle operation // In the collection: AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021.
20. Bratus, N. V. Formal models of information certainty and uncertainty in the information field / N. V. Bratus, A.V. Rachkov // Educational Resources and technologies. – 2025. – № 2(51). – pp. 85-92.
21. Tsvetkov V. Ya., Markelov V.M. Application of digital models in logistics // Geodesy and

cartography. - 2013. - No. 7. - pp.59-62.

22. Tsvetkov V.Ya. Intellectualization of transport logistics // Railway transport. - 2011. - No. 4. – pp. 38-40

23. Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Development of artificial intelligence methods in geoinformatics // Transport of the Russian Federation. - 2010. -No. 5. - pp.41-43.

24. Buchkin D.V. The state and development of intelligent GIS // Information and space. 2020. - No. 3. pp. 119-123.

25. Mayorov A.A., Tsvetkov V.Ya., Markelov V.M. Geoinformation approach in logistics // Geodesy and Aerial Photography, 2012, No. 6, pp. 93-97.

ЦИФРОВЫЕ ЛОГИСТИЧЕСКИЕ РИСКИЦветков В.Я.¹¹ Российский университет транспорта

Аннотация: статья исследует риски, возникающие в логистических цепочках в современных условиях цифровизации транспорта и появлении цифровой среды. Введены понятия «уровень риска», «логистическая ситуация» и «рисковая ситуация». Раскрывается содержание этих понятий. Дан анализ развития и состояния цифровой среды применительно к логистическим рискам. Показано влияние цифровой среды на логистические риски. Вводится и раскрывается содержание понятия «цифровые логистические риски». Описаны виды цифровых рисков в сфере логистики. Описаны особенности политики управления рисками. Показано различие в управлении рисками цепочки поставок при реактивной и проактивной методике. Отмечено значение машинного обучения как метода управления рисками. Дана систематика причин возникновения цифровых логистических рисков.

Ключевые слова: риск, цифровые логистические риски, уровень риска, рисковая ситуация, оценка уровня риска ситуации.

© Цветков В.Я.

Поступила 11.10.2025, одобрена после рецензирования 12.12.2025, принята к публикации 12.12.2025.

Для цитирования:

Цветков В.Я. Цифровые логистические риски // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №4 (117). - С. 15–23.

Информация об авторах:

Цветков В.Я. — профессор, доктор технических наук., Заместитель директора юридического института по научной работе. ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), e-mail: cvj7@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Многие системы транспорта и управления подвержены рискам. Управление цепочками поставок относится к области рискованных операций. Риск относится к объектам управления, к процессам управления и к перевозкам. Риск не возникает сам по себе. Он вытекает из ситуации, в которой находится объект перевозки. Поэтому при анализе рисков необходимо учитывать ситуацию, в которой находится объект или процесс. Если ситуация может мотивировать риск, то ее следует считать рискованной ситуацией [1]. Рисковая ситуация – это информационная или вероятностная модель, в которой возможно появление рискованных событий. В рамках развития информатики рискованная ситуация есть модель информационной ситуации, которая широко применяется в информационном моделировании. Эта модель может использоваться для описания и оценки реальной рискованной ситуации.

Необходимо оценивать риск применительно к ситуации и независимо от нее. Для сравнительной оценки риска и рискованных ситуаций целесообразно ввести оценку уровня риска [2] процесса перевозки либо ситуации. Оценка уровня риска процесса перевозки может быть ситуационной, если риск оценивается совместно с параметрами ситуаций. Оценка уровня риска процесса перевозки может быть

автономной, если риск оценивается независимо от ситуации. Оценка уровня риска ситуации – это количественная или качественная оценка, характеризующая либо вероятность наступления риска в ситуации, либо сравнительную оценку данной ситуации к другим рискованным ситуациям

Значение уровня риска влияет на принятие решений и выбор альтернатив. Уровень риска чаще всего оценивают качественно с помощью сравнительных оценок. Но возможно оценивать его количественно с помощью оценки вероятности или надежности, если существует возможность такой количественной оценки. Высокий уровень риска означает большую вероятность наступления рискованного события. При использовании автоматизированных или интеллектуальных систем уровень риска, создаваемый системой, зависит от корректности исходных данных, от оперативной реакции системы на внешние события, от времени обработки или оперативного анализа событий. Также уровень риска зависит от действий оператора системы, от его опыта, реакции и знаний. Применение специализированных информационных и интеллектуальных систем снижает уровень риска при обработке больших объемов информации.

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ

Цифровизация общества привела к электронной коммерции и преобразила общество, транспорт, логистику и рынок. Появились качественно новые цифровые услуги, которые изменили сферу бизнеса и сформировали способы взаимодействия, потребления и логистики. В то же время использование цифровых услуг стало источником новых рисков и проблем, как для общества в целом, так и для отдельных сфер деятельности. Развитие цифровой среды включает организационные, правовые и технические направления. Цифровая среда предполагает цифровые услуги, включая сферу логистики и цифровые рынки. Эти новые области требуют законодательного регулирования.

Регламент (ЕС) 2022/1925 Европейского парламента и Совета от 14 сентября 2022 года о конкурентных и справедливых рынках в цифровом секторе и о внесении изменений в Директивы (ЕС) 2019/1937 и (ЕС) 2020/1828 (известный как DMA – «Закон о цифровом рынке») устанавливает четкие правила для цифрового рынка [3 с.1]

Регламент (ЕС) 2022/2065 Европейского парламента и Совета от 19 октября 2022 года о едином рынке цифровых услуг и внесении изменений в Директиву 2000/31/ЕС (известную как DSA “Закон о цифровых услугах”) вводит общий набор правил, касающихся обязательств и подотчетности посредников на едином рынке, направленных на обеспечение

высокого уровня защиты для всех пользователей [3].

Цель Европейского союза — создание единого цифрового рынка и управление текущим цифровым переходом. В рамках стратегии единого цифрового рынка Европейская комиссия разработала «Пакет законов о цифровых услугах», состоящий из Закона о цифровых услугах (DSA) и Закона о цифровом рынке (DMA) [3]. Стратегия единого цифрового рынка предусматривает ряд целевых действий, основанных на следующих трех принципах: лучший доступ потребителей к цифровым товарам и услугам по всей Европе; создание благоприятных условий и равных условий для развития цифровых сетей и инновационных услуг; максимизация потенциала роста цифровой экономики

В 2020 году, Комиссия ЕС добрила документ «Формирование цифрового будущего Европы» [4], в котором обозначены три основных направления европейского цифрового роста экономики:

- технологии, работающие на благо людей;
- справедливая и конкурентоспособная цифровая экономика;
- открытое, демократическое и устойчивое общество.

В этом документе [4] Комиссия обязалась обновить горизонтальные правила, которые определяют ответственность и обязательства поставщиков цифровых услуг, и цифровых-платформ, в частности. В этом документе предлагалось следующее: «Исходя из логики единого рынка, могут потребоваться дополнительные правила для обеспечения конкурентности, справедливости и инноваций, а также возможности выхода на рынок, а также общественных интересов, выходящих за рамки кон-

курренции или экономических соображений. Эти дополнительные правила называют цифровыми правами [5]. Существует распространенная точка зрения, что цифровые права есть подотрасль информационного права [6].

Существует различие между понятиями «логистические риски» и «риски в логистике». Такое же различие существует между понятиями «цифровые риски в логистических цепочках» и «цифровые риски» [7]. Вторые понятия более широкие и включают первые понятия как частные случаи. Рост области цифровизации увеличивает уровень цифровых рисков логистических компаний. Это обусловлено тем, что цифровые риски мотивируют логистические риски. Логистические системы сталкиваются с угрозами цифровой среды, ряд которых имеет цифровой характер и ряд логистический характер.

Цифровая среда в логистических системах обусловлена развитием цифрового транспорта [8, 9]. Цифровые технологии предоставляют транспортному сектору возможность достичь социальной, экономической и экологической устойчивости. С одной стороны, цифровизация логистических процессов позволяет повысить оперативность принятия решений и снизить вероятность человеческих ошибок. Цифровизация в логистике создает повышенную надежность при обработке цифровых сигналов. Цифровые сигналы более помехоустойчивы. С другой стороны, цифровизация, использующая открытые системы, приносит свои риски и создает специфические цифровые риски [7, 10]. Эти цифровые риски косвенно мотивируют логистические риски. Логистические риски в цифровой среде можно определить как «цифровые логистические риски».

АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РИСКОВ

Основными задачами современной логистики в области управления рисками становятся систематизация рисков, идентификация рисков, классификация рисков, выбор тактики и стратегии управления логистическими рисками [11]. Риски в логистике включают опасности и угрозы, возникающие при испол-

нении перемещения, хранения, переработки и управления грузами. В логистические риски входят организационные и административные риски, которые могут вызвать ошибки управления, которые могут наступить в ходе организации процессов в цепях поставок. Это дает

основание говорить о антропогенных рисках или когнитивных рисках.

В современном понимании риски можно разделить на прямые и косвенные. К косвенным рискам во многих видах деятельности относятся информационные риски. Информация в общем виде не существует, а имеет форму моделей или сообщений. Для сообщений возникает проблема коммуникационных рисков. По характеру последствий риски подразделяются на чистые и каскадные [12, 13]. По сфере возникновения риски разделяют на информационные, коммуникационные, производственное, коммерческие, финансовые.

По причине возникновения рисков их делят на природно-естественные, экологические, политические, транспортные, имущественные, антропогенные, форс-мажорные риски. По степени ущерба выделяют три типа рисков. Допустимые. Уровень ущерба от таких рисков оценивается как приемлемый, потому что он не превышает размер ожидаемой прибыли. Критические. Если наступит событие из этой категории, предприятие потеряет значительно больше, чем могло бы получить при благоприятном исходе. Катастрофические, которые приводят к необратимым последствиям.

Последствия логистических рисков делят на три группы: Прямые убытки: потери из-за порчи, кражи или потери груза. Косвенные убытки: срывы сроков производства из-за несвоевременной доставки сырья, штрафы за нарушение договоров, потеря клиентов из-за задержки поставок. Каскадные (эффект домино): сбой в одном звене цепи поставок может

вызвать цепную реакцию, которая затронет всю систему. На основе систематики можно дать определение логистического риска.

Логистический риск есть разновидность рисков, образующих группу, связанную с логистикой. Эта группа рисков связана с факторами и событиями, нарушающими функционирование цепочки поставок и создающие финансовые или операционные потери. Эти риски могут возникать при транспортировке грузов, а также при возникновении сбоев в логистических системах.

К цифровым логистическим рискам следует отнести политические риски. Введение санкций разными странами препятствует или нарушает логистическую цепочку и является видом форс мажорных обстоятельств.

К цифровым логистическим рискам следует отнести экономические риски банкротства компаний перевозчиков или туроператоров. Банкротство туроператора приводит к отказу от запланированных переездов, что ложиться на плечи пассажиров.

Некоторые цифровые логистические риски обусловлены информационными рисками. Информационные риски, мотивирующие цифровые логистические риски, связаны со сложностью информационных моделей, информационной неопределенностью, информационной нечеткостью, большими информационными объемами, необходимостью включения когнитивных факторов в цепочку принятия решений, информационной сложностью задач логистики, взаимозависимостью задач.

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ ЛОГИСТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ

В [14] предложено применение IoT в логистике для управления логистическими рисками. Этот подход основан на применении сенсоров в логистических системах. Интегральное применение сенсоров позволяет в реальном времени отслеживать состояние грузопотоков и отдельных перевозимых грузов. За рамками исследования [14] остались саморазвивающиеся интеллектуальные логистические систем.

Гибридные логистические модели (Hybrid logistics models) [15] также рекомендуют как

средство управления рисками. Они позволяют достичь баланса между различными видами транспорта и методами управления, что способствует повышению гибкости и эффективности логистических систем. В статье [15] изучается построение модели задачи распределения маршрута транспортного средства с временными рамками. На основе алгоритма косяка рыб и алгоритма колонии муравьев предлагается гибридный алгоритм оптимизации для задачи оптимизации маршрута распределения.

Гибридные модели применяют для разных задач. Не только для оптимизации маршрутов, но и для выбора поставщика логистических услуг [16]. В работе [17] рассмотрено применение гибридного метода нечеткого анализа иерархий (ФАНР) и метода нечеткого порядка предпочтения по близости к идеальному решению (FTOPSIS) для оценки цифровой готовности порта в Иране. В гибридном методе ФАНР используется для определения благоприятных весовых коэффициентов нечетких лингвистических переменных критериев. Главным недостатком гибридных логистических моделей является сложность управления и координации различными компонентами системы.

Другим подходом к управлению рисками является применение блокчейна [17] в логистику, с акцентом на концепцию цифровой трансформации. В этой статье предлагается трехэтапная модель цифровой зрелости, которая эффективно измеряет цифровую готовность в отраслях морской логистики. В работе [11] описан опыт исследования интеграции машинного обучения в управление рисками цепочки поставок. Управление рисками цепочки поставок рассматривается методом снижения риска цепочки поставок на техническом, личном и организационном уровне.

Машинное обучение авторы определяют как эвристический метод, который генерирует результаты на основе доступных данных без предварительного программирования соот-

ветствующего результата обучения. Алгоритм машинного обучения «обучается» и итеративно ассимилирует своё восприятие с базовыми явлениями реального мира, представленными во входных данных.

Машинное обучение обладает способностью к выявлению и оценке рисков. Однако эта технология нечасто используется в SCRM [18]. Это явление возникает из-за отсутствия руководств по МО для исследователей цепочек поставок. Большинство исследователей SCRM работают в области управления, в то время как большинство исследователей МО работают в области инжиниринга, например, в компьютерных науках.

Существует различие в управлении рисками цепочки поставок (supply chain risk management - SCRM) при реактивной и проактивной методике. Реактивный SCRM относится ко всем действиям, которые выполняются после возникновения риска цепочки поставок, чтобы максимально снизить степень ущерба. Напротив, проактивный SCRM включает в себя методические действия, выполненные до возникновения риска, чтобы защитить компанию от возникновения рисков цепочки поставок.

Мониторинг рисков представляет собой технологию выявления неблагоприятных событий в цепочке поставок и выдачу рекомендаций по их устранению и минимизации последствий.

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ ЛОГИСТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ

Современная цепочка поставок сталкивается с неизбежными рисками, поскольку она зависит от большого числа непредсказуемых факторов. К числу таких факторов относят политические факторы и даже пандемию [18].

Важность логистики и транспорта в отраслях и организациях невозможно отрицать, что делает логистику одним из центральных и основополагающих элементов любой организации. Значение логистических рисков делает управление рисками одним из центральных и основополагающих элементов любой логистики. Управление логистическими рисками играет ключевую роль в логистике, кото-

рая опирается на точную транспортировку. В этом аспекте возникает потребность в моделях определенности и неопределенности [19] логистических ситуаций.

Цифровая связь, как новый вид коммуникативистики несет в себе значительные риски. Несмотря на многочисленные публикации, посвященные преимуществам цифровизации, в работах умалчивают о негативной стороне цифровизации. Цифровая коммуникация. Операционные системы делает многие компании более зависимыми от других, что называют «сетевой ловушкой». Цифровая зависимость

влечет эффекту появления логистических угроз от других цифровых угроз.

Логистический риск всегда сталкивается со значительными проблемами и вызовами, такими как ограниченные перевозки, задержки доставки и фрагментарная связь. Чтобы снизить экологические риски и предотвратить мошенничество и контрафакцию, нам необходимо разработать устойчивые методы и надежные операции. Эти устойчивые мето-

ды необходимы как для человеческих факторов, участвующих в этой логистике, и для машинного обучения. Использование комплекса методов позволяет оптимизировать производительность цепочки поставок. Поэтому для достижения надёжности необходимо развивать методы моделирования и управления логистическими рисками между всеми участниками логистической цепочки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hwang T., Youn I. H. Collision Risk Situation Clustering to Design Collision Avoidance Algorithms for Maritime Autonomous Surface Ships //Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Т. 10. – №. 10. – С. 1381.
2. Zhang W. et al. Towards a Convolutional Neural Network model for classifying regional ship collision risk levels for waterway risk analysis //Reliability Engineering & System Safety. – 2020. – Т. 204. – С. 107127.
3. Chiarella M. L. Digital markets act (DMA) and digital services act (DSA): New rules for the EU digital environment //Athens JL. – 2023. – Т. 9. – С. 33
4. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Shaping Europe's digital future, 19 February 2020, COM (2020) 67 final
5. Afzal J. Best Practice of Digital Laws and Digital Justice //Implementation of Digital Law as a Legal Tool in the Current Digital Era. – Singapore : Springer Nature Singapore, 2024. – С. 95-120.
6. Gorodov O. A. Digital law as a sub-branch of information law //Law and the digital economy. – 2021. – Т. 1. – С. 36-43.
7. Luo Y. A general framework of digitization risks in international business //Journal of international business studies. – 2021. – Т. 53. – №. 2. – С. 344.
8. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - с. 50-61.
9. Steele H., Roberts C. Towards a sustainable digital railway //Sustainable Railway Engineering and Operations. – Emerald Publishing Limited, 2022. – С. 239-263.
10. Нестеров Е.А., Цветков В.Я. Информационные коммуникационные риски цифрового развития // Транспортное право и безопасность. 2023. № 2 (46). С. 58-65
11. Schroeder M., Lodemann S. A systematic investigation of the integration of machine learning into supply chain risk management //Logistics. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 62
12. Господинов, С. Г. Особенности информационного каскадного моделирования коммуникационной среды // Образовательные ресурсы и технологии. – 2023. – № 4(45). – С. 62-69.
13. Цветков В.Я. Информационное каскадирование при управлении перевозками. // Логистика и управление транспортными системами. - 2023. - Т. 20, №3 (108). - С. 13-22
14. Бекжанова С.Е., Машанло А., Юсупов А. Инновационные подходы к управлению логистическими рисками в Республике Казахстан // Логистика и управление цепями поставок. - 2023. - Т. 20, №4 (109). - С. 66-76
15. Gan Q. A logistics distribution route optimization model based on hybrid intelligent algorithm and its application //Annals of Operations Research. – 2022. – С. 1-13.
16. Luyen L. A., Thanh N. V. Logistics service provider evaluation and selection: Hybrid SERVQUAL–FAHP–TOPSIS model //Processes. – 2022. – Т. 10. – №. 5. – С. 1024.
17. Hamidi S. M. M. et al. A three-stage digital maturity model to assess readiness for blockchain implementation in the maritime logistics industry //Journal of Industrial Information Integration. – 2024. – Т. 41.
18. Yang M. et al. Supply chain risk management with machine learning technology: A literature review and future research directions //Computers & Industrial Engineering. – 2023. – Т. 175.
19. Братусь, Н. В., Рачков А.В. Формальные модели информационной определенности и неопределенности в информационном поле // Образовательные ресурсы и технологии. – 2025. – № 2(51). – С. 85-92.

DIGITAL LOGISTICS RISKS

Tsvetkov V. Ya.¹

¹ Russian University of Transport.

Abstract: this article explores the risks arising in logistics chains in the modern context of transport digitalization and the emergence of a digital environment. The concepts of "risk level," "logistics situation," and "risk situation" are introduced. The content of these concepts is revealed. An analysis of the development and state of the digital environment in relation to logistics risks is provided. The influence of the digital environment on logistics risks is demonstrated. The concept of "digital logistics risks" is introduced and developed. The types of digital risks in logistics are described. The features of risk management policies are described. The differences in supply chain risk management using reactive and proactive approaches are demonstrated. The importance of machine learning as a risk management method is noted. A taxonomy of the causes of digital logistics risks is provided.

Keywords: risk, digital logistics risks, risk level, risk situation, risk level assessment of a situation.

© Tsvetkov V. Ya.

Received 11.10.2025, approved 12.12.2025, accepted for publication 12.12.2025.

For citation:

Tsvetkov V. Ya., Digital logistics risks. Logistics and Supply Chain Management. 2025. Vol 22, Iss 4 (117). pp. 15-23.

Information about the authors:

Tsvetkov V. Ya. — Doctor of Technical Sciences, Professor. Deputy Director of the Law Institute for Research. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Russian University of Transport (RUT MIIT), e-mail: cvj7@mail.ru.

References

1. Hwang T., Youn I. H. Collision Risk Situation Clustering to Design Collision Avoidance Algorithms for Maritime Autonomous Surface Ships //Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – No. 10. – p. 1381.
2. Zhang W. et al. Towards a Convolutional Neural Network model for classifying regional ship collision risk levels for waterway risk analysis //Reliability Engineering & System Safety. – 2020. – Vol. 204. – p. 107127.
3. Chiarella M. L. Digital markets act (DMA) and digital services act (DSA): New rules for the EU digital environment //Athens JL. – 2023. – Vol. 9. – p. 33
4. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Shaping Europe's digital future, 19 February 2020, COM (2020) 67 final.
5. Afzal J. Best Practice of Digital Laws and Digital Justice //Implementation of Digital Law as a Legal Tool in the Current Digital Era. – Singapore : Springer Nature Singapore, 2024. – pp. 95-120.
6. Gorodov O. A. Digital law as a sub-branch of information law //Law and the digital economy. – 2021. – Vol. 1. – pp. 36-43.
7. Luo Y. A general framework of digitization risks in international business //Journal of international business studies. – 2021. – Vol. 53. – No. 2. – p. 344.
8. Levin B.A., Tsvetkov V.Ya. Digital railway: principles and technologies // The world of transport. - 2018. - T. 16. - №3 (76). - pp. 50-61.
9. Steele H., Roberts C. Towards a sustainable digital railway //Sustainable Railway Engineering and Operations. – Emerald Publishing Limited, 2022. – pp. 239-263.
10. Nesterov E.A., Tsvetkov V.Ya. Information and communication risks of digital development // Transport law and security. 2023. No. 2 (46). pp. 58-65.
11. Schroeder M., Lodemann S. A systematic investigation of the integration of machine learning into supply chain risk management //Logistics. – 2021. – Vol. 5. – No. 3. – p. 62.
12. Gospodinov, S. G. Features of information cascade modeling of the communication environment // Educational resources and technologies. – 2023. – № 4(45). – Pp. 62-69.
13. Tsvetkov V.Ya. Information cascading in transportation management. // Logistics and management of transport systems. - 2023. - Vol. 20, No. 3 (108). - pp. 13-22.
14. Bekzhanova S.E., Mashanlo A., Yusupov A. Innovative approaches to logistics risk management in the Republic of Kazakhstan // Logistics and supply chain management. - 2023. - Vol. 20, No. 4 (109). - pp. 66-76.
15. Gan Q. A logistics distribution route optimization model based on hybrid intelligent algorithm and its application //Annals of Operations Research. – 2022. – pp. 1-13.
16. Luyen L. A., Thanh N. V. Logistics service provider evaluation and selection: Hybrid SERVQUAL–FAHP–TOPSIS model //Processes. – 2022. – Vol. 10. – No. 5. – pp. 1024.
17. Hamidi S. M. M. et al. A three-stage digital maturity model to assess readiness for blockchain implementation in the maritime logistics industry //Journal of Industrial Information Integration. – 2024. – Vol. 41.
18. Yang M. et al. Supply chain risk management with machine learning technology: A literature review and future research directions //Computers & Industrial Engineering. – 2023. – Vol. 175.
19. Bratus, N. V., Rachkov A.V. Formal models of information certainty and uncertainty in the information field // Educational resources and technologies. – 2025. – № 2(51). – Pp. 85-92.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКОЙ: МЕТРИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ
Чернышев Н.В.¹

¹ Российский университет транспорта

Аннотация: настоящая статья посвящена исследованию метрик эффективности и критериев оценки интеллектуальных систем управления транспортной логистикой в условиях цифровой трансформации. Рассматривается эволюция показателей производительности логистических операций от традиционных к комплексным многофакторным индикаторам. Анализируется трехуровневая система КРІ для интеллектуальных транспортных систем, включающая уровни развертывания, операционной эффективности и результатов. Особое внимание уделяется методологическим подходам к оценке влияния цифровых технологий и инструментам мониторинга качества логистических услуг в реальном времени. Выявляется необходимость разработки унифицированной методики для преодоления методологических пробелов и формирования отраслевых стандартов оценки.

Ключевые слова: транспортная логистика, интеллектуальные системы управления, метрики эффективности, ключевые показатели эффективности (КРІ), цифровая трансформация, искусственный интеллект, критерии оценки, интеллектуальные транспортные системы (ИТС).

© Чернышев Н.В.

Поступила 17.11.2025, одобрена после рецензирования 12.12.2025, принята к публикации 12.12.2025.

Для цитирования:

Чернышев Н.В. Интеллектуальное управление транспортной логистикой: метрики эффективности и критерии оценки в эпоху цифровой трансформации // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №4 (117). - С. 24–39.

Информация об авторах:

Чернышев Н.В. — аспирант кафедры: "Логистика и управление транспортными системами", ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), e-mail: 1079385@edu.rut-miit.ru.

Современный этап развития мировой экономики, характеризующийся процессами глобализации и стремительной цифровой трансформацией, предъявляет принципиально новые требования к управлению цепями поставок. Ключевым элементом, обеспечивающим их гибкость, устойчивость и конкурентоспособность, является транспортная логистика. В условиях роста объемов грузоперевозок, усложнения маршрутов и повышенных ожиданий клиентов в отношении скорости и прозрачности доставки, традиционные подходы к управлению транспортными потоками демонстрируют свою ограниченность. Ответом на эти вызовы становится внедрение интеллектуальных систем управления, основанных на использовании передовых цифровых технологий, таких как интернет вещей (IoT), большие данные (Big Data), искусственный интеллект (AI) и распределенные реестры (Blockchain).

Актуальность темы исследования обусловлена потребностью в разработке и внедрении инструментов для измерения эффективности этих сложных, динамичных и зачастую самообучающихся систем, включая интеллектуальные алгоритмы маршрутизации, которые играют ключевую роль в оптимизации транспортных потоков. Существующие методики оценки, ориентированные на статичные и детерминированные процессы, зачастую не способны в полной мере отразить синергети-

ческий эффект от цифровизации, оценить качество принятия решений в режиме реального времени и измерить влияние интеллектуальных функций на конечные бизнес-результаты. Таким образом, возникает научная проблема, заключающаяся в отсутствии комплексного методологического подхода к формированию системы метрик и критериев, оценивающих эффективность интеллектуального управления транспортной логистикой в новых условиях.

Объектом статьи является система управления транспортной логистикой в условиях цифровой трансформации, включающая комплекс организационно-технических и информационных процессов, направленных на оптимизацию доставки грузов, управление транспортными потоками и координацию логистических операций в условиях применения передовых цифровых технологий.

Предметом статьи выступают метрики эффективности и критерии оценки интеллектуальных систем управления транспортной логистикой в современном мире.

Целью статьи является систематизация и анализ существующих метрик и критериев оценки эффективности интеллектуальных систем управления транспортной логистикой для выявления ключевых тенденций, методологических пробелов и перспективных направлений их развития.

ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В СИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В контексте интеллектуального управления транспортной логистикой показатели производительности операций претерпевают существенную трансформацию, эволюционируя от простых измерителей объема к комплексным, многофакторным индикаторам, отражающим эффективность использования всех видов ресурсов в условиях цифровой экосистемы. Как справедливо отмечает А.В. Плотникова, производительность определяется "объемами логистической работы или услуг, выполненными техническими средствами, технологическим оборудованием, а также персоналом, задействованными в логистиче-

ской системе, в некоторую единицу времени, либо удельными расходами ресурсов" [13].

В эпоху цифровой трансформации система показателей производительности логистических операций приобретает многомерный характер, интегрируя традиционные метрики с инновационными подходами к оценке эффективности.

Операционная производительность трансформируется под влиянием технологий Industry 4.0. Если традиционно она измерялась через "количество обработанных заказов в единицу времени" или "грузовые отправки на единицу складской мощности", то в интел-

лектуальных системах ключевыми становятся:

- коэффициент использования мощности: отношение фактической мощности к проектной;
- пропускная способность логистических узлов с учетом динамической оптимизации потоков и применения интеллектуальных алгоритмов маршрутизации;
- время цикла обработки заказа с момента поступления до отгрузки.

Производительность активов в цифровой среде включает:

- оборачиваемость логистических активов = Чистая выручка от продаж / Средняя стоимость логистических активов;
- коэффициент использования складских мощностей = Фактический объем хранимых запасов / Полезная площадь склада × Высота стеллажной зоны;
- грузооборот склада = (Объем принятых ТМЦ + Объем отгруженных ТМЦ) за период [7].

Как отмечают К.С. Кривякин и Н.Н. Макаров, производительность логистической системы должна оцениваться в комплексе с другими ключевыми показателями эффективности, образуя целостную систему оценки.

Взаимосвязь с общими логистическими издержками проявляется через:

- удельные затраты на обработку = Суммарные логистические затраты / Грузооборот склада;
- долю логистических расходов в структуре общих затрат предприятия;

– логистические издержки на единицу товарооборота.

Синергия с качеством логистического сервиса демонстрируется через:

- производительность при гарантированном соблюдении стандартов качества;
- соотношение "производительность-надежность" выполнения заказов;
- показатели гибкости логистической системы при изменяющихся требованиях клиентов [8].

Метрики для различных типов логистических структур. Анализ исследований А.И. Горбачевой показывает дифференциацию показателей производительности для различных типов логистических систем:

Для маркетплейсов и крупных распределительных центров:

- рентабельность инвестиций в логистическую инфраструктуру;
- оборачиваемость товаров = Реализованная продукция / Средняя сумма товаров за период;
- продолжительность одного оборота запасов.

Для систем с совместным использованием логистических ресурсов:

- рентабельность каналов сбыта = Валовая прибыль / Суммарные расходы на реализацию;
- эффективность использования арендованных мощностей;
- показатели дополнительных услуг и их вклад в общую производительность [2].

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ

В соответствии с методикой, предложенной Кривякиным К.С. и др., оценка производительности должна осуществляться через систему взаимосвязанных показателей:

1. Абсолютные показатели производительности:

- грузооборот склада (тонн/месяц);
- количество обработанных заказов на одного работника;
- объем логистических операций на единицу времени.

2. Относительные показатели эффективности:

- удельная трудоемкость = Грузооборот склада / Количество рабочих;
- производительность труда в логистических подразделениях;
- фондоотдача логистических активов.

3. Интегральные показатели:

- индекс развития логистической инфраструктуры;
- уровень логистической конкурентоспособности;

- окупаемость логистических затрат.

В эпоху цифровой трансформации традиционные показатели производительности обогащаются за счет внедрения технологий искусственного интеллекта, интернета вещей и предиктивной аналитики. Это позволяет перейти от оценки экстенсивных факторов производительности к анализу интенсивных факторов, связанных с оптимизацией бизнес-процессов, снижением транзакционных издержек и повышением гибкости логистической системы.

СИСТЕМЫ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ (KPI) ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В контексте цифровой трансформации транспортной логистики системы ключевых показателей эффективности (KPI) для интеллектуальных транспортных систем (ИТС) претерпевают существенную эволюцию, трансформируясь от традиционных метрик к комплексным многоуровневым системам оценки. Как справедливо отмечает Ю. О. Полтавская, ИТС "играют фундаментальную роль в уменьшении заторов, количества дорожно-транспортных происшествий и повышении безопасности дорожного движения" [14], что требует разработки адекватных показателей для оценки их эффективности.

На основе анализа современных исследований можно выделить трехуровневую систему показателей для оценки ИТС:

Уровень развертывания включает показатели, характеризующие масштаб внедрения интеллектуальных технологий:

- протяженность и процент дорожной сети, охваченной системами обнаружения инцидентов и управления ими (R3);
- длина и процент дорожной сети с автоматическим определением скорости (R6);
- охват сетей ТЕН-Т сервисами реального времени и безопасности дорожного движения (S11).

Уровень операционной эффективности объединяет показатели, предложенные различными исследователями:

- техническая эффективность — автоматический контроль расхода топлива, отслежи-

Таким образом, современные показатели производительности логистических операций представляют собой динамическую систему взаимосвязанных метрик, сбор и анализ которых осуществляется в режиме реального времени с помощью технологий Big Data и IoT, что позволяет перейти от констатации фактов к проактивному управлению и непрерывной оптимизации всех звеньев логистической цепи.

вание пробега до ТО, использование ИТС для повышения средней скорости;

- технико-эксплуатационная эффективность — системы автоматического подсчета пассажиропотока, расчета планового прибытия, электронной оплаты проезда;

- организационно-техническая эффективность — электронный документооборот, системы планирования расписания и маршрутов, оптимизация маршрутов движения.

Уровень результатов отражает конечный эффект от внедрения ИТС:

- изменение времени поездки в пиковый период на маршрутах с внедренными ИТС (N1);
- изменение трафика в пиковый период (N2);
- изменение вариабельности времени в пути (N4);
- изменение количества зарегистрированных аварий (S1).

Согласно исследованию, представленному в источнике, оценка эффективности систем управления перекрестками в интеллектуальных транспортных системах осуществляется через систему специализированных показателей, включая среднее время проезда автомобилей по перекрестку (минимальное значение 54,66 секунд при оптимальных параметрах светофоров $TL1=50$ сек. и $TL2=20$ сек.), среднее количество автомобилей на перекрестке (26-28 автомобилей при заданных условиях), интенсивность трафика (2640 авт./ч для на-

правления Восток-Запад) и параметры работы светофоров (TL1, TL2, TL3) [9].

Согласно методологии, рассматриваемой в современных научных работах, для комплексной оценки эффективности внедрения интеллектуальных технологий предлагается интегральный критерий на основе средневзвешенного показателя:

$$N = A_x \times B_y \times C_2 \times D_n,$$

где:

– A_x — комплексный критерий технической эффективности;

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ АЛГОРИТМЫ МАРШРУТИЗАЦИИ, КАК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Как показывают исследования Багиновой В.В. и Кузьмина Д.В., при разработке имитационных моделей технологической работы железнодорожного транспорта используются различные алгоритмы выбора пути, включая вероятностные методы с равномерным распределением:

$$P(x) = \frac{1}{n}$$

где:

– $P(x)$ — вероятность выбора пути
– n — количество возможных альтернативных путей
– $a \in (... , -2, -1, 0, 1, 2, ...)$, $b \in (... , -2, -1, 0, 1, 2, ...)$ — границы интервала
– $n = b - a + 1$ — количество равновероятных исходов [1]

Согласно исследованиям в области транспортных систем и логистики, эффективность алгоритмов маршрутизации оценивается через систему стандартизированных метрик:

1. Временные показатели эффективности:

Коэффициент своевременности доставки:

$$K_{\text{своевр}} = \frac{N_{\text{вовремя}}}{N_{\text{общ}}} \times 100\%$$

где: $N_{\text{вовремя}}$ — количество доставок в срок, $N_{\text{общ}}$ — общее количество доставок.

Среднее время выполнения маршрута:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

где: t_i — время выполнения i -го маршрута, n — количество маршрутов.

Надежность времени доставки:

– B_y — комплексный критерий технико-эксплуатационной эффективности;

– C_2 — комплексный критерий организационно-технической эффективности;

– D_n — комплексный критерий экологической устойчивости.

Такой подход позволяет учесть множество различных факторов, включая технические возможности, экономическую эффективность и влияние на окружающую среду [15].

$$H_{\text{врем}} = 1 - \frac{\sigma_t}{\mu_t}$$

где: σ_t — стандартное отклонение времени маршрута, μ_t — среднее время маршрута.

2. Экономические показатели:

Общие транспортные затраты:

$$Z_{\text{транс}} = \sum_{i=1}^m (Z_{\text{пост},i} + Z_{\text{перем},i} \times D_i)$$

где: $Z_{\text{пост},i}$ — постоянные затраты для маршрута i , $Z_{\text{перем},i}$ — переменные затраты на км, D_i — расстояние маршрута i .

Эффективность расхода топлива:

$$\Theta_{\text{топл}} = \frac{\sum_{j=1}^k D_j}{\sum_{j=1}^k F_j}$$

где: D_j — пройденное расстояние транспортным средством j , F_j — потребленное топливо.

3. Операционные показатели:

Коэффициент использования транспортных средств:

$$K_{\text{исп}} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{\text{раб},j}}{\sum_{j=1}^m t_{\text{общ},j}} \times 100\%$$

где: $t_{\text{раб},j}$ — рабочее время транспортного средства j , $t_{\text{общ},j}$ — общее время.

Использование вместимости:

$$I_{\text{вмест}} = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{\text{факт},j}}{\sum_{j=1}^m Q_{\text{макс},j}} \times 100\%$$

где $Q_{\text{факт},j}$ — фактическая загрузка транспортного средства j , $Q_{\text{макс},j}$ — максимальная вместимость.

Процент холостого пробега:

$$P_{\text{хол}} = \frac{\sum_{j=1}^m D_{\text{хол},j}}{\sum_{j=1}^m D_{\text{общ},j}} \times 100\%$$

где: $D_{хол,j}$ — пробег без груза транспортным средством j , $D_{общ,j}$ — общий пробег.

4. Качественные показатели:

Индекс удовлетворенности клиентов:

$$И_{уд} = \frac{\sum_{k=1}^p O_k}{p \times O_{\max}} \times 100\%$$

где: O_k — оценка удовлетворенности клиента k , p — количество клиентов, O_{\max} — максимальная оценка.

Надежность обслуживания:

$$H_{обсл} = 1 - \frac{N_{сбоев}}{N_{план}}$$

где: $N_{сбоев}$ — количество сбоев в обслуживании, $N_{план}$ — плановое количество услуг.

5. Техничко-эксплуатационные показатели:

Протяженность транспортной сети:

$$L_{сеть} = \sum_{i=1}^n l_i$$

Плотность транспортной сети:

$$П_{сеть} = L_{сеть} \cdot S_{терр} \quad П_{сеть} = L_{сеть} \cdot S_{терр}$$

где: $S_{терр}$ — площадь обслуживаемой территории.

Интенсивность движения:

$$I_{движ} = \sum j = \frac{1}{T_{набл}} \sum_{j=1}^m D_j \cdot T_{набл} = \frac{\sum_{j=1}^m D_j}{T_{набл}} = \frac{1}{T_{набл}} \sum j = \frac{1}{T_{набл}} \sum D_j$$

где: $T_{набл}$ — время наблюдения.

Интегральные показатели эффективности

Согласно методологии, предложенной по оценке транспортных систем, интегральная

оценка эффективности может быть представлена как взвешенная сумма ключевых показателей:

Общая эффективность маршрутизации (ОЭМ):

$$ОЭМ = w_1 \cdot K_{своер} + w_2 \cdot \left(1 - \frac{z_{\max}}{z_{\min}}\right) + w_3 \cdot K_{исп} + w_4 \cdot И_{уд}$$

где $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ — весовые коэффициенты, определяемые приоритетами предприятия [4].

Многоцелевой показатель эффективности:

$$МЦП = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Pi_i - \Pi_{i,\min}}{\Pi_{i,\max} - \Pi_{i,\min}}$$

где Π_i — значение i -го показателя, $\Pi_{(i,\min)}$ и $\Pi_{(i,\max)}$ — минимальное и максимальное значения в бенчмарке

Алгоритмы маршрутизации включают:

Тернарный оператор для выбора из двух возможных вариантов с простой приоритетностью

Случайный выбор с использованием равномерного вероятностного распределения

Направленный перебор массива путей с последовательной проверкой занятости

Алгоритмы с разделением по специализации путей (четные/нечетные, пригородные/дальние сообщения)

Применение данных алгоритмов позволяет избежать гипертрофии архитектуры диаграммы процесса, сделать модель понятной и масштабируемой, что непосредственно влияет на показатели эффективности работы интеллектуальных транспортных систем.

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА И МОНИТОРИНГА КРІ

Для эффективного использования КРІ в оценке ИТС необходима четкая методология, включающая:

- определение целей и стандартов для каждого показателя с учетом бизнес-модели и стратегии компании;
- регулярный сбор данных с использованием современных TMS-систем и платформ мониторинга;
- статистическую валидацию показателей через t -критерий и коэффициент α -Кронбаха, как продемонстрировано в исследовании Ю. О. Полтавской [14].

В современных условиях особое значение приобретает использование специализированных инструментов имитационного моделирования, таких как Anylogic. Исследования показывают, что применение дискретно-событийных моделей для анализа работы алгоритмов маршрутизации позволяет оценить такие показатели, как:

- время простоя подвижного состава;
- задержки в выполнении операций;
- пропускную способность станций/участков;

- использование путевой инфраструктуры;
- эффективность использования ресурсов;
- качество маршрутов.

Внедрение системы KPI для интеллектуальных транспортных систем требует учета отраслевой специфики и технологического уровня развития. Ключевыми аспектами являются:

- автоматизация сбора данных через IoT-устройства, телематические системы и датчики дорожной инфраструктуры;
- интеграция с системами управления транспортом (TMS), складскими комплексами (WMS) и CRM-системами;
- использование технологий Big Data для прогнозной аналитики и предиктивного управления;
- внедрение систем бизнес-аналитики (BI) для визуализации и анализа показателей в реальном времени.

Разработанная система ключевых показателей эффективности для интеллектуальных транспортных систем представляет собой динамический инструмент управления, позволяющий не только оценивать текущее состояние транспортной инфраструктуры, но и прогнозировать развитие транспортных систем в условиях цифровой трансформации. Комплексный подход к оценке, учитывающий как количественные, так и качественные показатели, обеспечивает полноценное управление эффективностью интеллектуальных транспортных систем на всех уровнях — от операционного до стратегического.

Современная методология оценки базируется на системном подходе, рассматривающем цифровую трансформацию как многомерный процесс, воздействующий на все элементы логистической системы. Согласно современным исследованиям, эффективность логистической деятельности определяется "соотношением между достигнутым результатом (эффектом от применения логистического подхода) и используемыми ресурсами (логистическими затратами)". В цифровом контексте это соотношение усложняется за счет учета цифровых активов.

Интегральный критериальный подход, предложенный Р. Н. Сафиуллиным, основан на применении средневзвешенного показателя, учитывающего технические, экономические и экологические аспекты. Данный подход позволяет оценивать эффективность внедрения интеллектуальных технологий через систему взаимосвязанных критериев:

$N = A_x \times B_y \times C_z \times D_n$, где компоненты представляют комплексные критерии технической, технико-эксплуатационной, организационно-технической эффективности и экологической устойчивости.

Системно-динамический подход учитывает временной фактор и цикличность цифровой трансформации. Он включает анализ лагов внедрения технологий и их отдачи, оценку кумулятивного эффекта от синергии технологий, моделирование адаптационных процессов в логистических системах.

Факторно-результативный подход базируется на выделении ключевых элементов цифровизации и их влияния на результирующие показатели. Согласно исследованиям, данный подход предполагает выделение показателей развертывания и показателей преимуществ, что позволяет отдельно оценивать масштаб внедрения технологий и их фактическую эффективность.

Эконометрическое моделирование применяется для установления количественных зависимостей между уровнем цифровизации и ключевыми показателями эффективности логистики, включая влияние алгоритмов маршрутизации на производительность транспортных систем. Используются:

- многофакторные регрессионные модели;
- анализ временных рядов с учетом структурных изменений;
- панельный анализ для сравнения эффективности в различных сегментах логистики.

Стохастический анализ эффективности (Stochastic Frontier Analysis) позволяет оценить техническую эффективность логистических систем с учетом случайных факторов и определить "цифровой разрыв" между пред-

приятными с различным уровнем технологического развития.

Метод анализа среды функционирования (Data Envelopment Analysis) применяется для сравнительной оценки эффективности логистических систем с внедренными цифровыми технологиями, учитывая множественные входы и выходы цифровых преобразований.

Экспертные методы играют важную роль в оценке качественных аспектов цифровой трансформации. Как отмечается в исследованиях, "количество таких показателей должно быть ограниченной и составлять до 30% от их общего количества", что позволяет уменьшить уровень субъективности при оценивании. Используются:

- метод Дельфи для консенсусной оценки перспективных технологий;
- аналитический иерархический процесс для определения приоритетов цифровизации;

КРИТЕРИИ И ИНСТРУМЕНТЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Эффективный мониторинг качества логистических услуг в реальном времени представляет собой не набор разрозненных метрик, а целостную систему, построенную на интеграции процессов, данных и технологий. Его цель — не просто фиксация отклонений, а проактивное управление цепями поставок для достижения максимальной удовлетворенности клиента при оптимизации затрат. Эта система базируется на трех столпах: принципах управления качеством, ключевых показателях эффективности (KPI) и современных информационно-аналитических инструментах.

В основе системы мониторинга лежат принципы, заимствованные из всеобщего управления качеством (TQM) и стандартов ИСО 9000, которые адаптируются к специфике логистики.

Ориентация на потребителя и принятие решений на основе свидетельств (данных). Это краеугольный камень. Качество логистической услуги определяется ее способностью не просто соответствовать договору, но и превосходить ожидания клиента. Мониторинг должен в реальном времени отслеживать именно те параметры, которые критичны для

– сценарное планирование развития цифровой логистики [8]

Также разрабатываются комплексные методики, включающие, индекс цифровой зрелости логистических процессов, коэффициент цифровой эффективности, показатель возврата на цифровые инвестиции (RODI - Return on Digital Investment), интегральный показатель технологической конкурентоспособности [11].

Таким образом, современные методологические подходы к оценке влияния цифровых технологий на эффективность логистических процессов характеризуются комплексностью, интеграцией количественных и качественных методов, а также ориентацией на учет специфики цифровой трансформации.

заказчика: своевременность, сохранность груза, информированность. Все управленческие решения — от корректировки маршрута до работы с поставщиком — должны приниматься на основе объективных данных, а не интуиции.

Критерии можно сгруппировать в несколько доминирующих блоков, каждый из которых измеряется конкретными показателями.

Временные показатели (Скорость и надежность):

Своевременность оказания услуг / Надежность поставки, например, процент заказов, доставленных в оговоренный временной интервал (окно). Это один из самых значимых критериев для клиентов. Мониторинг осуществляется путем сравнения планового и фактического времени прибытия, включая анализ эффективности применяемых алгоритмов маршрутизации.

Длительность цикла исполнения заказа, то есть общее время от момента получения заказа до момента его доставки клиенту. Включает время обработки заказа, комплектации, погрузки и транспортировки.

Скорость выполнения заказа, время между подтверждением заказа и его отгрузкой со склада.

Качество операционного исполнения (Точность и сохранность):

Точность выполнения заказа, а именно полнота и безошибочность заказа (нужный товар, в нужном количестве, ассортименте и без повреждений). Показатель «Количество несостоявшихся поставок» или «Уровень рекламаций».

Сохранность доставки грузов — отсутствие потерь, краж, повреждений товара в процессе транспортировки и грузопереработки. Мониторится через акты приемки-передачи и претензии клиентов.

Гибкость логистического сервиса, то есть способность адаптироваться к изменениям со стороны клиента (изменение пункта назначе-

ния, времени, состава заказа) без серьезных нарушений сроков.

Эффективность использования ресурсов (Экономичность): Экономичность поставки / Оптимизация затрат, включая мониторинг общих логистических издержек, затрат на километр пробега, расходов на топливо. Снижение затрат на логистику на 20-30% — прямой результат внедрения систем мониторинга, как показал опыт компаний «ХОТЭЙ» и «Эралог» [3].

Коэффициент использования транспорта, процент полезного пробега от общего. Системы мониторинга позволяют сократить холостой пробег и оптимизировать загрузку. Производительность водителей, например, количество успешно выполненных заказов/остановок за единицу времени.

ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Для отслеживания этих критериев необходима комбинация методологий и технологий.

1. Информационно-аналитический комплекс.

TMS (Transportation Management System) является центральной нервной системой. Позволяет планировать и оптимизировать маршруты, контролировать исполнение заказов, управлять тарифами и проводить план-фактный анализ, включая оценку эффективности алгоритмов маршрутизации. Примеры: «Махотра», «1С:TMS Логистик», «Умная Логистика Trans».

FMS (Fleet Management System) / Системы спутникового мониторинга (GPS/ГЛОНАСС) обеспечивают видимость транспорта в реальном времени. Позволяют отслеживать местоположение, скорость, расход топлива, соблюдение маршрута, режим работы водителя. Примеры: «Wialon», «Завгар Онлайн», «Шедекс».

ERP, CRM и специализированные логистические платформы интегрируют данные о заказах, клиентах и финансах, создавая единую картину. Платформы типа «Roolz» работают как биржи, обеспечивая мониторинг доступности грузов и транспорта.

2. Технологии сбора данных и автоматизации.

Мобильные приложения для водителей позволяют получать задания, отмечать статусы выполнения (например, «доставлено», «подпись клиента получена»), обмениваться документами в электронном виде и оперативно связываться с диспетчером.

EDI (Электронный обмен данными) стандартизирует и ускоряет обмен документами (заказами, отгрузочными накладными, актами) с клиентами и поставщиками, минимизируя ошибки и задержки.

Датчики IoT на транспорте и грузах (датчики температуры, влажности, удара, вскрытия) в реальном времени передают информацию о состоянии груза, позволяя предотвратить порчу и обеспечить соблюдение условий перевозки.

Системы автоматической идентификации (RFID, штрих-коды) на каждом этапе цепочки поставок позволяют автоматически фиксировать движение товара, обеспечивая полную прослеживаемость и точность данных о запасах.

3. Системы анализа и визуализации. BI-системы (Business Intelligence).

Агрегируют данные из всех источников (TMS, FMS, ERP, CRM, IoT) и представляют их в виде дашбордов, графиков и отчетов для менеджеров. Это позволяет быстро выявлять тренды, узкие места и отклонения.

Системы предиктивной аналитики на основе исторических данных и машинно-

го обучения прогнозируют возможные сбои (например, задержки из-за пробок), позволяя принимать проактивные меры.

Искусственный интеллект для оптимизации маршрутов в реальном времени, учитывает текущую дорожную обстановку, погодные условия и другие факторы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует, что современная система оценки эффективности интеллектуального управления транспортной логистикой представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных элементов, включающий трансформированные показатели производительности, многоуровневые KPI, интегральные методологии оценки влияния цифровых технологий, включая алгоритмы маршрутизации, и системы мониторинга качества в реальном времени.

Анализ показал, что традиционные показатели производительности логистических операций эволюционируют в сторону комплексных, многофакторных индикаторов, отражающих эффективность использования всех видов ресурсов в условиях цифровой экосистемы. Системы ключевых показателей эффективности для интеллектуальных транспортных систем приобретают трехуровневую структуру, охватывающую уровень развертывания, операционной эффективности и конечных результатов.

Особое значение в контексте цифровой трансформации приобретает разработка и внедрение интеллектуальных алгоритмов маршрутизации, которые играют ключевую роль в оптимизации транспортных потоков. Как показали исследования, применение вероятностных алгоритмов, направленного перебора и специализированных решений позволяет существенно повысить эффективность использования транспортной инфраструктуры, сократить время выполнения маршрутов и снизить эксплуатационные затраты.

Методологические подходы к оценке влияния цифровых технологий характеризуются комплексностью и интеграцией количественных и качественных методов, включая интегральный критериальный подход, систем-

но-динамический анализ, эконометрическое моделирование и экспертные методы. Это позволяет учесть многомерный характер цифровой трансформации и ее влияние на все элементы логистической системы.

Системы мониторинга качества логистических услуг в реальном времени, построенные на интеграции современных информационно-аналитических комплексов, технологий сбора данных и организационных инструментов, обеспечивают переход от реагирования на инциденты к их предотвращению и проактивной оптимизации логистических процессов.

Однако проведенный анализ выявил и существенные методологические пробелы в существующих подходах к оценке эффективности интеллектуального управления транспортной логистикой. Наиболее значимыми из них являются:

1. Фрагментарность существующих систем оценки, ориентированных на отдельные аспекты цифровой трансформации без учета их синергетического эффекта.
2. Отсутствие унифицированных методик для сравнения эффективности различных интеллектуальных систем управления.
3. Недостаточная проработка вопросов оценки качества принятия решений в условиях неопределенности и динамически изменяющейся среды.
4. Ограниченность инструментов для измерения адаптивности и самообучающихся способностей интеллектуальных систем.

Разработка унифицированной методики станет ключевым условием для формирования отраслевых стандартов оценки, создания эффективных систем бенчмаркинга и реализации стратегического управления развитием интеллектуальной транспортной логистики с учетом современных достижений в области

алгоритмов маршрутизации на национальном и международном уровнях.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка методов оценки киберустойчивости интеллектуальных транспортных систем, создание методик для измерения социально-экономи-

ческого эффекта от цифровой трансформации транспортной логистики, а также разработка инструментов для прогнозирования эффективности внедрения перспективных технологий, таких как квантовые вычисления и нейроморфные процессоры, в управление транспортными потоками.

Список источников

1. Багинова, В. В. Применение алгоритмов маршрутизации агента при разработке дискретно-событийных имитационных моделей с использованием инструментов железнодорожной библиотеки Anylogic / В. В. Багинова, Д. В. Кузьмин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2(58). – С. 109-118. – DOI 10.20291/2079-0392-2023-2-109-118. – EDN PZILTM.
2. Бизнес. Образование. Экономика : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Минск, 01–02 апреля 2021 года / Редколлегия: В.В. Манкевич [и др.]. – Минск: Государственное учреждение образования "Институт бизнеса Белорусского государственного университета", 2021. – 742 с. – ISBN 978-985-7214-47-1. – EDN ISFLDD.
3. Как компании оценивают качество логистики с помощью ШЕДЕКС: критерии нашей эффективности. — Текст : электронный // ШЕДЕКС: Программа для планирования маршрутов по ... : [сайт]. — URL: <https://schedex.ru/kriterii-nashei-effektivnosti>.
4. Иванова Любовь Николаевна, Иванов Сергей Евгеньевич Методы оптимизации и алгоритм маршрутизации в транспортной логистике // ЭПИ. 2024. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-i-algoritm-marshrutizatsii-v-transportnoy-logistike> (дата обращения: 13.11.2025).
5. Изюмский, А. А. Интеллектуальные транспортные системы : учебное пособие / А. А. Изюмский, И. С. Сенин, С. В. Коцурба. — Краснодар : КубГТУ, 2024. — 235 с. — ISBN 978-5-8333-1360-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/478295> (дата обращения: 13.11.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Кархова Ирина Юрьевна Применение цифровых технологий в логистике // Российский внешнеэкономический вестник. 2025. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenietsifrovyyh-tehnologiy-v-logistike> (дата обращения: 13.11.2025).
7. Коротева М. М. ВЛИЯНИЕ ИНДУСТРИИ 4.0 НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЙ-УЧАСТНИКОВ ВЭД // Мировая наука. 2025. №2 (95). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-industrii-4-0-na-formirovanie-logisticheskoy-strategii-predpriyatii-uchastnikov-ved> (дата обращения: 13.11.2025).
8. Кривякин К. С., Макаров Н. Н., Полухина А. А. Методика оценки эффективности логистической деятельности предприятия // ЭКОНОМИНФО. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-effektivnosti-logisticheskoy-deyatelnosti-predpriyatiya> (дата обращения: 13.11.2025).
9. Кузьмин, Д. В. Дискретно-событийная имитационная модель работы перекрестка / Д. В. Кузьмин, В. В. Багинова // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 487-497. – DOI 10.47581/2022/Obrazcov.65. – EDN TJOCUB.
10. Кузьмин Д. В., Багинова В. В., Краснобаев Д. А., Мусатов Д. В. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ОПТИМИЗАЦИИ // T-Comm. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-imitatsionnoy-diskretno-sobytiynoy-modeli-transportnoy-infrastruktury-s-ispolzovaniem-instrumentov-optimizatsii> (дата обращения: 13.11.2025).
11. Никитин Владислав Сергеевич ИССЛЕДОВАНИЕ ROI DIGITAL МАРКЕТИНГОВЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКЛАМНОГО БЮДЖЕТА // Практический маркетинг. 2024. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-roi-digital-marketingovykh-kanalov-dlya-optimalnogo-ispolzovaniya-reklamnogo-byudzheta> (дата обращения: 13.11.2025).

12. Оленцевич, В. А. Современное состояние и проблемы развития транспортно-логистической системы России / В. А. Оленцевич, В. В. Горшков, В. С. Брытков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 1(81). – С. 103-112. – DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).103-112. – EDN KHSIAH.

13. Плотникова, А. В. Основные показатели эффективности логистики / А. В. Плотникова // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2019. – № 1-2. – С. 23-25. – EDN TSSMGV.

14. Полтавская, Ю. О. Определение показателей оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем / Ю. О. Полтавская // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2022. – № 19. – С. 130-137. – EDN SRVWLE.

15. Сафиуллин Равиль Нуруллович, Сафиуллин Руслан Равиллович, Парра Ариас Сунильда МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРЕВОЗОЧНЫЙ ПРОЦЕСС ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА // ТТПС. 2024. №1 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskii-podhod-integralnoy-otsenki-effektivnosti-vnedreniya-intellektualnyh-tehnologiy-v-perevozochnyy-protsess> (дата обращения: 13.11.2025).

16. Щербаков, В.В. Интеллектуальные системы управления логистикой и цепочками поставок: монография / В.В. Щербаков, А.В. Щербакова. — СПб.: СПбПУ, 2023. — 384 с. — ISBN 978-5-7422-7851-2. Проверка: РИНЦ, ЭБС СПбПУ.

INTELLIGENT TRANSPORT LOGISTICS MANAGEMENT: PERFORMANCE METRICS AND EVALUATION CRITERIA IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION

Chernyshev N.V.¹

¹ Russian University of Transport.

Abstract: this article is devoted to the study of efficiency metrics and evaluation criteria for intelligent transport logistics management systems in the context of digital transformation. The evolution of performance indicators of logistics operations from traditional to complex multifactorial indicators is considered. A three-tier KPIs system for intelligent transportation systems is analyzed, including levels of deployment, operational efficiency, and results. Special attention is paid to methodological approaches to assessing the impact of digital technologies and tools for monitoring the quality of logistics services in real time. The necessity of developing a unified methodology to overcome methodological gaps and form industry standards of assessment is revealed..

Keywords: transport logistics, intelligent management systems, efficiency metrics, key performance indicators (KPIs), digital transformation, artificial intelligence, evaluation criteria, intelligent transport systems (ITS).

© Chernyshev N.V.

Received 17.11.2025, approved 12.12.2025, accepted for publication 12.12.2025.

For citation:

Chernyshev N.V. Intelligent Transport Logistics Management: performance metrics and evaluation criteria in the era of digital transformation. Logistics and Supply Chain Management. 2025. Vol 22, Iss 4 (117). pp. 24-39.

Information about the authors:

Chernyshev N.V. — department of Logistics and Transport Systems Management, FGAOU VO Russian University of Transport, e-mail: 1079385@edu.rut-miit.ru.

References

1. Baginova, V. V. Application of agent routing algorithms in the development of discrete-event simulation models using the tools of the Anylogic railway library / V. V. Baginova, D. V. Kuzmin // *Bulletin of the Ural State University of Railway Communications*. – 2023. – № 2(58). – Pp. 109-118. – DOI 10.20291/2079-0392-2023-2-109-118. – EDN PZILTM.
2. Business. Education. Economics : Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Minsk, April 01-02, 2021 / Editorial board: V.V. Mankevich [et al.]. – Minsk: State Educational Institution "Institute of Business of the Belarusian State University", 2021. – 742 p. – ISBN 978-985-7214-47-1. – EDN ISFLD.
3. How companies evaluate the quality of logistics using YANDEX: criteria for our effectiveness. — Text : electronic // YANDEX: A program for planning routes along ... : [website]. — URL: <https://schedex.ru/kriterii-nashei-effektivnosti>.
4. Ivanova Lyubov Nikolaevna, Ivanov Sergey Evgenievich Optimization methods and routing algorithm in transport logistics // *EPI*. 2024. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-i-algoritmy-marshrutizatsii-v-transportnoy-logistike> (date of request: 11/13/2025).
5. Izyumsky, A. A. Intelligent transport systems: a textbook / A. A. Izyumsky, I. S. Senin, S. V. Kotsurba. Krasnodar : KubSTU, 2024. 235 p. ISBN 978-5-8333-1360-2. Text : electronic // Lan : electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/478295> (date of request: 11/13/2025). — Access mode: for authorization. users.
6. Karkhova Irina Yurievna Application of digital technologies in logistics // *Russian Foreign Economic Bulletin*. 2025. No. 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tsifrovyyh-tehnologiy-v-logistike> (date of reference: 11/13/2025).
7. Koroteeva M. M. THE INFLUENCE OF INDUSTRY 4.0 ON THE FORMATION OF THE LOGISTICS STRATEGY OF ENTERPRISES PARTICIPATING IN FOREIGN ECONOMIC ACTIVITY // *World Science*. 2025. No. 2 (95). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-industrii-4-0-na-formirovaniye-logisticheskoy-strategii-predpriyatiy-uchastnikov-ved> (date of request: 11/13/2025).
8. Krivyakin K. S., Makarov N. N., Polukhina A. A. Methodology for evaluating the effectiveness of logistics activities of an enterprise. 2018. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-effektivnosti-logisticheskoy-deyatelnosti-predpriyatiya> (date of request: 11/13/2025).
9. Kuzmin, D. V. Discrete event simulation model of the intersection / D. V. Kuzmin, V. V. Baginova // *Academician Vladimir Nikolaevich Obraztsov - the founder of transport science : Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of the University, Moscow, October 22, 2021*. – Moscow: Russian University of Transport, 2021. – pp. 487-497. – DOI 10.47581/2022/Obrazcov.65. – EDN TJOCUB.
10. Kuzmin D. V., Baginova V. V., Krasnobaev D. A., Musatov D. V. DEVELOPMENT OF A SIMULATION DISCRETE-EVENT MODEL OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE USING OPTIMIZATION TOOLS // *T-Comm*. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-imitatsionnoy-diskretno-sobytiynoy-modeli-transportnoy-infrastruktury-s-ispolzovaniem-instrumentov-optimizatsii> (date of request: 11/13/2025).
11. Nikitin, Vladislav Sergeevich, A STUDY OF THE ROI OF DIGITAL MARKETING CHANNELS FOR OPTIMAL USE OF THE ADVERTISING BUDGET // *Practical marketing*. 2024. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-roi-digital-marketingovykh-kanalov-dlya-optimalnogo-ispolzovaniya-reklamnogo-byudzheta> (date of request: 11/13/2025).
12. Olentsevich V. A., Gorshkov V. V., Brytkov V. S. The current state and problems of development of the transport and logistics system of Russia. Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2024. – № 1(81). – Pp. 103-112. – DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).103-112. – EDN KHSIAH.

-
13. Plotnikova, A.V. Basic indicators of logistics efficiency / A.V. Plotnikova // Science of the XXI century: current directions of development. – 2019. – No. 1-2. – pp. 23-25. – EDN TSSMGV.
 14. Poltavskaya, Yu. O. Determination of indicators for evaluating the effectiveness of intelligent transport systems / Yu. O. Poltavskaya // Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University. – 2022. – No. 19. – PP. 130-137. – EDN SRVWLE.
 15. Safiullin Ravil Nurullovich, Safiullin Ruslan Ravilovich, Parra Arias Sunilda METHODOLOGICAL APPROACH TO THE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN THE TRANSPORTATION PROCESS OF PASSENGER TRANSPORT // TTPS. 2024. No. 1 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskiy-podhod-integralnoy-otsenki-effektivnosti-vnedreniya-intellektualnyh-tehnologiy-v-perevozochnyy-protsess> (date of request: 11/13/2025).
 16. Shcherbakov, V.V. Intelligent logistics and supply chain management systems: a monograph / V.V. Shcherbakov, A.V. Shcherbakova. St. Petersburg: SPbPU, 2023. 384 p. ISBN 978-5-7422-7851-2. Verification: RSCI, EBS SPbPU.

ЭЛЕКТРОННЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ ПЛОМБЫ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК

Гришин К.А.¹

¹ ООО «Центр развития цифровых платформ»

Аннотация: электронные навигационные пломбы (далее ЭНП) - многоразовое средство идентификации на основе технологии глобальной навигационной спутниковой системы «ГЛОНАСС». Пломба обеспечивает контроль целостности перевозок по территории Российской Федерации в режиме online. Данные устройства играют ключевую роль в обеспечении контроля над санкционным транзитом через территорию Российской Федерации, гарантируя прозрачность и безопасность перевозок.

Ключевые слова: электронные навигационные пломбы, таможенный контроль, Евразийский экономический союз, транзитные перевозки, нормативное регулирование.

© Гришин К.А.

Поступила 10.11.2025, одобрена после рецензирования 12.12.2025, принята к публикации 12.12.2025.

Для цитирования:

Гришин К.А. Электронные навигационные пломбы в системе контроля грузовых перевозок // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №4 (117). - С. 40–50.

Информация об авторах:

Гришин К.А. — ведущий специалист по логистике, ООО «Центр развития цифровых платформ», e-mail: grishink2002@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

В статье рассматривается цифровая трансформация системы контроля перевозок на основе применения ЭНП. Особое внимание уделено роли данной технологии в обеспечении безопасности транзитных перевозок, в

том числе санкционных товаров. Анализируется нормативно-правовая база, регулирующая использование ЭНП, включая последние документы Союзного государства России и Беларуси.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве цели данного исследования предлагается рассмотреть применения электронных навигационных пломб как ключевого элемента таможенного контроля транзитных перевозок.

Задачей данного исследования является проведение комплексного системного анализа ЭНП как цифровой платформы для

трансформации контроля транзитных перевозок, который включает оценку их технологической архитектуры, правовых основ, организационно-экономической модели внедрения и перспектив интеграции в единое информационное пространство ЕАЭС и Союзного государства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ЭНП представляют собой технологически сложные устройства, обеспечивающие контроль целостности грузов при их перемещении по территории Российской Федерации в режиме реального времени. Принципиальным преимуществом данного устройства является возможность отслеживания местоположения в режиме реального времени, а также состояния электронной навигационной пломбы, которая находится в статусе «Открыто» или «Закрыто». При несанкционированном вскрытии устройства система автоматически генерирует сигнал тревоги, направляемый оператору пломбирования. Встроенные датчики обеспечивают мгновенную регистрацию любых действий, направленных на нарушение целостности пломбы, с последующей передачей соответствующей информации. Данная особенность приобретает особую значимость при организации перевозок товаров, попадающих под действие международных санкционных режимов.

Внедрение электронных навигационных пломб требует не только технологической готовности, но и создания адекватной правовой базы и организационных механизмов. Правовой статус данных, полученных с ЭНП, их допустимость в качестве доказательств в судебных и административных спорах — это важный вопрос. Государственное законодательство должно четко определять, что защищенные и сертифицированным образом

зафиксированные данные с ЭНП, установленной таможенным органом или аккредитованным оператором, являются электронными доказательствами, имеющими равную силу с документальными. Это требует поправок в таможенное, административное и процессуальное законодательство.

Второй блок вопросов касается стандартизации и сертификации. Для обеспечения совместимости, безопасности и надежности должны быть приняты национальные и, желательно, международные технические стандарты на ЭНП. Они должны регламентировать требования к защите от взлома и подмены данных, точности позиционирования, автономности работы, устойчивости к внешним воздействиям, протоколам обмена данными. Устройства должны проходить обязательную процедуру сертификации в уполномоченных органах. Кроме того, необходима аккредитация операторов услуг по установке и мониторингу ЭНП, которые будут выступать посредниками между таможней и бизнесом, гарантируя корректность работы оборудования и нейтральность данных.

Организационная модель может быть различной: от полностью государственной, где таможня покупает, устанавливает и контролирует пломбы, до рыночно-ориентированной, где аккредитованные частные операторы предоставляют услуги на конкурентной основе, а таможня получает доступ к данным через

защищенные интерфейсы. Последняя модель считается более гибкой и эффективной, так как стимулирует инновации и снижает нагрузку на госбюджет. Важным организационным элементом является также обучение персонала таможенных органов, логистических компаний и иных участников перевозки работе с новыми технологиями и интерпретации данных с платформ мониторинга.

Внедрение технологий интеллектуального мониторинга, таких как ЭНП, требует не только технической инфраструктуры, но и создания единого правового поля и четких организационных механизмов. В этом контексте система контроля транзитных перевозок на пространстве ЕАЭС и Союзного государства представляет собой многоуровневую конструкцию, где международные соглашения, решения наднациональных органов и национальное законодательство взаимно дополняют друг друга. Ключевым элементом этой системы является уполномоченный оператор, обеспечивающий техническую реализацию контроля на местах.

Общесоюзной правовой основой для применения ЭНП выступает Соглашение о применении в Евразийском экономическом союзе навигационных пломб для отслеживания перевозок от 19 апреля 2022 года. Этот документ устанавливает общие принципы, цели и рамки для создания единой системы прослеживаемости грузов. Соглашение определяет ключевые понятия, такие как «навигационная пломба», «объект отслеживания» и «национальный оператор», а также закрепляет полномочия Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) по принятию детализирующих решений [1].

Именно на основании этого Соглашения ЕЭК принимает технические регламенты и процедурные документы. Например, Решение Коллегии ЕЭК от 22 августа 2023 г. № 128 «О некоторых вопросах применения навигационных пломб» детально прописывает порядок взаимодействия участников, требования к пломбам и процедуры активации. Таким образом, Соглашение создает унифицированную правовую платформу, позволяющую государствам-членам гармонизировать свои национальные системы контроля.

В развитие общесоюзных норм и для решения конкретных задач защиты внутреннего рынка Россия и Беларусь в рамках Союзного государства приняли два взаимосвязанных документа: Декрет Высшего Государственного Совета Союзного государства от 06.12.2024 № 7 и Постановление Совета Министров Союзного государства от 05.11.2024 № 44. Эти акты ввели обязательное применение ЭНП для широкого перечня товаров, наиболее уязвимых для незаконного импорта и уклонения от уплаты платежей.

Декрет № 7 вступил в силу 27 января 2025 года и сфокусирован на таможенном транзите и взаимной торговле. Он обязывает использовать ЭНП при автомобильных перевозках следующих категорий товаров:

- алкогольная и табачная продукция.
- отдельные товарные группы, включая изделия из натурального меха, одежду, обувь, электронику и аппаратуру для записи и воспроизведения звука и изображения (например, позиции 6101–6106, 6401–6405, 8525–8528 ТН ВЭД ЕАЭС).
- опасные грузы, помещаемые под процедуру таможенного транзита на территории Беларуси [2].

Постановление № 44, также действующее с 27 января 2025 года, распространяет аналогичное требование на перевозки товаров по процедуре экспорта из Союзного государства. Совместное действие этих документов создает «цифровой коридор» контроля на всех этапах перемещения чувствительных товаров: при ввозе, транзите, взаимной торговле и вывозе [3].

Важно подчеркнуть, что Декрет № 7 прямо указывает на применение в его рамках решений ЕЭК, принятых для реализации вышеупомянутого Соглашения. Это обеспечивает правовую преемственность и исключает противоречия между нормами Союзного государства и ЕАЭС.

Для функционирования любой масштабной технологической системы необходим ответственный исполнитель, который обеспечивает ее реализацию и контроль за ней. В Российской Федерации таким ключевым операционным звеном является Общество с огра-

нической ответственностью «Центр развития цифровых платформ» (ООО «ЦРЦП»). Статус и роль этой компании официально закреплены распоряжением Правительства РФ от 18 марта 2023 г. № 633-р, которым она определена в качестве уполномоченного национального оператора пломбирования. Важно отметить, что компания является стопроцентным дочерним предприятием оператора системы «Платон» (ООО «РТИТС»), что обеспечивает глубокую интеграцию с уже существующей общероссийской транспортной телематической инфраструктурой. Основная функция ЦРЦП заключается в оказании на возмездной основе полного цикла услуг по работе с ЭНП: их наложению, активации, непрерывному мониторингу, деактивации и снятию [4].

Для обеспечения бесперебойности и доступности сервиса ООО «ЦРЦП» сформировало разветвленную четырехконтурную сеть обслуживания. Первый, опорный контур включает 30 офисов непосредственно в пунктах пропуска через государственную границу. Второй контур представлен офисами на 150 складах временного хранения, третий – 14 станций АО «РЖД», а четвертый контур состоит из 138 офисов ООО «РТИТС», расположенных во всех регионах России. Такая многоуровневая инфраструктура позволяет перевозчикам получать и активировать пломбы заранее, в том числе удаленно, что минимизирует риски задержек и простоев в критических точках маршрута, прежде всего на границе. Параллельно оператор активно развивает цифровые сервисы, предоставляя клиентам личный кабинет для удобной регистрации перевозок и оплаты услуг, в том числе с использованием современных способов, таких как система быстрых платежей и топливные карты. В качестве национального оператора ЦРЦП также уполномочен на прямое взаимодействие не только с контролирующими органами Российской Федерации, но и с уполномоченными операторами других государств – членов ЕАЭС. Эта функция является прямым следствием логики базового Соглашения ЕАЭС, направленного на создание сквозных трансграничных цепочек контроля, где данные и статусы должны беспрепятственно

передаваться между национальными системами [5].

Таким образом, современная система контроля транзитных перевозок с использованием ЭНП на пространстве ЕАЭС и Союзного государства представляет собой сложный, но стройный симбиоз права, технологии и организации. Если Соглашение ЕАЭС задает общие правила и технические стандарты, а Декрет № 7 и Постановление № 44 Союзного государства выступают в роли адресных правовых инструментов, запускающих систему для защиты конкретных товарных рынков, то именно национальный выступает в роли технического интегратора и поставщика услуг. Он обеспечивает физическое воплощение этих правовых норм в повседневную логистическую практику, связывая цифровые предписания с реальными грузами, транспортными средствами и документами. Такая четырехуровневая модель позволяет эффективно сочетать наднациональную унификацию с национальной спецификой реализации, создавая в итоге основу для прозрачного, эффективного и технологичного контроля за перемещением товаров.

Внедрение системы контроля на основе ЭНП приносит значительные выгоды всем участникам процесса. Для таможенных администраций это, прежде всего, качественный скачок в эффективности контроля. Возможность удаленного мониторинга сотен и тысяч транзитных отправок одновременно с одного центрального пульта радикально повышает охват и избирательность контроля. Ресурсы концентрируются на действительно рискованных поставках, выявленных системой автоматически. Это приводит к повышению уровня собираемости таможенных платежей, снижению объема контрабанды и правонарушений, а также к увеличению пропускной способности таможенной инфраструктуры без расширения штата.

Для участников внешнеэкономической деятельности, осуществляющих транзит, ключевыми преимуществами являются предсказуемость и скорость. Добросовестные перевозчики, использующие ЭНП, получают статус проверенного оператора, что минимизирует

вероятность длительных досмотров и задержек в пути. Ускорение таможенных процедур напрямую влияет на оборачиваемость активов, снижает логистические издержки, связанные с простоями, и повышает надежность цепочек поставок. Кроме того, сама технология дает бизнесу ценный инструмент для внутреннего контроля за своими активами и грузами, повышая управляемость логистики и качество сервиса для конечных клиентов [6].

Для государства в целом эффект заключается в повышении инвестиционной привлекательности страны как транзитного коридора. Создание современной, технологичной, прозрачной и быстрой системы транзита является серьезным конкурентным преимуществом в борьбе за международные грузопотоки. Это способствует развитию транспортной и логистической инфраструктуры, созданию новых рабочих мест и, в конечном счете, росту экономики. Таким образом, инвестиции в создание системы на базе ЭНП носят характер не затрат, а капиталовложений с высокой отдачей.

Внедрение ЭНП представляет собой не просто технологическое обновление процедур контроля, но и фактор, формирующий новую экономику грузоперевозок. Экономическая выгода для перевозчика носит комплексный характер, складываясь из прямого снижения логистических издержек, минимизации финансовых и операционных рисков, а также получения стратегических конкурентных преимуществ. Практические расчеты, основанные на официальных тарифах уполномоченного оператора и отраслевой статистике, демонстрируют значительный потенциал системы для оптимизации затрат. Методологически общая стоимостная оценка использования системы ЭНП для перевозчика выводится из двух ключевых компонентов: прямых расходов на услуги оператора и косвенной экономии, рассчитываемой как стоимость сэкономленного времени, где последняя является произведением сэкономленных часов на среднюю стоимость часа работы транспортного средства, включающую амортизацию, фонд оплаты труда экипажа и накладные расходы.

$$C_3 = P_o - (T_{сэ} \times C_{тч})$$

где:

C_3 – общая стоимость использования информационно-системы ЭНП

P_o – расходы на услуги оператора,

$T_{сэ}$ – время, сэкономленное с помощью упрощения таможенных операций

$C_{тч}$ – средняя стоимость одного часа работы транспортного средства.

Таким образом, формула служит инструментом для определения чистой экономии, где положительный результат явно указывает на финансовую выгоду.

Для наглядности анализа целесообразно рассмотреть типовые сценарии применения технологии. В случае транзита через территорию России, регулируемого отдельными указами, примером может выступать Указ Президента №290, прямые расходы складываются из платы за наложение, снятие пломбы и суточного мониторинга, что в сумме может составлять значительную величину, однако ключевым источником экономии здесь выступает сокращение маршрута на 2–4 суток по сравнению с альтернативными обходными путями. При осуществлении перевозок по Декрету №7 Союзного государства тарифы фиксированы: единый платеж составляет 12 594 рубля для направления из России в Беларусь и 9 858 рублей для обратного направления, при этом основная экономия генерируется за счет ускорения таможенных процедур и снижения риска задержек [7].

Практический расчет для транзитного рейса показывает, что экономия в 72 часа при стоимости часа работы автопоезда в 10 000 рублей дает положительный эффект в 720 000 рублей, который даже после вычета затрат на ЭНП в размере примерно 44 500 рублей оставляет чистую экономию, превышающую 675 500 рублей с одного рейса, что коррелирует с заявлениями оператора о сокращении стоимости рейса до 30%. Аналогично, для регулярных перевозок, например, алкогольной продукции из России в Беларусь, экономия времени на таможенном оформлении в 6 часов при стоимости часа простоя в 5 000 рублей приносит экономию в 30 000 рублей, что более чем в два раза перекрывает фиксированную стоимость пломбирования в 12 594 рубля и дополнительно страхует от рисков администра-

тивных штрафов, варьирующихся в диапазоне от 20 000 до 100 000 рублей [8].

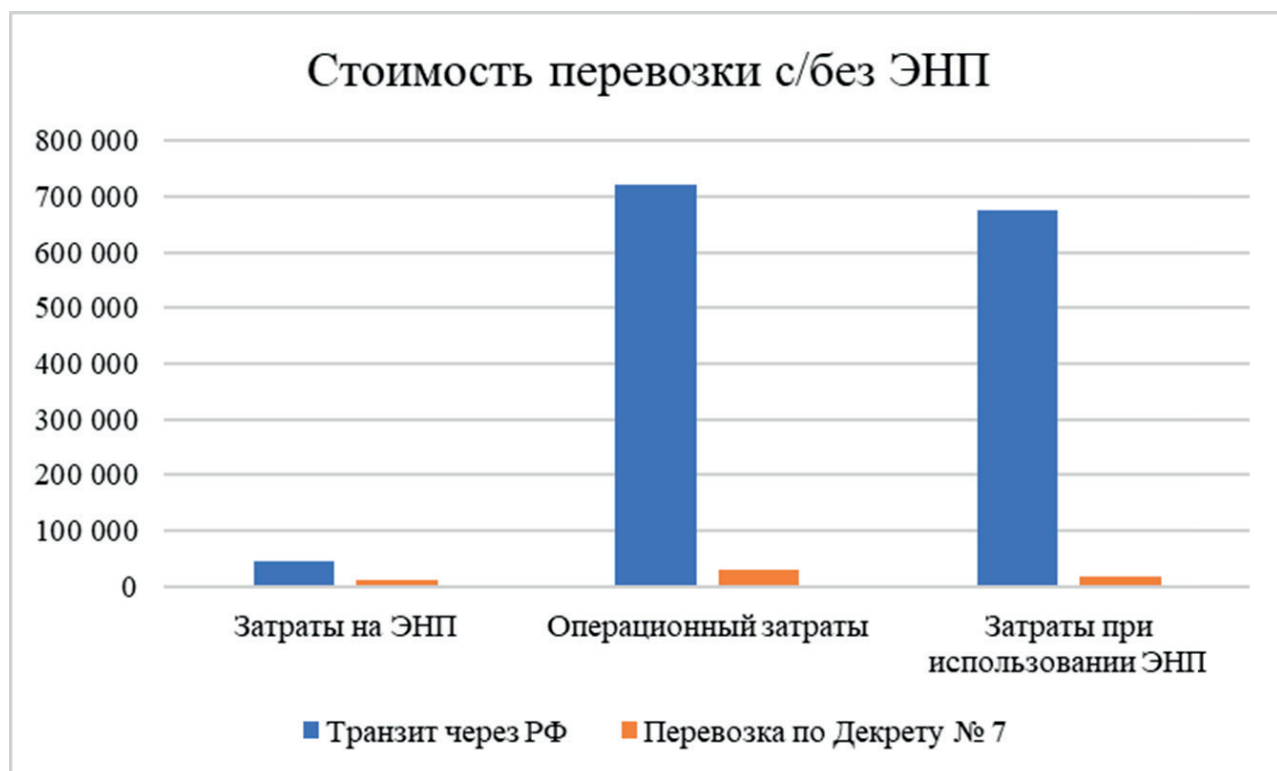


Рисунок 1 — Стоимость перевозки с/без ЭНП.

Консолидированное влияние внедрения ЭНП на логистическую эффективность проявляется на трех уровнях. Во-первых, достигается прямая финансовая экономия за счет сокращения времени в пути и на границе, что непосредственно снижает переменные издержки. Во-вторых, повышается операционная эффективность: предсказуемость сроков позволяет точнее планировать цепочки поставок, увеличивать оборот транспортных средств и повышать общую надежность сервиса, что, по некоторым оценкам, может дать экономию до 50% по сравнению с иными способами мониторинга. В-третьих, происходит существенное снижение рисков, связанных с вероятностью конфискации груза, наложения крупных штрафов и длительных простоев, а также снижаются потенциальные страховые расходы благодаря гарантированной фиксации сохранности груза. В заключение можно утверждать, что внедрение системы электронных навигационных пломб, несмотря на возникновение новых статей операционных расходов, оказывает значительное положительное влияние на экономику перевозок. Проведенные расчеты

на основе актуальных тарифов и отраслевых данных подтверждают, что экономия на прямых логистических издержках, обусловленная сокращением времени доставки и упрощением административных процедур, многократно компенсирует затраты на пломбирование. Для субъектов транспортного рынка это трансформирует ЭНП из инструмента государственного контроля в стратегическую инвестицию, повышающую конкурентоспособность бизнеса через рост скорости, надежности и прозрачности всех звеньев логистической цепочки.

Несмотря на очевидные преимущества, широкомасштабное внедрение ЭНП сталкивается с рядом вызовов. Технологические вызовы связаны с обеспечением бесперебойной связи на всем маршруте, особенно в отдаленных регионах, и с энергопотреблением устройств. Развитие энергоэффективных чипсетов и сетей IoT, а также гибридных моделей сбора данных постепенно решает эти проблемы. Стоимость устройств и сервиса, хотя и имеет тенденцию к снижению, остается барьером для малого бизнеса, что требует разра-

ботки гибких тарифных моделей или государственных программ финансирования.

Кибербезопасность является критическим аспектом. Необходима постоянная работа над криптографической защитой каналов передачи данных и памяти устройств от взлома, подмены или глушения сигнала. Юридические вызовы включают необходимость гармонизации стандартов на международном уровне, особенно в рамках экономических союзов, и выработки четких международных протоколов взаимного признания данных с ЭНП.

Перспективы развития технологии видятся в ее дальнейшей конвергенции с другими цифровыми решениями. Интеграция ЭНП с блокчейн-платформами позволит создавать неизменяемые распределенные реестры тран-

зитных операций, доступные всем уполномоченным сторонам. Использование искусственного интеллекта для анализа больших данных, собираемых флотилиями ЭНП, позволит не только выявлять отклонения в конкретной перевозке, но и прогнозировать риски, оптимизировать логистические маршруты и выявлять сложные схемы правонарушений. Появление «умных контрактов», автоматически исполняемых при выполнении условий транзита (например, подтвержденном прибытии), также может быть связано с данными от ЭНП. Кроме того, ожидается миниатюризация устройств, увеличение срока их автономной работы и расширение спектра отслеживаемых параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение системы электронных навигационных пломб представляет собой значимый шаг в развитии современных технологий таможенного контроля. Как показывает практика, использование ЭНП позволяет существенно повысить уровень безопасности грузоперевозок, особенно в условиях действия международных санкционных режимов. Принятые в последнее время нормативные акты Союзного государства свидетельствуют о дальнейшем совершенствовании данной системы и ее адаптации к текущим вызовам международной торговли.

Технологическая сущность ЭНП, обеспечивающая непрерывный спутниковый мониторинг и контроль целостности груза в реальном времени, стала ключевым драйвером этой трансформации. Она позволяет перейти от эпизодических выборочных проверок к системе постоянного удаленного аудита перевозки, что радикально повышает уровень прозрачности и безопасности. Однако, как показал анализ, успешная реализация этого технологического потенциала оказалась возможной только благодаря формированию многоуровневой правовой базы. Соглашение ЕАЭС от 19 апреля 2022 года создало общую правовую платформу и задало вектор гармонизации стандартов, в то время как Декрет №7 и Постановление №44 Союзного государства

выступили в роли адресных механизмов имплементации, установив обязательность применения ЭНП для чувствительных товарных групп и замкнув «цифровой коридор» контроля на всем пути их перемещения.

Крайне важным элементом системы, обеспечивающим ее практическую работоспособность, стала четко выстроенная организационно-экономическая модель с выделенной ролью национального оператора. На примере ООО «ЦРЦП» видно, как интеграция с существующей транспортной инфраструктурой, разветвленная сеть обслуживания и цифровые сервисы позволяют воплотить нормативные требования в повседневную логистическую практику, минимизируя операционные издержки для перевозчиков. Проведенный экономический анализ доказывает, что возникающие прямые затраты на услуги пломбирования многократно компенсируются достигаемой косвенной экономией. Сокращение времени транзита за счет использования оптимальных маршрутов, ускорение таможенных процедур благодаря статусу проверенного оператора, а также минимизация рисков крупных штрафов и простоев — все это формирует убедительный экономический эффект, трансформирующий ЭНП из затратной статьи в стратегическую инвестицию в надежность и конкурентоспособность бизнеса.

Несмотря на очевидные успехи, система продолжает сталкиваться с вызовами, такими как необходимость обеспечения бесперебойной связи и кибербезопасности, снижения стоимости для малого бизнеса и дальнейшей международной гармонизации стандартов. Перспективы ее развития связаны с глубокой интеграцией с другими цифровыми платформами — блокчейном для создания неизменяемых реестров операций и искусственным интеллектом для прогнозной аналитики и

автоматизации. Таким образом, электронные навигационные пломбы доказали свою эффективность как ядро современной системы контроля, обеспечивающей баланс между интересами государства в защите экономического пространства и потребностями бизнеса в скоростной, предсказуемой и безопасной логистике, что в конечном итоге способствует укреплению транзитного потенциала и инвестиционной привлекательности всего евразийского региона.

Список источников

1. Соглашение о применении в Евразийском экономическом союзе навигационных пломб для отслеживания перевозок – [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01431992/cncg_04112022.
2. Декрет Высшего Государственного Совета Союзного государства от 6 декабря 2024 г. № 7 «О применении навигационных пломб для контроля за перевозками товаров». – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=D24d00007>.
3. Постановление Совета Министров Союзного государства от 5 ноября 2024 г. № 44 «Об утверждении Положения о порядке применения навигационных пломб». – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=D24d00044>.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18 марта 2023 года № 633-р // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://www.alta.ru/tamdoc/23rs0633/>.
5. Официальный сайт ООО «Центр развития цифровых платформ» (ЦРЦП). – [Электронный ресурс]. – URL: <https://crsp.ru/offices/EAEU/>.
6. Официальный сайт Федеральной таможенной службы России (ФТС России). Раздел «Навигационные пломбы». – [Электронный ресурс]. – URL: <https://customs.gov.ru/navigacionnye-plomby>.
7. Тарифы на услуги по пломбированию. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://crsp.ru/tariffs/>.
8. АСМАП: Данные о сравнительной экономической эффективности транзитных маршрутов через территорию РФ – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.asmap.ru/upload/iblock/ea4/>.

ELECTRONIC NAVIGATION SEALS IN THE CARGO TRANSPORTATION CONTROL SYSTEM

Grishin K.A.¹

¹ Digital Platform Development Center LLC

Abstract: electronic navigation seals (hereinafter referred to as ENPS) are a reusable means of identification based on the technology of the global navigation satellite system GLONASS. The seal ensures the control of the integrity of transportation across the territory of the Russian Federation online. These devices play a key role in ensuring control over sanctioned transit through the territory of the Russian Federation, ensuring transparency and safety of transportation.

Keywords: electronic navigation seals, customs control, Eurasian Economic Union, transit transportation, regulatory regulation.

© Grishin K.A.

Received 10.11.2025, approved 12.12.2025, accepted for publication 12.12.2025.

For citation:

Grishin K.A. Electronic navigation seals in the cargo transportation control system. Logistics and Supply Chain Management. 2025. Vol 22, Iss 4 (117). pp. 40-50.

Information about the authors:

Grishin K.A. — leading logistics specialist, Digital platform development center LLC, e-mail: grishink2002@yandex.ru.

References

1. Agreement on the use of navigation seals for tracking shipments in the Eurasian Economic Union – [Electronic resource]. – URL: https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01431992/cncg_04112022.
2. Decree of the Supreme State Council of the Union State No. 7 dated December 6, 2024 "On the use of navigation seals to control the transportation of goods". – [Electronic resource]. – URL: <https://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=D24d00007>.
3. Resolution of the Council of Ministers of the Union State of November 5, 2024 No. 44 "On Approval of the Regulations on the procedure for the use of navigation seals". – [Electronic resource]. – URL: <https://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=D24d000044>.
4. Decree of the Government of the Russian Federation dated March 18, 2023 No. 633-r // Official Internet portal of Legal Information. – URL: <https://www.alta.ru/tamdoc/23rs0633/>.
5. The official website of the Center for the Development of Digital Platforms LLC. – [Electronic resource]. – URL: <https://crdp.ru/offices/EAEU/>.
6. The official website of the Federal Customs Service of Russia (FCS of Russia). Section "Navigation seals". – [Electronic resource]. – URL: <https://customs.gov.ru/navigacionnye-plomby>.
7. Tariffs for sealing services. – [Electronic resource]. – URL: <https://crdp.ru/tariffs/>.
8. ASMAP: Data on the comparative economic efficiency of transit routes through the territory of the Russian Federation – [Electronic resource]. – URL: <https://www.asmap.ru/upload/iblock/ea4/>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ

Кузьмин Д.В.¹, Багинова В.В.¹, Коробовский К.М.¹, Торицын А.М.¹¹ Российский университет транспорта

Аннотация: в статье рассматривается применение среды имитационного моделирования AnyLogic для исследования и оптимизации работы регулируемого перекрестка. Основная цель исследования — разработка и сравнительный анализ двух альтернативных алгоритмов адаптивного светофорного управления. Предлагаемые алгоритмы в режиме реального времени анализируют совокупность показателей транспортного потока (интенсивность, длину очереди, время ожидания) и на этой основе динамически регулируют продолжительность фаз светофорного цикла. Это позволяет провести виртуальные испытания алгоритмов в контролируемых условиях, объективно оценить их эффективность по ключевым метрикам (пропускная способность, среднее время задержки транспорта) и выявить наиболее устойчивый и производительный метод управления для различных сценариев загрузки. Статья представляет интерес для специалистов в области интеллектуальных транспортных систем (ИТС), инженеров организации дорожного движения, а также для исследователей и студентов, занимающихся вопросами моделирования и оптимизации городской мобильности. Результаты исследования могут быть использованы для практического обоснования внедрения адаптивных систем на проблемных перекрестках, дальнейшей разработки и калибровки более сложных алгоритмов управления, создания цифровых двойников транспортных узлов для планирования и принятия решений.

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, автомобильный перекресток, автомобильный поток, транспортная система, оптимизация работы перекрестка.

© Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Коробовский К.М., Торицын А.М.

Поступила 12.11.2025, одобрена после рецензирования 12.12.2025, принята к публикации 24.10.2025.

Для цитирования:

Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Коробовский К.М., Торицын А.М. Моделирование адаптивного светофорного регулирования для оптимизации транспортных потоков на перекрестке // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №4 (117). - С. 51–67.

Информация об авторах:

Кузьмин Д.В., — к.т.н., доцент, доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами», ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ), e-mail: kuzmindv@rut-miit.ru.

Багинова В.В., — д.т.н., профессор, профессор кафедры «Логистика и управление транспортными системами», ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ).

Коробовский К.М., — магистрант кафедры «Логистика и управление транспортными системами», ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ).

Торицин А.М., — магистрант кафедры «Логистика и управление транспортными системами», ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ).

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность работы городской транспортной сети во многом определяется пропускной способностью ее ключевых узлов – регулируемых перекрестков. Традиционные светофоры с жестко фиксированным циклом и длительностью фаз, заданными по усредненным историческим данным, часто оказываются неспособны адаптироваться к стохастической природе транспортного потока. Это приводит к неоптимальному распределению «зеленого» времени, возникновению избыточных задержек, росту очередей и, как следствие, к снижению общего уровня транспортного обслуживания, увеличению выбросов и непроизводительным затратам времени участников движения [1].

Актуальным решением данной проблемы является внедрение адаптивных (интеллектуальных) систем светофорного регулирования. В отличие от статических, такие системы

способны в режиме реального времени анализировать текущую ситуацию на подходах к перекрестку и динамически корректировать логику своей работы, стремясь минимизировать ключевые негативные показатели. Однако разработка, тестирование и сравнение эффективности различных адаптивных алгоритмов в реальных городских условиях сопряжена со значительными организационными и финансовыми рисками. В этой связи имитационное моделирование становится незаменимым инструментом, позволяющим в безопасной виртуальной среде создавать цифровые двойники перекрестков, разрабатывать и всесторонне оценивать различные стратегии управления.

Целью настоящего исследования является разработка и сравнительный анализ двух альтернативных алгоритмов адаптивного светофорного управления с использованием среды имитационного моделирования AnyLogic.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Модель реализована в виде схематичной пространственной разметки без детализации, воспроизводящей реальный объект, поскольку первостепенной задачей исследования является апробация работоспособности и оценка

эффективности предложенных алгоритмов управления. Соответственно, на рисунке 1 представлена условная схема классического четырёхстороннего перекрестка.

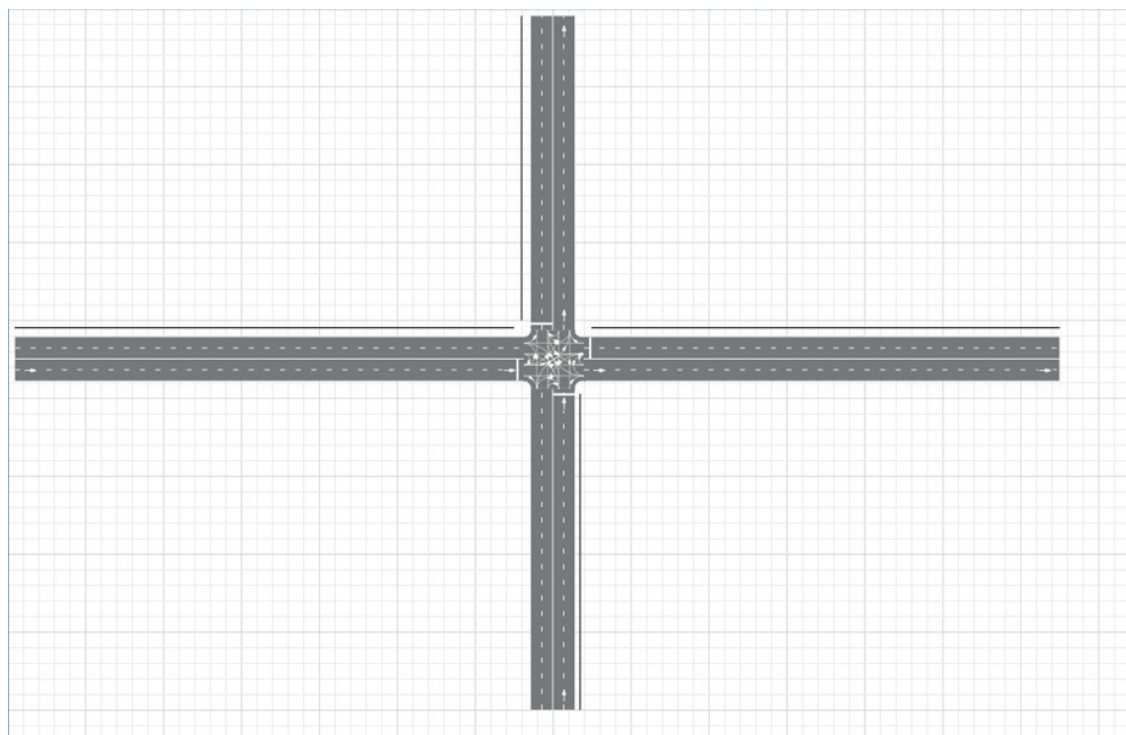


Рисунок 1 — Схема классического четырёхстороннего перекрестка.

Регулирование движения на перекрестке организовано с помощью четырёх светофорных объектов, расположение которых показано на рисунке 2. Работа системы реализуется в рамках двухфазного цикла:

- Фаза 1: Разрешающее движение (зелёный сигнал) предоставляется транспортным

средствам, следующим в вертикальном направлении.

- Фаза 2: Разрешающее движение (зелёный сигнал) предоставляется транспортным средствам, следующим в горизонтальном направлении.

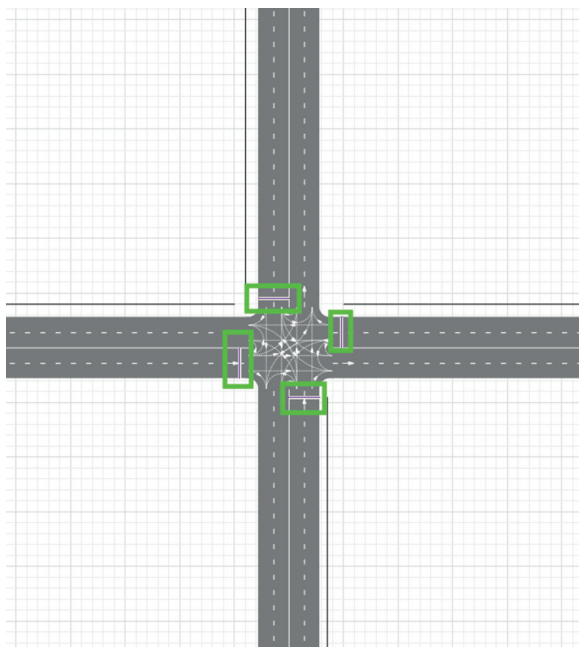


Рисунок 2 — Расположение светофорных объектов на перекрестке.

Модель включает в себя панель управления, предназначенную для настройки интенсивности транспортных потоков, поступающих с четырех направлений (север, юг, запад, восток). Данный инструмент позволяет проводить вычислительные эксперименты и оцени-

вать работоспособность адаптивных алгоритмов светофорного регулирования в широком диапазоне нагрузочных сценариев (рисунок 3), интенсивность потока со всех направлений может принимать значение от 0 до 1000 автомобилей в час.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОТОКА АВТ/Ч.	
ЮГ	<input type="text" value=""/>
Север	<input type="text" value=""/>
Запад	<input type="text" value=""/>
Восток	<input type="text" value=""/>

Рисунок 3 — Вид панели управления интенсивностью потока.

В модель интегрированы элементы информационной визуализации (инфографики), обеспечивающие мониторинг ключевых показателей эффективности. К ним относятся: среднее время проезда перекрестка транспортными средствами и гистограмма распределения этого времени. Данные показатели

позволяют провести сравнительный анализ производительности адаптивных алгоритмов с эталонным случаем — классической системой со статическим светофорным регулированием, где длительность фаз жестко фиксирована и не зависит от текущей интенсивности потока (рисунок 4).

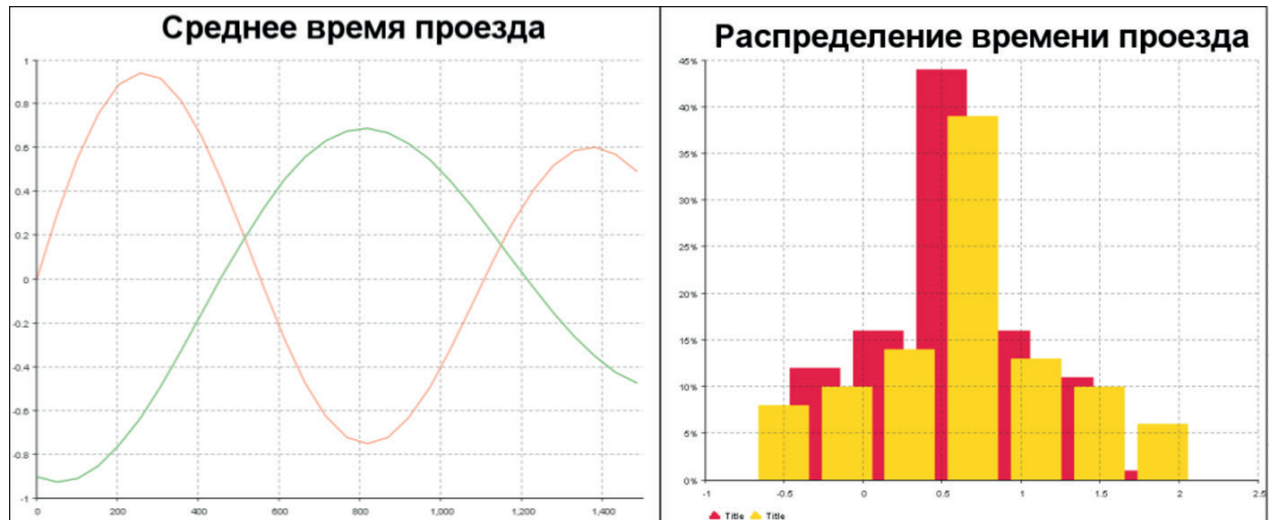


Рисунок 4 — Вид инфографики в модели.

Основу функционирования модели составляет диаграмма процессов, созданная с использованием встроенной автомобильной

библиотеки (Road Traffic Library) среды имитационного моделирования AnyLogic (рисунок 5).

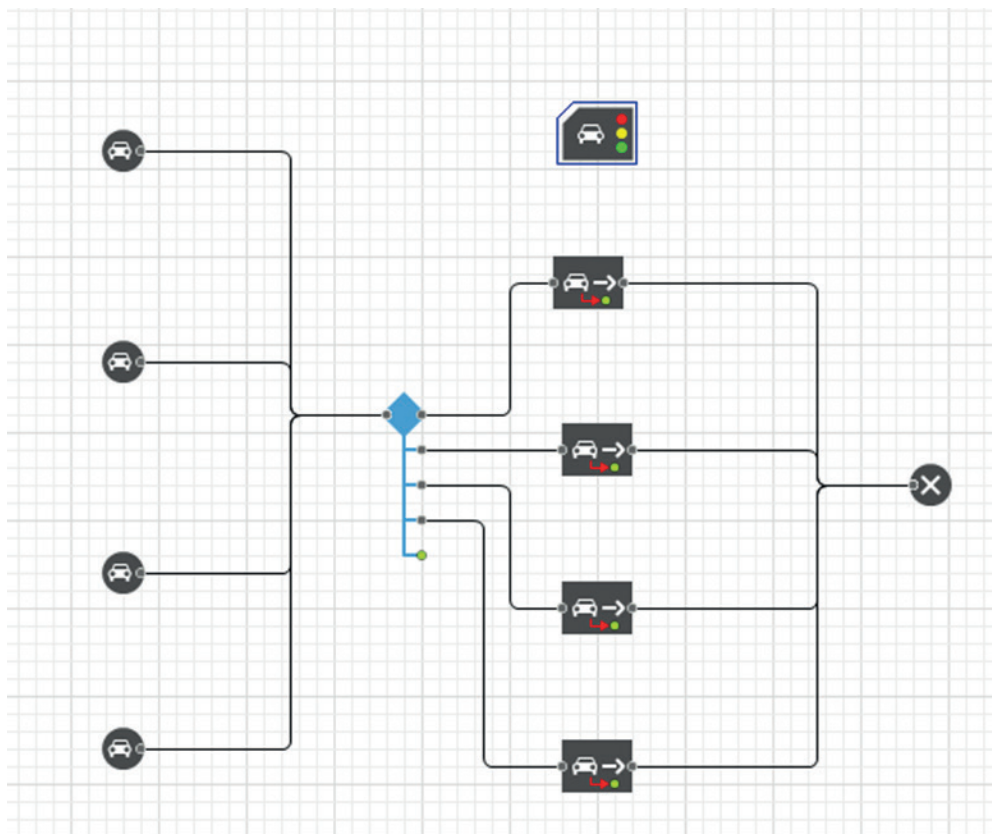







Рисунок 5 — Вид диаграммы процесса модели.

Основные функции каждого блока описаны в таблице 1.

Таблица 1

Функции блоков Anylogic, использованные для построения диаграммы процесса модели

Название блока	Графическое обозначение блока на диаграмме процесса (рис. 5)	Основная функция блока
Car Source		Создает автомобили и пытается поместить их в указанное место дорожной сети.
CarMoveTo		Блок, который управляет движением автомобиля.
Traffic Light		Моделирует светофор
SelectOutput5		Блок направляет входящих агентов в один из пяти выходных портов в зависимости от выполнения заданных (детерминистических или заданных с помощью вероятностей) условий.
CarDispose		Удаляет машины из модели.

В основе логики адаптивного светофорного алгоритма лежит комплексное использование параметров, функций и планируемых событий модели. Параметры обеспечивают конфигурацию и настройку системы, функции реализуют расчетные и управляющие проце-

дуры, а события, запланированные на будущий момент времени, используются для инициации ключевых операций, таких как анализ текущего состояния и переключение сигнальных фаз¹.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ

Для каждого из рассматриваемых алгоритмов управления было задано условное обозначение, используемое в дальнейшем изложении: Алгоритм 1 и Алгоритм 2.

Алгоритм 1 реализует концепцию динамического распределения времени «зеленого» сигнала на регулируемом перекрестке. В отличие от статического управления с фиксированными фазами, данный метод адаптирует дли-

¹ AnyLogic 9: Руководство пользователя [Электронный ресурс] / The AnyLogic Company. — Версия 2025 г. — Режим доступа: <https://anylogic.help/>. (Дата обращения: 06.11.2025).

тельность цикла светофора и пропорции фаз в реальном времени, основываясь на текущей загрузке подъездов.

Ключевая идея заключается в том, чтобы измерять плотность скопления транспортных средств (количество автомобилей) на каждой из конфликтующих направлений (например, горизонтальном и вертикальном). На основе этих данных система:

1. Корректирует общую длительность цикла светофорного регулирования, увеличивая её при высокой общей загрузке перекрестка для обслуживания большего числа автомобилей.

2. Пропорционально распределяет доступное «зеленое» время между фазами. Направление с более высокой плотностью движения получает более продолжительный разрешающий сигнал, что позволяет эффективнее разгружать образующиеся очереди.

3. Обеспечивает оперативную реакцию на изменение потока, гарантируя минимальное гарантированное время для каждой фазы и предотвращая неоправданно долгое ожидание на малозагруженных подходах.

Далее стоит рассмотреть работу первого алгоритма по этапам.

Этап 1. Измерение входных данных: оценка загрузки направлений

Алгоритм начинается с получения первичных данных — оценки текущей загрузки на каждое из конфликтующих направлений. В данном случае направления условно обозначены как дорога А (например, горизонтальное) и дорога В (вертикальное).

$$\text{double densityA} = \text{roadA.nCars(true)};$$

$$\text{double densityB} = \text{roadB.nCars(false)};$$

Переменные densityA и densityB представляют собой количество автомобилей на заданном сегменте подхода к стоп-линии и являются основными входными переменными для всех последующих расчетов.

Общая плотность (*totalDensity*) вычисляется как сумма загрузок обоих направлений и отражает совокупную нагрузку на перекресток:

$$\text{double totalDensity} = \text{densityA} + \text{densityB};$$

Этап 2. Адаптация коэффициента реакции и расчет общего времени цикла

На втором этапе определяется, насколько агрессивно система будет реагировать на увеличение загрузки. Для этого вводится коэффициент чувствительности *k*.

```
double k;
if (totalDensity <= maxCars) {
    k = k_min + (k_max - k_min) * totalDensity / maxCars; // Линейный рост
} else {
    k = k_max; // Достигнут верхний предел реакции
}
```

где:

- *maxCars* — пороговое значение общей плотности (например, 12 автомобилей).

- *k_min*, *k_max* — минимальное и максимальное значения коэффициента (например, 0.1 и 5.0).

Логика работы: При низкой загрузке (*totalDensity* ≤ *maxCars*) коэффициент *k* линейно возрастает от *k_min* до *k_max*. Это позволяет плавно увеличивать длительность цикла по мере роста числа автомобилей. При высокой загрузке (*totalDensity* > *maxCars*) коэффициент фиксируется на максимальном значении *k_max*, предотвращая чрезмерное увеличение времени цикла.

Расчет общего времени цикла светофора (*totalCycleTime*) выполняется по формуле:

$$\text{double totalCycleTime} = \text{baseTime} + \text{totalDensity} * k;$$

где:

- *baseTime* — базовое время цикла (константа, определяющая длительность при нулевой загрузке, включая гарантированные минимумы и время желтого сигнала/паузы).

Данная формула показывает, что общее время цикла складывается из фиксированной базовой части и переменной части, пропорциональной текущей общей загрузке (*totalDensity*), взвешенной на адаптивный коэффициент *k*.

Этап 3. Распределение «зеленого» времени между фазами

На заключительном этапе рассчитанное общее время цикла *totalCycleTime* распределяется между фазами пропорционально их текущей загрузке.

А. Расчет веса (доли) для направления А:

Вес *weightA* представляет собой долю направления А в общей загрузке перекрестка.

double weightA = densityA / totalDensity;

Б. Расчет предварительной длительности «зеленого» для направления А:

Длительность фазы прямо пропорциональна загрузке соответствующего направления.

*double newGreenA = totalCycleTime * weightA;*

В. Наложение ограничений (защита от экстремальных значений):

newGreenA = Math.max(minGreen, Math.min(maxGreen, newGreenA));

где:

- *minGreen* — минимально гарантированная длительность «зеленого» сигнала (например, 10 сек.), обеспечивающая безопасный пропуск пешеходов и транспортных средств, подъехавших к самому началу фазы.

- *maxGreen* — максимально допустимая длительность «зеленого» сигнала (например, 90 сек.), предотвращающая недопустимо долгое ожидание на противоположном направлении.

Функция *Math.min (max Green, new GreenA)* ограничивает время сверху, *Math.max(minGreen, ...)* — снизу.

Г. Присвоение результата переменным светофора:

В зависимости от того, какое физическое направление представляет *roadA* (горизонтальное "road1"/"road3" или вертикальное), рассчитанное и ограниченное значение *newGreenA* присваивается соответствующей переменной длительности фазы (*tIH* для горизонтальной или *tIV* для вертикальной фазы). Если общая загрузка равна нулю (*totalDensity == 0*), каждой фазе устанавливается минимальное гарантированное время *minGreen*².

Полный код Алгоритма 1

Логика, описанная выше, интегрирована в следующий программный блок:

double densityA = roadA.nCars(true);

double densityB = roadB.nCars(false);

int minGreen = 10;

int maxGreen = 90;

double totalDensity = densityA + densityB;

double k_min = 0.1;

double k_max = 5.0;

int maxCars = 12;

double k;

if (totalDensity <= maxCars) {

*k = k_min + (k_max - k_min) * totalDensity / maxCars;*

} else {

k = k_max;

}

*double totalCycleTime = baseTime + totalDensity * k;*

if (totalDensity > 0) {

double weightA = densityA / totalDensity;

*double newGreenA = totalCycleTime * weightA;*

newGreenA = Math.max(minGreen, Math.min(maxGreen, newGreenA));

if (roadA.getName() == "road1" || roadA.getName() == "road3") {

tIH = newGreenA;

} else {

tIV = newGreenA;

}

} else {

if (roadA.getName() == "road1" || roadA.getName() == "road3") {

tIH = minGreen;

} else {

tIV = minGreen;

}

}

Далее стоит дать описание алгоритма 1. Алгоритм реализует стратегию дискретной адаптации светофорного цикла, основанную на сравнении суммарной загрузки конфликтующих транспортных осей перекрестка. В отличие от первого алгоритма, который использует плавные математические зависимости, данный метод работает по принципу по-

² Руководства по языку Java: Управляющие конструкции, классы, многопоточность [Электронный ресурс] / Oracle Corporation. — Обновлено в 2024 г. — Режим доступа: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/>. (Дата обращения: 06.11.2025).

блочного перераспределения времени между фазами.

Основная логика строится на следующем принципе: время «зеленого» сигнала перераспределяется целыми блоками (например, по 5 секунд) от менее загруженного направления к более загруженному. Алгоритм постоянно сравнивает общее количество автомобилей на подходах, объединенных в две фазы — Север-Юг и Восток-Запад.

Ключевые особенности:

1. Осевой подход: Алгоритм не рассматривает каждое из четырех направлений по отдельности, а агрегирует их в две конфликтующие группы (оси), что соответствует классической двухфазной схеме организации движения.

2. Дискретное управление: Корректировка длительности фаз происходит не по непрерывной формуле, а фиксированными шагами. Это создает более стабильный и предсказуемый режим работы, удобный для реализации в простых контроллерах.

3. Принцип «подарка времени»: Если одна ось значительно загружена, алгоритм «одалживает» у противоположной фазы блок времени (в рамках установленных лимитов), стремясь быстро отреагировать на возникший дисбаланс.

4. Гарантированные минимумы и максимумы: Как и в первом алгоритме, существуют жесткие границы (*minGreen*, *maxGreen*), которые предотвращают как чрезмерно короткие, так и недопустимо долгие фазы, обеспечивая базовый уровень обслуживания и безопасности.

Аналогичным образом стоит рассмотреть Алгоритм 2 по этапам.

Этап 1. Сбор данных: подсчёт автомобилей по направлениям

Алгоритм начинает работу с измерения входных данных — количества транспортных средств, ожидающих на каждом из четырёх подходов к перекрёстку. Для этого используются счётчики автомобилей в соответствующих очередях (секциях накопления) модели.

```
int countNorth = (int) carMoveTo1.size(); //
int countEast = (int) carMoveTo2.size(); //
int countSouth = (int) carMoveTo3.size(); //
```

```
int countWest = (int) carMoveTo4.size(); //
• countNorth, countEast, countSouth,
countWest — это целочисленные переменные,
хранящие текущее количество автомобилей на
каждом подъезде. Эти значения являются ос-
новными сенсорными данными алгоритма.
```

Этап 2. Агрегация данных: объединение направлений в конфликтующие оси

Поскольку модель реализует классическую двухфазную схему движения, направления объединяются в две конфликтующие группы (оси). Это необходимо для корректного сравнения нагрузок, которые конкурируют за одно и то же время в цикле светофора.

```
int loadNorthSouth = countNorth +
countSouth;
```

```
int loadEastWest = countEast + countWest;
```

• *loadNorthSouth* — суммарная нагрузка на ось «Север–Юг» (фаза 1).

• *loadEastWest* — суммарная нагрузка на ось «Восток–Запад» (фаза 2).

• Этот этап преобразует четыре входных параметра в два ключевых, что упрощает логику принятия решения.

Этап 3. Логика принятия решения: сравнение и перераспределение

На этом этапе алгоритм определяет, какая из осей в данный момент более загружена, и выполняет перераспределение времени зелёного сигнала.

А. Определение базовых констант управления:

```
int minGreen = 10; // Минимальная га-
рантированная длительность зелёной фазы
```

```
int maxGreen = 80; // Максимально допу-
стимая длительность зелёной фазы
```

```
int stepChange = 5; // Шаг изменения
(квант времени для перераспределения)
```

```
int defaultGreen = 30; // Значение по умол-
чанию при равной нагрузке
```

Б. Логическое ветвление:

Алгоритм сравнивает *loadNorthSouth* и *loadEastWest* и действует по одному из трёх сценариев:

```
if (loadNorthSouth > loadEastWest) {
```

```
// Сценарий 1: Приоритет оси Север-Юг
greenNorthSouth = Math.min(maxGreen,
greenNorthSouth + stepChange);
```

```

    greenEastWest = Math.max(minGreen,
greenEastWest - stepChange);
}
else if (loadEastWest > loadNorthSouth) {
    // Сценарий 2: Приоритет оси Вос-
ток-Запад
    greenEastWest = Math.min(maxGreen,
greenEastWest + stepChange);
    greenNorthSouth = Math.max(minGreen,
greenNorthSouth - stepChange);
}
else {
    // Сценарий 3: Равная загрузка
    greenNorthSouth = defaultGreen;
    greenEastWest = defaultGreen;
}

```

• Сценарий 1 и 2: Если одна ось загружена больше другой, её зелёное время увеличивается на шаг *stepChange* (но не превысит *maxGreen*), а время противоположной оси уменьшается на тот же шаг (но не упадёт ниже *minGreen*). Это реализует принцип дискретного перераспределения (квантования) времени.

• Сценарий 3: При равной загрузке устанавливается равное время по умолчанию (*defaultGreen*), что обеспечивает справедливое обслуживание в условиях баланса³.

Этап 4. Исполнение решения: назначение новых длительностей фаз

Рассчитанные значения присваиваются управляющим переменным светофора, которые непосредственно определяют длительность следующих зелёных фаз в имитационной модели.

```

parameter = greenNorthSouth; // Длитель-
ность фазы "Север-Юг"
parameter1 = greenEastWest; // Длитель-
ность фазы "Восток-Запад"

```

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА С МОДЕЛЮ

Для проведения экспериментального исследования были выбраны три сценария, моделирующие различную нагрузку на перекресток:

• Сценарий низкой интенсивности: 200 автомобилей в час;

Алгоритм 2 имеет следующий общий вид.

```

int countNorth = (int) carMoveTo.size();
int countEast = (int) carMoveTo1.size();
int countSouth = (int) carMoveTo2.size();
int countWest = (int) carMoveTo3.size();

```

```

int greenNorthSouth = 0;
int greenEastWest = 0;

```

```

int minGreen = 10;
int maxGreen = 80;
int stepChange = 5;

```

```

int loadNorthSouth = countNorth +
countSouth;
int loadEastWest = countEast + countWest;

```

```

if (loadNorthSouth > loadEastWest) {
    greenNorthSouth = Math.min(maxGreen,
greenNorthSouth + stepChange);
    greenEastWest = Math.max(minGreen,
greenEastWest - stepChange);
}
else if (loadEastWest > loadNorthSouth) {
    greenEastWest = Math.min(maxGreen,
greenEastWest + stepChange);
    greenNorthSouth = Math.max(minGreen,
greenNorthSouth - stepChange);
}
else {
    int defaultGreen = 30;
    greenNorthSouth = defaultGreen;
    greenEastWest = defaultGreen;
}

```

```

parameter = greenNorthSouth;
parameter1 = greenEastWest;

```

• Сценарий средней интенсивности: 500 автомобилей в час;

• Сценарий высокой интенсивности: 1000 автомобилей в час.

Длительность каждого вычислительного эксперимента составляет 1500 единиц модельного времени, что обеспечивает выход систе-

³ Руководства по языку Java: Управляющие конструкции, классы, многопоточность [Электронный ресурс] / Oracle Corporation. — Обновлено в 2024 г. — Режим доступа: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/>. (Дата обращения: 06.11.2025).

мы на установившийся режим работы и получение статистически значимых результатов.

Эффективность разработанных адаптивных алгоритмов оценивается путём сравнения с базовым (эталонным) вариантом управления — статическим светофором с фиксированной длительностью фаз. В качестве такого варианта принята конфигурация, соответствующая среднестатистическим настройкам на реальных перекрестках: длительность первой фазы составляет 45 секунд, второй — 50 секунд.

Сравнительный анализ будет проводиться по двум ключевым показателям:

1. Среднее время проезда перекрестка транспортным средством.

2. Распределение (вариабельность) времени проезда, отражающее стабильность работы системы.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента с моделью

Интенсивность (авто/час)	Алгоритм	Среднее время проезда, сек.	80% автомобилей проезжают не более, чем за (сек.)
200	Алгоритм 1	22.1	25
	Алгоритм 2	22.8	26.5
	Статический светофор	24.5	29
500	Алгоритм 1	40.5	48
	Алгоритм 2	42.7	52
	Статический светофор	51.3	65
1000	Алгоритм 1	78.2	95
	Алгоритм 2	82.4	102
	Статический светофор	112.7	145

Проведённый эксперимент подтвердил гипотезу о существенном превосходстве адаптивных алгоритмов управления светофорным объектом над классическим статическим режимом. Сравнительный анализ по ключевым метрикам — среднему времени проезда и гарантированному времени проезда для 80% транспортных средств — позволил объективно оценить эффективность предложенных решений в различных сценариях нагрузки.

Адаптивные алгоритмы обеспечивают значительное снижение задержек. Во всех исследуемых сценариях (низкой, средней и

высокой интенсивности) оба адаптивных алгоритма показали лучшие результаты, чем статическое управление. Наибольший абсолютный выигрыш наблюдается в условиях насыщенного потока (1000 авто/час), где Алгоритм 1 сократил среднее время проезда на 34.5 секунды (31%), а Алгоритм 2 — на 30.3 секунды (27%) по сравнению со статическим режимом. Для наглядной иллюстрации данной зависимости на Рисунке 6 представлен график «Среднее время проезда в зависимости от интенсивности движения для трёх режимов управления».

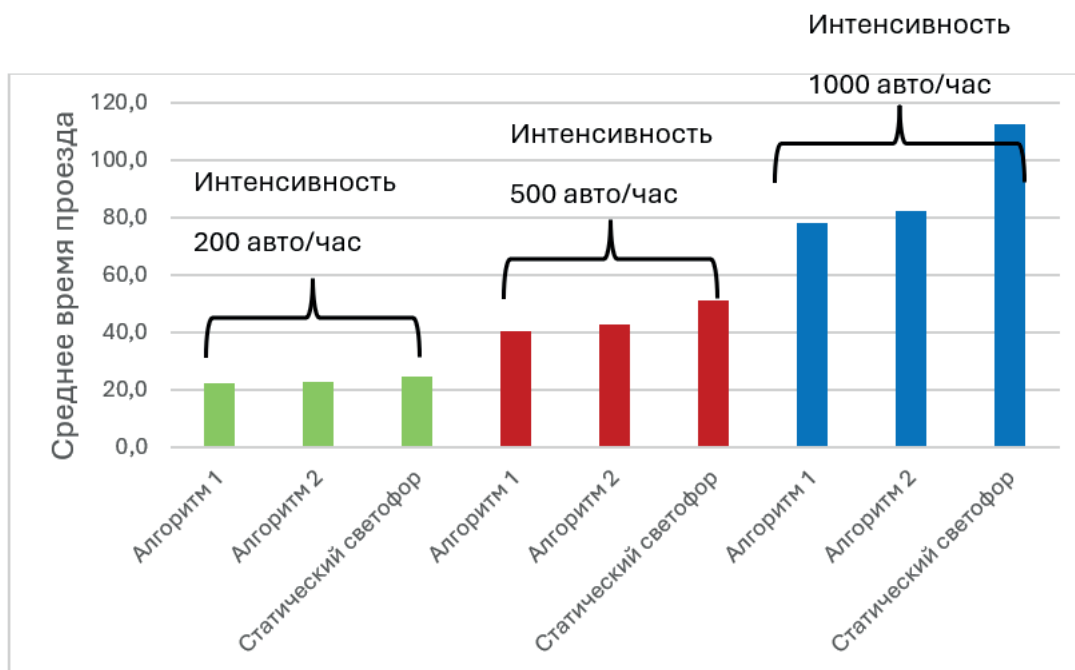


Рисунок 6 — Среднее время проезда в зависимости от интенсивности движения для трёх режимов управления.

Алгоритм 1 демонстрирует стабильное преимущество по всем показателям. Хотя оба адаптивных алгоритма эффективны, Алгоритм 1 (на основе непрерывной зависимости от плотности) показал более высокую эффективность, чем Алгоритм 2 (дискретного перераспределения). Его превосходство составляет в среднем 2–5 секунд по среднему времени и 4–7 секунд по 80-му перцентилю. Это указывает на то, что плавная, аналитически обоснованная корректировка длительности фаз обеспечивает более точное и быстрое реагирование на изменение потока, минимизируя как средние задержки, так и их разброс.

Адаптивное управление повышает предсказуемость и качество обслуживания. Ключевым результатом является улучшение показателя гарантированного времени проезда. Например, при высокой интенсивности Алгоритм 1 гарантирует, что 80% автомобилей проедут перекресток быстрее чем за 95 секунд, в то время как при статическом управлении

этот показатель составляет 145 секунд. Это означает, что адаптивные системы не только уменьшают средние задержки, но и снижают неопределённость для водителей, делая движение более стабильным и прогнозируемым, что является важным фактором комфорта и безопасности.

Эффективность адаптации возрастает с увеличением нагрузки. Сравнение результатов для трёх уровней интенсивности показывает, что относительное преимущество адаптивных алгоритмов возрастает по мере увеличения нагрузки на перекресток. При низкой интенсивности (200 авто/час) разница со статическим режимом невелика (около 10%), что объясняется отсутствием выраженных заторов. Однако при переходе к средним и высоким нагрузкам способность адаптивных систем динамически перераспределять зелёное время позволяет предотвращать лавинообразный рост очередей и эффективнее справляться с пиковыми нагрузками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведено исследование, посвященное разработке и сравнительному анализу двух алгоритмов адаптивного свето-

форного регулирования для изолированного перекрестка с использованием среды имитационного моделирования AnyLogic. Целью

работы было создание и верификация алгоритмов, способных динамически корректировать длительность светофорных фаз на основе текущей загрузки подходов, и оценка их эффективности относительно классического статического управления.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

- Теоретически обоснована и практически подтверждена значительная эффективность адаптивного управления по сравнению со статическим режимом с фиксированным временем фаз. Наиболее выраженный выигрыш (до 31% по среднему времени проезда) наблюдается в условиях высокой и неравномерной нагрузки, что подтверждает актуальность внедрения подобных систем на загруженных городских перекрестках.

- Установлено, что Алгоритм 1 демонстрирует статистически значимое превосходство над Алгоритмом 2 по всем исследуемым метрикам. Это позволяет сделать вывод о большей эффективности стратегии плавного, аналитически рассчитываемого изменения параметров цикла по сравнению с дискретным пошаговым перераспределением, особенно для сглаживания пиковых нагрузок и уменьшения вариабельности времени задержки.

- Практическая ценность работы заключается в предоставлении готовых, апробированных в виртуальной среде алгоритмических решений и методологии их оценки. Разработанная модель и методика сравнения могут быть использованы городскими службами и проектными организациями для предварительного обоснования внедрения адаптивных светофорных объектов, а также для параметрической настройки таких систем под конкретные условия движения.

- Полученные результаты указывают на важность выбора не только факта адаптивности, но и конкретной математической стратегии управления. Эффективность системы определяется не просто наличием обратной связи, а адекватностью и тонкостью ее алгоритмической реализации.

Таким образом, работа вносит вклад в решение актуальной задачи интеллектуализации городской транспортной инфраструктуры. Предложенные и валидированные алгоритмы представляют собой готовый инструментарий для повышения эффективности работы ключевых элементов улично-дорожной сети — регулируемых перекрестков.

Список источников

1. Чжан, Л. Адаптивное управление светофорами на основе оценки длины очереди в реальном времени и методов обучения с подкреплением // Транзакции IEEE по интеллектуальным транспортным системам. — 2024. — Т. 25, № 8. — С. 8765–8777. — DOI: 10.1109/TITS.2024.3361245.
2. Петров, И. В., Смирнов, А. Н. Цифровые двойники городских перекрёстков на основе гибридного моделирования: кейс Москвы // Transportation Research Procedia. — 2024. — Т. 78. — С. 211–218. — DOI: 10.1016/j.trpro.2024.03.027.
3. Лю, С., Ван, Ц., Чжао, Ю. Дискретно-событийное моделирование для адаптивного регулирования светофоров в условиях высокой плотности городского движения // Журнал передовых транспортных технологий. — 2024. — Т. 2024. — Ст. № 9876543. — 12 с. — DOI: 10.1155/2024/9876543.
4. Гаврилов, Д. А., Соколов, М. В. Применение гибридного моделирования для оценки эффективности адаптивных систем регулирования на перекрёстках // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2025. — Т. 26, № 2. — С. 112–124. — DOI: 10.33902/26301825-2025-2-112.
5. ГОСТ Р 57910–2024. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. — Введ. 2024–07–01. — М.: Стандартиформ, 2024. — 24 с.
6. Чэнь, Ю., Ван, Х. Гибридное моделирование на основе дискретно-событийного и агентного подходов для оптимизации городского движения // Практика и теория имитационного моделирования. — 2025. — Т. 142. — Ст. 103287. — DOI: 10.1016/j.simpat.2025.103287.

SIMULATION OF ADAPTIVE TRAFFIC LIGHT REGULATION TO OPTIMIZE TRAFFIC FLOWS AT AN INTERSECTION

Kuzmin D.V.¹, Baginova V.V.¹, Korobovsky K.M.¹, Toritsyn A.M.¹

¹ Russian University of Transport

Abstract: the article discusses the use of the AnyLogic simulation environment to study and optimize the operation of an adjustable intersection. The main purpose of the research is to develop and compare two alternative algorithms for adaptive traffic light control. The proposed algorithms analyze in real time the totality of traffic flow indicators (intensity, queue length, waiting time) and on this basis dynamically adjust the duration of the phases of the traffic light cycle. This makes it possible to conduct virtual tests of algorithms under controlled conditions, objectively evaluate their effectiveness based on key metrics (throughput, average transport delay time) and identify the most stable and productive management method for various loading scenarios. The article is of interest to specialists in the field of intelligent transport systems (ITS), traffic management engineers, as well as to researchers and students involved in modeling and optimizing urban mobility. The research results can be used for practical justification of the implementation of adaptive systems at problematic intersections, further development and calibration of more complex control algorithms, creation of digital counterparts of transport hubs for planning and decision-making.

Keywords: discrete-event modeling, automobile intersection, automobile traffic, transport system, optimization of the intersection.

© Kuzmin D.V., Baginova V.V., Korobovsky K.M., Toritsyn A.M.

Received 12.11.2025, approved 12.12.2025, accepted for publication 12.12.2025.

For citation:

Kuzmin D.V., Baginova V.V., Korobovsky K.M., Toritsyn A.M. Simulation of adaptive traffic light regulation to optimize traffic flows at an intersection. *Logistics and Supply Chain Management*. 2025. Vol 22, Iss 4 (117). pp. 51-67.

Information about the authors:

Kuzmin D.V., — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Management of Transport Systems, Russian University of Transport (MIIT), e-mail: kuzmindv@rut-miit.ru.

Baginova V.V., — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Logistics and Management of Transport Systems, Russian University of Transport (MIIT).

Korobovsky, K.M., — Master's student at the Department of Logistics and Management of Transport Systems, Russian University of Transport (MIIT).

Toritsin A.M., — Master's student at the Department of Logistics and Management of Transport Systems, Russian University of Transport (MIIT).

References

1. Zhang, L. Adaptive traffic light management based on real-time queue length estimation and reinforcement learning methods // *IEEE Transactions on Intelligent Transport Systems*. — 2024. — Vol. 25, No. 8. — pp. 8765-8777. — DOI: 10.1109/TITS.2024.3361245.
2. Petrov, I. V., Smirnov, A. N. Digital twins of urban intersections based on hybrid modeling: the case of Moscow // *Transportation Research Procedia*. — 2024. — Vol. 78. — pp. 211-218. — DOI: 10.1016/j.trpro.2024.03.027.
3. Liu, S., Wang, C., Zhao, Y. Discrete event modeling for adaptive control of traffic lights in conditions of high urban traffic density // *Journal of Advanced Transport Technologies*. — 2024. — T. 2024. — Article No. 9876543. — 12 p. — DOI: 10.1155/2024/9876543
4. Gavrilov, D. A., Sokolov, M. V. Application of hybrid modeling to evaluate the effectiveness of adaptive control systems at intersections // *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Technical sciences*. — 2025. — Vol. 26, No. 2. — pp. 112-124. — DOI: 10.33902/26301825-2025-2-112.
5. GOST R 57910-2024. Intelligent transportation systems. Terms and definitions. — Introduction. 2024-07-01. Moscow: Standartinform, 2024. 24 p.
6. Chen, Yu., Wang, H. Hybrid modeling based on discrete-event and agent-based approaches for optimizing urban traffic // *The practice and theory of simulation modeling*. — 2025. — Vol. 142. — Art. 103287. — DOI: 10.1016/j.simpat.2025.103287.

Приглашаем ученых, работников системы высшего образования и специалистов в области транспорта и логистики к сотрудничеству в качестве авторов журнала «Логистика и управление цепями поставок».

Тематика журнала определяется следующим перечнем научных специальностей:

- 2.9.1. Транспортные и транспортно – технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки)
- 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)
- 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки)
- 2.9.9. Логистические транспортные системы (технические науки)

Структура и содержание документа при подаче статьи:

1. УДК
2. Название статьи
3. Информация о авторах (полное ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, РИНЦ AuthorID). Для корреспондирующего автора необходимо указать телефон и e-mail.
4. Аннотация (120 – 200 слов. Аннотация должна кратко раскрывать содержание проведенного исследования)
5. Ключевые слова (5 – 8 слов или словосочетаний)
6. Текст статьи (15 – 20 тысяч символов). Текст статьи должен быть логичным, последовательным и исчерпывающе раскрывающим проведенное исследование. Статья обязательно содержит вводную, основную и заключительную часть. Содержание статьи должно соответствовать тематике журнала.
7. Перечень источников. Не менее 15 актуальных позиций, оформленных в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Название статьи, информация о авторах, аннотация, ключевые слова и перечень источников представляются на русском и английском языках.

Требования и условия публикации

- Публикации в журнале бесплатны и проходят слепое рецензирование.
- Публикация возможна при наличии положительного заключения рецензента. Нуждающаяся в доработке статья направляется автору вместе с замечаниями рецензента. После устранения замечаний статья направляется автором для повторного рецензирования. При отрицательном заключении рецензента статья возвращается автору.
- Редакция оставляет за собой право отклонять без рассмотрения по существу статьи, не соответствующие профилю журнала, имеющие некорректные заимствования или оформленные с нарушением требований.
- Представленные на рассмотрение редакции тексты проходят проверку на наличие некорректных заимствований.
- Опубликованные статьи, а также информация об авторах на русском и английском языках размещается в свободном доступе в Интернете на платформе Научной Электронной Библиотеки – eLIBRARY.RU.

Контактная информация редакции:

Дмитрий Владимирович Кузьмин

Телефон: +7 (495) 684 - 29 - 07

Почта: transportjournal@yandex.ru

Ссылка на страницу журнала на платформе Научной Электронной Библиотеки – eLIBRARY.RU – https://www.elibrary.ru/title_profile.asp?id=26698

ISSN 2587-6767