

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-46-59



УДК 656.025

UDC 656.025

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ
ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ
ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ**

Макарова Ирина Викторовна,

д.т.н., профессор кафедры сервиса транспортных систем, ФГАОУ ВО «Набережночелнинский (институт) филиал КФУ», г. Набережные Челны, e-mail: kamivm@mail.ru

✉¹ **Маврин Вадим Геннадьевич,**

к.т.н., доцент кафедры сервиса транспортных систем, ФГАОУ ВО «Набережночелнинский (институт) филиал КФУ», г. Набережные Челны, e-mail: vadim_mmite@rambler.ru

Бойко Алексей Дмитриевич,

старший преподаватель кафедры сервиса транспортных систем, ФГАОУ ВО «Набережночелнинский (институт) филиал КФУ», г. Набережные Челны, e-mail: boykoaleksey94@gmail.com

Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна,

к.т.н., доцент кафедры сервиса транспортных систем, ФГАОУ ВО «Набережночелнинский (институт) филиал КФУ», г. Набережные Челны, e-mail: muhametdinoval@mail.ru

Аннотация. Современная транспортная логистика все больше включает интеллектуальные компоненты, которые улучшают физические объекты. Применение, Интернета вещей, систем искусственного интеллекта и анализа данных заметно совершенствуют процессы логистики. При этом, погрузочно-разгрузочные работы являются ключевым этапом в системе доставки грузов до пунктов продаж. Совершенствование процессов погрузки и разгрузки является сложной задачей, для решения которой применяются имитационные модели. Они способствуют повышению общей

**IMPROVING LOGISTICS OPERATIONS
THROUGH THE DEVELOPMENT
OF SIMULATION MODELS**

Makarova Irina Viktorovna,

doctor of technical sciences, prof. of the department of transport systems service, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, e-mail: kamivm@mail.ru

✉¹ **Mavrin Vadim Gennadievich,**

candidate of technical sciences, associate professor of the department of transport systems service, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, e-mail: vadim_mmite@rambler.ru

Boyko Alexey Dmitrievich,

senior lecturer of the department of transport systems service, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, e-mail: boykoaleksey94@gmail.com

Gabsalikhova Larisa Mukhamatzakiyevna,

candidate of technical sciences, associate professor of the department of transport systems service, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, e-mail: muhametdinoval@mail.ru

Annotation. Modern transport logistics increasingly includes intelligent components that improve physical objects. The use of the Internet of Things, artificial intelligence systems and data analysis significantly improve logistics processes. At the same time, loading and unloading operations are a key stage in the cargo delivery system to points of sale. Improving the loading and unloading processes is a difficult task, which is solved using simulation models. They contribute to improving the overall efficiency of these operations. The article presents the process of developing a simulation model of the unloading

эффективности этих операций. В статье представлен процесс разработки имитационной модели процесса разгрузки, выполнен эксперимент для оптимизации параметров модели и рассчитана эффективность разработок.

process, performs an experiment to optimize the parameters of the model, and calculates the effectiveness of the development.

Ключевые слова: ЛОГИСТИКА, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫЕ РАБОТЫ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ.

Keywords: LOGISTICS, SIMULATION, LOADING AND UNLOADING OPERATIONS, ECO-FRIENDLINESS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Доставка товаров точно в срок и с низкими издержками являются главной целью транспортной логистики. Транспортная логистика осуществляет такие функции, как непосредственная транспортировка грузов, погрузка, разгрузка, хранение грузов, оформление сопроводительной документации и т.п., которые используются всеми отраслями экономики. Конкуренция и возросшие требования клиентов требуют совершенствования логистических процессов, для чего разработаны и используются различные методы, позволяющие автоматизировать складские операции, что приводит к значительному ускорению логистических операций и сокращению времени от заказа до доставки товаров и грузов. Это приводит и к возникновению синергетического эффекта: снижаются издержки, сокращаются складские запасы, повышается уровень удовлетворенности клиентов.

Погрузочно-разгрузочные работы (ПРР) являются важным элементом логистической цепочки, влияющим на эффективность транспортировки и складирования. Эти работы включают в себя разнообразные задачи, начиная от загрузки грузов на транспортные средства и заканчивая их выгрузкой и хранением. Главным фактором, влияющим на скорость и стоимость доставки грузов, а также их сохранность на всех этапах логистической цепочки, является эффективность ПРР. Кроме того, она способствует улучшению качества обслуживания клиентов и усилению позиции компании на рынке. Повышение эффективности ПРР обеспечивается техническими и организационными средствами. Например, доставка товаров грузовыми автомобилями с раскрывающимися боковыми бортами типа «Свинг-Мастер» является примером использования технических средств. Один из производителей таких автомобилей (ПАО «КАМАЗ») утверждает, что использование автомобилей КАМАЗ-65115 с боковыми бортами сокращает время погрузки и разгрузки до 30 раз.

Примером организационных средств повышения эффективности ПРР является использование технологий искусственного интеллекта, которые некоторое время назад совершили настоящий прорыв. С помощью искусственного интеллекта разрабатываются новые подходы, создаются интеллектуальные транспортные цепочки, что значительно повышает эффективность и устойчивость транспортных процессов. Так, технологии автономного вождения способны полностью изменить весь облик перевозок автомобильным транспортом. Развитие «умной» транспортной инфраструктуры на базе технологий искусственного интеллекта, интернета вещей, больших данных и блокчейна предоставит потребителям большую информативность, безопасность и возможность взаимодействовать с другими участниками транспортных систем.

Поскольку процессы погрузки и разгрузки оказывают прямое влияние на показатели эффективности логистических процессов и формируют направление стратегического развития инфраструктуры организации, они играют ключевую роль в логистической деятельности и требуют наличия удобного и функционального информационного и программного инструмен-

тария для лиц, принимающих решения. Инвестиции в развитие логистической инфраструктуры будут окупаться за счёт комплексного повышения эффективности логистической деятельности компании.

Современные логистические системы – это гораздо больше, чем просто сети материальных потоков. На проектирование таких систем влияют факторы неопределенности затрат на энергию, устойчивости, экономической безопасности и других сложных вопросов. По мнению авторов [1], для реализации возможности устойчивого моделирования в логистике необходим подход на основе моделей, который начинается с формального языка для фиксации определяющего описания самой логистической системы. Как показано в статье, процесс моделирования цепочки поставок возможно упростить путем использования предметно-ориентированного языка моделирования систем, такого как SysML.

В работе [2] разрабатывается платформа, представляющая собой систему цифровых инструментов для отслеживания продуктов и товаров на протяжении всей производственно-логистической цепочки от поля до кухни конечного потребителя. Особенность данной разработки заключается в снижении трудоемкости разработки логистической цепочки и времени решения нелинейной задачи. Учитывая значительное увеличение объема информации и уровень цифровизации логистических процессов авторы работы [3] разрабатывают самоорганизующуюся интеллектуальную систему на основе алгоритма муравьиной колонии, с помощью которого оптимизация происходит с высокой скоростью, а решения получаются высококачественными. В статье [4] анализируется проблема оптимизации модели электронной коммерции свежих продуктов питания с помощью модели фронтального складского распределения. Для анализа преимуществ, недостатков, возможностей и проблем модели фронтального склада электронной коммерции свежих продуктов питания в сочетании с процессом аналитической иерархии для проведения количественного анализа используется SWOT-анализ.

Одним из способов повышения эффективности логистических операций является прогнозирование потребностей в грузоперевозках. В статье [5] создана система индексов прогнозирования спроса на логистику, спрос на логистику заменен объемом грузоперевозок, а также проанализирована корреляция между объемом грузоперевозок и другими параметрами в системе индексов прогнозирования спроса на логистику. Исследование показывает, что при прогнозировании спроса на логистику модель прогнозирования нейронной сети обратного распространения, оптимизированная генетическим алгоритмом, более точна, чем модель прогнозирования нейронной сети обратного распространения. В статье [6] представлен обзор интеллектуальной логистики, возможностей и проблем трансформации логистической отрасли в контексте развития технологий 5G, которая не только способствует инновационному развитию, трансформации и модернизации логистической отрасли, но и способствует развитию таких технологий, как Интернет вещей, большие данные и искусственный интеллект.

В настоящее время информационные системы логистических предприятий широко используют распределенную систему клиент-серверной модели. Из-за сильной связи распределенной системы и отсутствия единого стандарта совместной работы распределенные процессы различных механизмов не могут взаимодействовать друг с другом. В этой связи в статье [7] для разработки более совершенных информационных систем и реализации общих алгоритмов используется высокопроизводительная вычислительная модель. Функциональный дизайн логистической информационной системы должен удовлетворять потребности пользователей системы, которая может научно управлять и поддерживать логистическую информацию, а также предоставлять унифицированную службу данных из нескольких источников [8]. Использование беспроводной сети для мониторинга датчиков может позволить эффективно решать традиционные проблемы. Кроме того, использование RFID-систем может улучшить контроль качества продуктов. Поэтому в этой статье разрабатывается концепция интеллектуальной логистики с использованием этих технологий. Процесс распределения является ядром всей логистической системы, и скорость его работы напрямую связана с эффективностью всей логистической системы. Чтобы повысить эффективность распределения и сократить время

транзита, необходимо оптимизировать проектирование процесса логистического распределения. Однако текущий процесс распределения характеризуется высокой стоимостью, низкой эффективностью и степенью информатизации. Поэтому, стремясь к решению этих проблем, авторы статьи [9] разработали процесс логистического распределения, основанный на методах анализа больших данных и сети Петри. В контексте новой экономической глобализации многие отрасли имеют очень сложные системы цепочек поставок, которые несут различные риски для предприятий. С точки зрения составных элементов авторы статьи [10] анализируют элементы распределения ресурсов и структурные элементы, как факторы логистической емкости цепочки поставок. В статье разработана модель логистических возможностей, характеризующаяся внутренней транспортировкой в цепочке поставок, и представлены результаты оптимизации параметров модели.

Статья [11] посвящена разработке имитационной модели интеллектуальной логистики холодной цепи в рамках технологии Интернета вещей. Оценивается осуществимость имитационной модели интеллектуальной логистики холодной цепи в рамках технологии Интернета вещей, а затем проводится симуляционный эксперимент. В статье [12] изучается экстренная доставка и оптимизация структуры посылок в логистической сети электронной коммерции. Для прогнозирования ежедневного объема груза используется модель SARIMAX (модель сезонного авторегрессивного интегрированного скользящего среднего). Согласно авторам статьи [13] в современной экономике используются облачные вычисления, Интернет вещей, блокчейн и анализ больших данных. В дополнение к этому в логистике всё чаще используются методы искусственного интеллекта. Принимая во внимание эти тенденции, для учета экологической составляющей авторы предлагают разработки интеллектуальной логистической системы.

С учётом того, что у системы экстренной отправки посылок логистической сети электронной коммерции есть свои особенности, исследование [14] направлено на оптимизацию структуры логистической системы. Авторы предлагают использовать сети с долговременной краткосрочной памятью (для обучения) вместе с авторегрессионной интегрированной скользящей средней (для расчета окончательных результатов прогноза) для прогнозирования временных рядов. Статья [15] посвящена совершенствованию процессов в 3PL-логистике. В статье используется тематическое исследование ведущей компании по разработке технологий в Малайзии. Авторы предлагают заменить некоторые ручные операции цифровыми системами для обеспечения культуры эффективного использования ресурсов, повышения эффективности управления цепочками поставок в контексте перехода к Индустрии 4.0 и цифровизации логистики. В условиях перехода к низкоуглеродной экономике большое значение уделяется реализации концепции низкоуглеродной логистики, зеленой цепочке поставок, содействию энергосбережению и устойчивому развитию, на основе которых разработана модель, представленная в статье [16]. Отмечено, что основную роль в этом плане играет политическая воля, управление и государственное регулирование, а не техническая эксплуатация и реализация. Планирование играет фундаментальную роль в логистической отрасли. В настоящее время достижения современных сенсорных, коммуникационных и вычислительных технологий широко применяются для создания инфраструктуры сбора, передачи и обработки данных в логистических сценариях, что облегчает принятие решений и позволяет осуществлять эффективное и действенное планирование различными способами. В статье [17] представлены модели для планирования логистических операций, которые, по мнению авторов, должны помочь решать многочисленные проблемы в реальных приложениях. Реверсивная логистика позволяет существенно снизить затраты, связанные с утилизацией отходов и закупкой нового сырья. Так, в статье [18] авторы в среде имитационного моделирования AnyLogic с использованием алгоритма NSGA-III (эволюционный алгоритм решения многокритериальных задач оптимизации) разработали модель планирования маршрута для транспортных средств, обеспечивающих доставку грузов до центров переработки.

ПРР имеют решающее значение для удовлетворения потребностей в доставке товаров в городе. Целью статьи [19] является описание основы и использования комплексной методологии для определения лучших погрузочно-разгрузочных площадок в перегруженном мексиканском городе среднего размера – Керетаро – с точки зрения местоположения, вместимости и количества. Для генерации сценариев зон обслуживания с использованием микросимуляции для поиска решения использовался сценарный подход. В работе [20] рассматривается моделирование выбранных видов деятельности на складе. Рутинные логистические виды деятельности – это приемка товара, контроль товара и хранение товара в складской системе на стороне входа на склад. Основная цель статьи – представить созданную имитационную модель для приемки товара на склад. Изменяя входные параметры имитационной модели, можно проводить симуляционные эксперименты с моделью, а не с реальной системой. Таким образом, сделан вывод, что имитационное моделирование складской деятельности является полезным инструментом поддержки для принятия решений для управления ПРР.

Применение технологий для автоматизации обработки товаров и грузовых единиц на складах и в хранилищах уже давно не является новшеством. Однако процесс приобретения этих технологий может быть проблематичным, а оценка экономических выгод, которые каждая из технологий приносит всей логистической цепочке, не всегда очевидна. Поэтому авторы работы [21] предлагают учитывать большее число параметров при принятии решений о покупке той или иной информационной системы для автоматизации ПРР. В исследовании предлагается модель, которая учитывает все фактические расходы на приобретение и операционные затраты, связанные с внедрением новых технологий. Эти расходы представляют собой полный набор элементов затрат, которые необходимо учитывать при сравнении экономических эффектов внедрения автоматизированных технологий для ПРР. Разработка инструмента расчета ROI показывает, что при внедрении новых автоматизированных систем необходимо учитывать значительное количество переменных. Благодаря этой разработке представители сектора и академические круги получают выгоду от комплексного инструмента расчета затрат.

Число грузовых автотранспортных средств, перемещающихся в черте города, неуклонно растет и, как ожидается, продолжит расти еще более быстрыми темпами. Однако многие города имеют историческое городское наследие и ограничения, которые делают их логистическим кошмаром, где пробки на дорогах могут быть результатом неправильно припаркованных транспортных средств. В статье [22] авторы исследуют методики рационального расположения и расчёта размеров парковочных площадок в городских центрах, где можно парковаться на ограниченное время для выполнения ПРР. Представлен смешанный аналитический подход для поиска оптимального распределения и определения относительных размеров площадок для парковки в соответствии со спросом и местоположением деловой активности. Данный подход позволяет провести тщательный анализ производительности проектного решения.

Погрузка-разгрузка и складирование имеют решающее значение для производства и отправки продукции в движении к устойчивой логистике. Исследование [23] направлено на предоставление решений для сокращения времени цикла процесса погрузки-разгрузки товаров с использованием моделирования. С помощью среды моделирования Rockwell Arena Simulation были изучены альтернативы для получения статистики производительности, включая время ожидания и количество ожидающих обслуживаний. Таким образом, в исследовании сделан вывод о возможности разработки и использования имитационного моделирования для исследования складских операций. В статье [24] анализируется влияние инфраструктуры для погрузки-разгрузки и доступный персонал на время выполнения заказа и выбросы отработавших газов от грузовых автомобилей, обеспечивающих доставку грузов. Сделан вывод о высокой степени влияния данных параметров на выходные переменные. Авторы работы [25] применяют технологии IoT с использованием Big Data для моделирования и оптимизации логистических операций крупного логистического хаба. Используя среду разработки ASP.NET для моделирования показано, что метод интеллектуального штабелирования в системе погрузки-разгрузки эффективен и экономически выгоден. В этой статье с целью анализа узких мест в

логистике и использовании ресурсов для моделирования грузового терминала производственного процесса погрузки-разгрузки используется объектно-ориентированная платформа моделирования eM-Plant TM. В статье [26] в среде Siemens (с использованием платформ Phasor Data Processing, NX, S7-PLCSIM, SiePortal и других современных систем) построена 3D-модель цифрового двойника склада. Разработаны бизнес-логика и управляющий сигнал в процессе загрузки и разгрузки. Для реализации кооперативного оптимального решения по управлению запасами и распределению в чрезвычайных ситуациях используется алгоритм обучения с подкреплением «от конца к концу». Таким образом, находится баланс между расходами на обслуживание и устойчивостью логистической системы.

Авторы работы [27] для повышения эффективности контейнерных мультимодальных перевозок разработали архитектуру системы и оптимизационную модель на основе гибридного алгоритма, объединяющего преимущества генетического алгоритма и алгоритма имитации отжига. Также авторы предполагают, что интеллектуальный анализ и прогнозирование информации станут технологической тенденцией развития систем управления информацией в будущем. Исследование [28] направлено на разработку алгоритма выбора технологической схемы доставки – традиционной логистики или зеленой логистики. Для определения и сравнения экономической эффективности, а также определения влияния на экологическую обстановку города выполнены расчеты экономических показателей процесса транспортировки грузов по этим двум решениям. Моделирование и оценка полученных данных может привести к лучшему выявлению и пониманию проблем управления городским грузопотоком. Такой подход очень важен для разработки и оценки мер по определению параметров транспортного процесса, землепользования, транспортной инфраструктуры, транспортной политики.

Подход, принятый в работе [29], заключается в сборе данных о времени между прибытиями тележек, временем обслуживания прибывающих тележек, разработке имитационной модели существующей системы, расчете времени ожидания и стоимости ожидания. Предполагается, что разработанная система позволит снизить затраты, связанные со временем ожидания. В исследовании [30] предлагается алгоритм выбора эффективных решений для снижения времени ожидания грузовых автомобилей для загрузки готовой продукции. В работе основное внимание уделялось зафиксированным результатам о потерях на разных участках до любой процедуры сбора данных и изучения времени. Погрузочные линии были самой трудоемкой частью. Основной причиной этого было количество времени простоя и ожидания грузовика в существующих узких местах. После моделирования и его проверки на основе собранных данных были проанализированы некоторые сценарии, чтобы выяснить, какой из них способен уменьшить влияние узких мест и, соответственно, время ожидания грузовиков.

2 Материалы и методы

Проблемой многих городов является наличие в их черте крупных развлекательных и торговых центров, имеющих множество разноформатных торговых точек и площадок, что делает задачу снижения времени, затрачиваемое на разгрузку товаров, особенно актуальной. Одним из оптимальных по цели и затратам решений является разработка системы поддержки принятия решений (СППР), в которой имитационная модель будет являться интеллектуальным ядром (рисунок 1). Имитационную модель будем разрабатывать в российской среде имитационного моделирования AnyLogic. Кроме того, предлагается использовать маркировку QR-кодами ящиков (упаковок) для ускорения процесса идентификации товаров, а для определения местоположения грузов можно использовать RFID технологии.



Рисунок 1 – Концептуальная модель СППР

В базе данных СППР будут храниться эффективные решения той или иной проблемы, поэтому её использование поможет сократить время для принятия соответствующих действий. В случае повторяющихся ситуаций подходящий вариант действий будет находиться еще быстрее. А при наличии отличий в базу данных будут вноситься соответствующие корректировки. Вероятность ошибок при внесении информации в базу данных будет снижена за счёт использования QR-кодов.

СППР будет разработана на модульной архитектуре, т.е. будет состоять из независимых условно компонентов – модулей. Каждый модуль будет выполнять определенную функцию и иметь свою логику и интерфейс для взаимодействия с другими модулями. Это позволит корректировать программную систему и добавлять новые функции при необходимости.

Анализ проводился на примере торгового центра «Омега», расположенного в центральной части города Набережные Челны. Для имитации подъезда грузовых автомобилей к торговому центру и формирования очереди на разгрузку используется дискретно-событийное моделирование, а для идентификации транспортных средств, грузовых единиц и работников склада (грузчиков) – агентное моделирование. При этом мы разделили грузовики по грузоподъемности. После завершения разгрузки автомобиль выезжает из торгового центра.

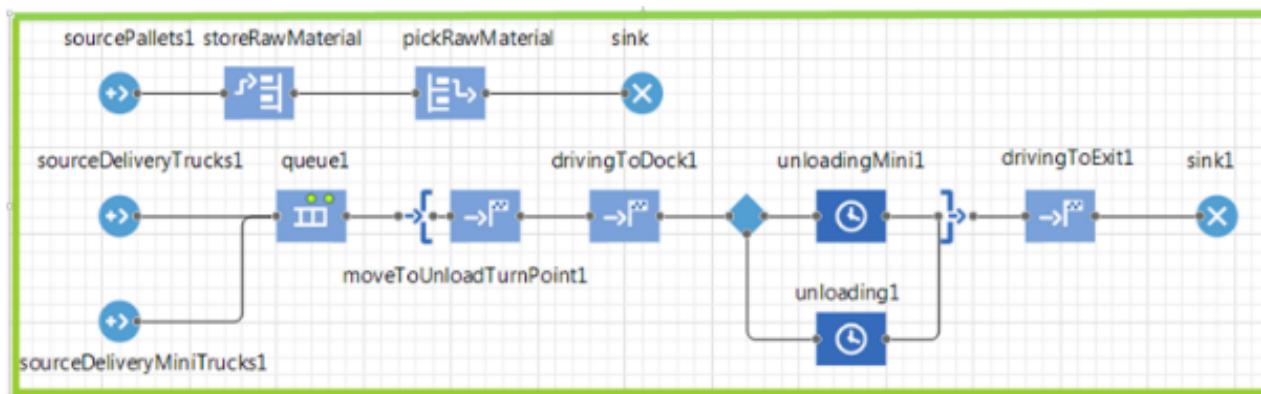


Рисунок 2 – Структура имитационной модели

Верхняя совокупность блоков моделирует жизненный цикл грузовых мест, в которых осуществляется разгрузка товаров. Вторая цепочка блоков моделирует операции, связанные с движением грузового автомобиля и выгрузкой товаров из автомобиля. Алгоритм технологического процесса состоит из следующих операций, предусмотренных в модели: грузовики приезжают на разгрузку, грузчики выгружают коробки, затем автомобиль выезжает из торгового центра.

3 Результаты исследований

План расположения разгрузочных ворот (дебаркадеров) у рассматриваемого торгово-развлекательного центра представлен на рис. 3. Для сбора статистических характеристик в структуру модели добавлены соответствующие блоки накопления статистических данных. Трехмерная анимация построенной модели представлена на рис. 4. Как было сказано ранее, в модели грузовые автомобили классифицированы по грузоподъемности. Соответственно, разные типы автомобилей имеют различное нормативное время разгрузки и расписание прибытия, которое задаётся лицом, принимающим решение в блоке типа «Schedule» (рис. 5).



Рисунок 3 – Схема расположения дебаркадеров

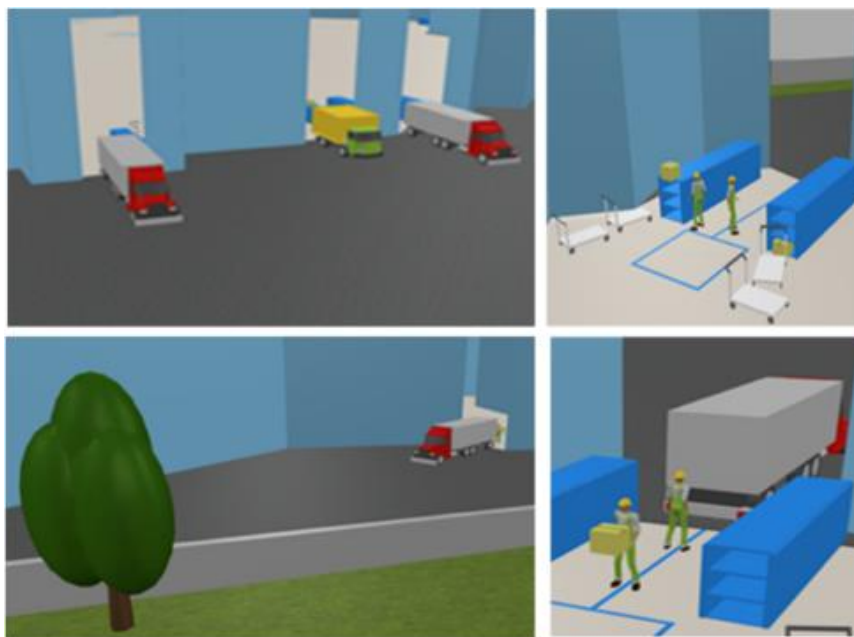


Рисунок 4 – Анимация 3D-модели

scheduleTruck1

Name: ☒ Remove name ☐ Exclude

Visibility: ☒ Yes

Type:

Schedule specifies: ☒ Intervals (start, end) ☐ Time points

Duration: ☒ Week ☐ Days/weeks ☐ Other (no binding)

Default value:

Repeat schedule weekly

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Start	End	Meaning
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8:00	12:00	2
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15:00	16:30	1
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	18:30	20:00	1

Рисунок 5 – Создание графика прибытия грузовиков

Имитационная модель позволяет подобрать оптимальные параметры, изменив текущий вариант использования ресурса в лучшую сторону. Так как целевой функцией является минимизация времени разгрузки и более быстрое освобождение ресурса, на начальном этапе были изучены текущие параметры загрузки ворот и занятости погрузчика. В силу того, что время разгрузки влияет на общую эффективность логистических операций, для заполнения базы данных используются QR-коды. На рис. 6 представлена схема базы данных, которая заполняется информацией из QR-кода грузовой единицы.

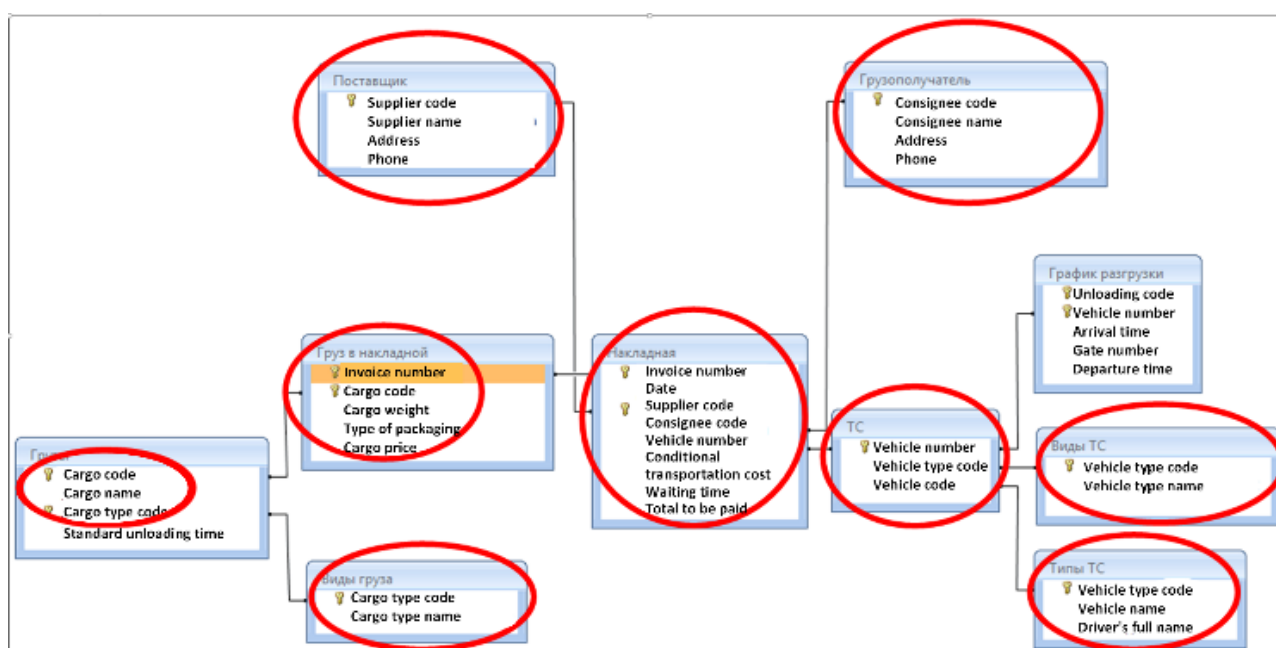


Рисунок 6 – Схема базы данных

4 Обсуждение и заключение

Поскольку работа грузчиков влияет на время разгрузки, мы определили степень занятости грузчиков на разных воротах. На основании анализа эксперимента на модели было выяснено, что занятость грузчиков является неравномерной (рис. 7, А). На одних воротах наблюдается их недостаток, а на других – избыток.

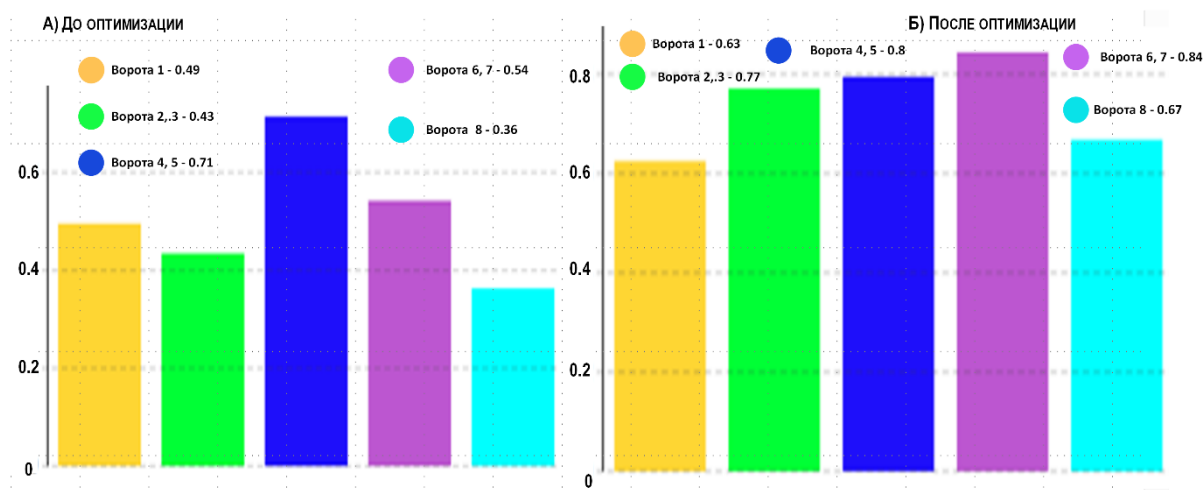


Рисунок 7 – График занятости погрузчика

В связи с этим было принято решение о проведении оптимизационного эксперимента для определения оптимального числа грузчиков на каждом воротах (рис. 8). Расчёты показали, что на первых, вторых и третьих воротах необходимо разместить два грузчика, на четвертых и пятых – по пять грузчиков, на шестых и седьмых – по три, на восьмых воротах – одного грузчика.

Затем мы снова провели симуляционный эксперимент с новыми параметрами (рис. 7, Б). Выяснилось, что использование новых значений числа грузчиков приведёт к более равномерной их занятости. Кроме того, если оптимально управлять временем прибытия грузовиков, сократится время нахождения грузовых автомобилей в очереди для разгрузки.

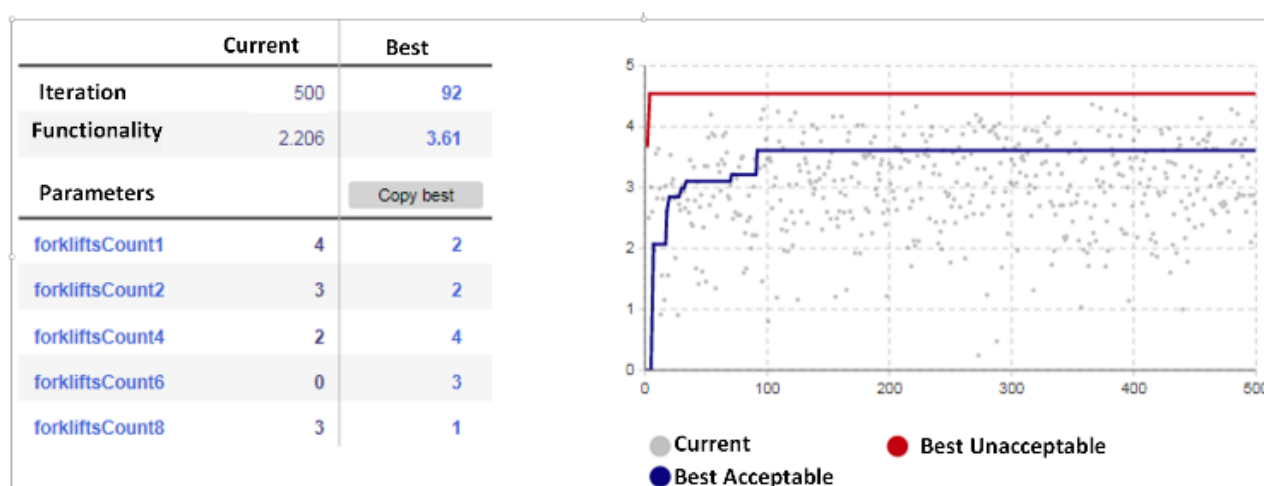


Рисунок 8 – Результаты оптимизационного эксперимента

В табл. 1 показано расчетное время ожидания разгрузки грузовых автомобилей при текущих значениях параметров и при оптимизированных.

Таблица 1 – Время ожидания грузовиков

Ворота (дебаркадер) №	Время ожидания грузовика в очереди	
	Исходное расписание	Оптимальное расписание
1	23 мин.	0,49 мин.
2	39 мин.	0,92 мин.
3	19 мин.	1,12 мин.
4	23 мин.	1,73 мин.
5	19 мин.	0,83 мин.
6	22 мин.	1,24 мин.
7	20 мин.	0,29 мин.
8	18 мин.	1,09 мин.

Исследование логистической системы, в частности погрузочно-разгрузочных операций, продемонстрировало, что имитационное моделирование является мощным и эффективным инструментом для получения обоснованных решений, которые позволяют значительно улучшить логистические операции компаний и, как следствие, в том числе повысить устойчивость логистической деятельности с точки зрения её воздействия на окружающую среду. В итоге это должно привести к повышению эффективности логистической деятельности, что, в свою очередь, улучшит финансовые показатели организаций.

Список литературы

- 1 Аكوпова, Е. С. Особенности стратегического планирования и управления логистическими цепями поставок / Е. С. Аكوпова, А. А. Полуботко, С. И. Самыгин // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2024. – № 2. – С. 103-108.
- 2 Мясникова, О. В. Интеллектуальный цифровой двойник производственно-логистической системы: методика построения и использования для оптимизации системы / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика. – 2023. – № 7. – С. 103-116.
- 3 Wang, X. Construction of logistics management data warehouse model based on deep data mining / X. Wang // Международная конференция по телекоммуникациям, электронике и информатике : материалы конф. (Лиссабон, 11-13 сентября 2023 г.). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2023. – С. 213-218.
- 4 Wu, X. Optimization of distribution mode of the fresh food logistics front warehouse from the perspective of intelligent logistics / X. Wu // Конференция по телекоммуникациям, оптике и информатике : материалы конф. (Шэньян, 10-11 декабря 2021 г.). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2021. – С. 307-311, Конференция IEEE 2021 года по телекоммуникациям, оптике и информатике (TOCS), Шэньян, Китай, 2021 г., С. 307-311.
- 5 Ламехов, В. А. Алгоритм построения прогнозной модели транспортно-логистической деятельности на основе применения нечетких нейронных сетей / В. А. Ламехов, Е. К. Коровяковский // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 3. – С. 137-150.
- 6 Мясоедов, И. В. Анализ применения технологии 5G в логистике / И. В. Мясоедов // Наука, общество, образование в современном мире : сборник статей Международной научно-практической конференции (Пенза, 27 января 2023 г.). – Пенза : Изд-во Наука и Просвещение, 2023. – С. 31-33.
- 7 Zhong, J. Implementation of logistics information system based on data mining and high performance model / J. Zhong, J. Yin, L. Huang // Международная конференция по электронике и возобновляемым системам : материалы конф. (Тутикорин, March 16-18, 2022). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2022. – С. 1692-1696.
- 8 Мерзляк, А. В. Логистические, информационные и управленческие аспекты эволюции экономических парадигм от экономики масштаба до сетевой экономики / А. В. Мерзляк // Российское предпринимательство. – 2015. – № 16(21). – С. 3909–3932.
- 9 Zhang, L. Logistics distribution process design based on stochastic Petri nets and big data algorithms / L. Zhang, J. Li // Международная конференция по компьютерным системам : материалы конф. (Циндао, September 23-25, 2022). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2022. – С. 55-59.

- 10 Liu, Q. Improved deep reinforcement learning for intelligent logistics supply chain transportation decision model / Q. Liu // Международная конференция по интегрированным системам разведки и связи : материалы конф. (Калабурга, November 24-25, 2023). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2023. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10421169> (дата обращения: 25.04.2025).
- 11 Цифровая логистика : материалы Международной студенческой конференции (Москва, 14 декабря 2022 г.). – М.: Изд-во Мир науки, 2022. – 56 с. – ISBN 978-5-907603-57-8.
- 12 You, J. Research on Parcel Transportation of E-Commerce Logistics Network Based on SARIMAX Model / J. You, H. Gao, C. Lin, Z. Mu, Z. Li // 5-я Международная конференция по прикладному машинному обучению : материалы конф. (Далень, 21-23 июля 2023 г.). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2023. – С. 209-213.
- 13 Ци, Ш. Исследование стратегии оптимизации модели интеллектуальной логистики на основе блокчейна / Ш. Ци // Экономика и социум. – 2023. – № 5(108). – С. 864–871.
- 14 Issaoui, Y. An advanced LSTM model for optimal scheduling in smart logistic environment: e-commerce case / Y. Issaoui, A. Khiat, A. Bahnasse, O. Hassan // IEEE Access. – 2021. – № 9. – С. 126337-123356.
- 15 Shah, S. Applicability of Digital Tracking System on Third Party Logistics (TPL) Services / S. Shah, H. See, S. Samadi // Международная конференция по управлению технологиями, операциями и решениями (Маракеш, 24-26 ноября, 2021 г.). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2021. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9750416> (дата обращения: 30.04.2025).
- 16 Белова, Е. А. «Зеленые» технологии в логистике и управлении цепями поставок / Е. А. Белова, И. Ф. Жевтун, А. В. Карбышев // Вестник Академии знаний. – 2021. – № 43(2). – С. 56–62.
- 17 Liu, B. Opportunities and challenges of scheduling in logistics industrial park cyber-physical systems / B. Liu, Y. Liu, Sh. Hu, W. Zhe // IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems. – 2023. – № 1. – С. 322–334.
- 18 Мурлин, А. Г. Многокритериальная оптимизация логистических маршрутов сбора и вывоза твёрдых бытовых отходов / А. Г. Мурлин, В. А. Мурлина, М. В. Янаева, С. В. Кривоногов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2019. – № 2(15). – С. 92–104.
- 19 Ochoa-Olán, J. A modeling and micro-simulation approach to estimate the location, number and size of loading/unloading bays: A case study in the city of Querétaro, Mexico / J. Ochoa-Olán, E. Betanzo-Quezada, J. Romero-Navarrete // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. – 2021. – № 10. – С. 1–13.
- 20 Кузнецов, А. В. Имитационное моделирование в складской логистике / А. В. Кузнецов // Аллея науки. – 2021. – № 5(56). – С. 424–427.
- 21 Mogale, D. G. Modelling and analysing supply chain disruption: a case of online grocery retailer / D. G. Mogale, X. Wang, E. Demir, V. S. Rodrigues // Operations Management Research. – 2023. – № 16. – С. 1901–1924.
- 22 Pinto, R. Loading/unloading lay-by areas location and sizing: a mixed analytic-Monte Carlo simulation approach / R. Pinto, R. Golini, A. Lagorio // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – № 49(12). – С. 961–966.
- 23 Samarawickrama, I. A simulation on unloading, loading and warehousing to reduce the waiting times of the processes / I. Samarawickrama, Sh. Dilanthi, M. Perera // 11-й симпозиум по прикладной науке, бизнесу и промышленным исследованиям (Кулияпития, 14 ноября, 2019 г.). – Кулияпития : Университет Ваямбы Шри-Ланки, 2019. – С. 95-99.
- 24 Осинцев, Н. А. Факторы устойчивого развития транспортно-логистических систем / Н. А. Осинцев, Е. В. Казармшикова // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2017. – № 1(7). – С. 13–21.
- 25 Коншина, Е. П. Внедрение новых технологий для повышения эффективности погрузочно-разгрузочных работ / Е. П. Коншина, К. С. Изосимова, Н. В. Власова // Техника и технологии: пути инновационного развития : сборник научных статей 11-й Международной научно-практической конференции (Курск, 30 июня 2022 г.). – Курск : Изд-во Юго-Западного государственного университета, 2022. – С. 172-176.
- 26 Лапова, А. В. Применение цифрового двойника в логистике / А. В. Лапова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2021. – № 3. – С. 398–401.
- 27 Zhang, W. Design of optimization model and system architecture for container multimodal transport / W. Zhang, W. Song // Международная конференция по компьютерному моделированию и имитации, информационной безопасности : материалы конф. (Буэнос-Айрес, 15-17 ноября 2023 г.). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2023. – С. 452-457.
- 28 Galkin, A. Comparison of urban conventional delivery and green logistics solutions / A. Galkin, Y. Popova, V. Kyselov, T. Kniazieva, M. Kutsenko, N. Sokolova // 13-я Международная конференция по разработкам в области электронных систем : материалы конф. (Ливерпуль, 14-17 декабря 2020 г.). – Нью-Йорк : Изд-во IEEE, 2020. – С. 95-99.

29 Зайцев, Д. А. Совершенствование погрузо-разгрузочных операций на железнодорожной станции / Д. А. Зайцев, Д. В. Гончареня, Е. В. Файзрахманова // Технологии и техника: пути инновационного развития : сборник статей Международной научно-технической конференции (Воронеж, 09 июня 2023 г.). – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного технического университета, 2023. – С. 264-267.

30 Власова, Н. В. Модернизация погрузочно-разгрузочных механизмов на грузовых дворах / Н. В. Власова, А. О. Ранжурова, К. Н. Чиркова // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 1(15). – URL: <https://ojs.ingups.ru/index.php/mns/article/view/461/359> (дата обращения: 05.05.2025).

References

1 Akopova, E. S. Features of strategic planning and management of supply chain logistics / E. S. Akopova, A. A. Polubotko, S. I. Samygin // Humanities, social-economic and social sciences. – 2024. – No. 2. – P. 103-108.

2 Miasnikova, O. V. Intelligent digital twin of the production and logistics system: methodology of construction and use for system optimization / O. V. Miasnikova // Business. Innovations. Economics. – 2023. – No. 7. – P. 103-116.

3 Wang, X. Construction of logistics management data warehouse model based on deep data mining / X. Wang // International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics (Lisbon, September 11-13, 2023). – New York : IEEE, 2023. – P. 213-218.

4 Wu, X. Optimization of distribution mode of the fresh food logistics front warehouse from the perspective of intelligent logistics / X. Wu // Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science (Shenyang, December 10-11, 2021). – New York : IEEE, 2021. – P. 307-311.

5 Lamekhov, V. A. Algorithm for constructing a predictive model of transport and logistics activities based on the use of fuzzy neural networks / V. A. Lamekhov, E. K. Korovyakovskiy // Bulletin of scientific research results. – 2022. – No. 3. – P. 137-150.

6 Myasoedov, I. V. Analysis of the application of 5G technology in logistics / I. V. Myasoedov // Science, society, education in the modern world: collection of articles from the International scientific and practical conference (Penza, January 27, 2023). – Penza : Science and Education Publishing House, 2023. – P. 31-33.

7 Zhong, J. Implementation of logistics information system based on data mining and high performance model / J. Zhong, J. Yin, L. Huang // International Conference on Electronics and Renewable Systems (Tuticorin, March 16-18, 2022). – New York : IEEE, 2022. – P. 1692-1696.

8 Merzlyak, A. V. Logistics, information and management aspects of the evolution of economic paradigms from economies of scale to network economies / A. V. Merzlyak // Russian entrepreneurship. – 2015. – No. 16 (21). – P. 3909-3932.

9 Zhang, L. Logistics distribution process design based on stochastic Petri nets and big data algorithms / L. Zhang, J. Li // International Conference on Computer Systems (Qingdao, September 23-25, 2022). – New York : IEEE, 2022. – P. 55-59.

10 Liu, Q. Improved deep reinforcement learning for intelligent logistics supply chain transportation decision model / Q. Liu // International Conference on Integrated Intelligence and Communication Systems (Kalaburagi, November 24-25, 2023). – New York : IEEE, 2023. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10421169> (accessed: 25.04.2025).

11 Digital logistics: Proceedings of the International Student Conference (Moscow, December 14, 2022). – M.: Mir Nauki, 2022. – 56 p. – ISBN 978-5-907603-57-8.

12 You, J. Research on Parcel Transportation of E-Commerce Logistics Network Based on SARIMAX Model / J. You, H. Gao, C. Lin, Z. Mu, Z. Li // 5th International Conference on Applied Machine Learning (Dalian, July 21-23, 2023). – New York : IEEE, 2023. – P. 209-213.

13 Qi, Sh. Research of the optimization strategy of the blockchain-based intelligent logistics model / Sh. Qi // Economy and society. – 2023. – No. 5(108). – P. 864-871.

14 Issaoui, Y. An advanced LSTM model for optimal scheduling in smart logistic environment: e-commerce case / Y. Issaoui, A. Khiat, A. Bahnasse, O. Hassan // IEEE Access. – 2021. – No. 9. – P. 126337-123356.

15 Shah, S. Applicability of Digital Tracking System on Third Party Logistics (TPL) Services / S. Shah, H. See, S. Samadi // International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (Marrakech, November 24-26, 2021). – New York : IEEE, 2021. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9750416> (accessed: 30.04.2025).

- 16 Belova, E. A. «Green» technologies in logistics and supply chain management / E. A. Belova, I.F. Zhevtun, A.V. Karbyshev // Bulletin of the Academy of Knowledge. – 2021. – No. 43(2). – P. 56–62.
- 17 Liu, B. Opportunities and challenges of scheduling in logistics industrial park cyber-physical systems / B. Liu, Y. Liu, Sh. Hu, W. Zhe // IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems. – 2023. – No. 1. – P. 322–334.
- 18 Murlin, A. G. Multicriteria optimization of logistic routes of collecting and export of municipal solid waste / A. G. Murlin, V. A. Murlina, M. V. Yanayeva, S. V. Krivonogov // Electrical and data processing facilities and systems. – 2019. – No. 2(15). – P. 92–104.
- 19 Ochoa-Olán, J. A modeling and micro-simulation approach to estimate the location, number and size of loading/unloading bays: A case study in the city of Querétaro, Mexico / J. Ochoa-Olán, E. Betanzo-Quezada, J. Romero-Navarrete // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. – 2021. – No. 10. – P. 1–13.
- 20 Kuznetsov, A. V. Simulation modeling in warehouse logistics / A. V. Kuznetsov // Alley of Science. – 2021. – No. 5(56). – P. 424–427.
- 21 Mogale, D. G. Modelling and analysing supply chain disruption: a case of online grocery retailer / D. G. Mogale, X. Wang, E. Demir, V. S. Rodrigues // Operations Management Research. – 2023. – No. 16. – P. 1901–1924.
- 22 Pinto, R. Loading/unloading lay-by areas location and sizing: a mixed analytic-Monte Carlo simulation approach / R. Pinto, R. Golini, A. Lagorio // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – No. 49(12). – P. 961–966.
- 23 Samarawickrama, I. A simulation on unloading, loading and warehousing to reduce the waiting times of the processes / I. Samarawickrama, Sh. Dilanthi, M. Perera // 11th Symposium on Applied Science, Business & Industrial Research (Kuliyapitiya, November 14, 2019). – Kuliyapitiya : Wayamba University of Sri Lanka, 2019. – P. 95-99.
- 24 Osintsev, N. A. Factors of sustainable development of transport and logistics systems / N. A. Osintsev, E. V. Kazarmshchikova // Modern Problems of Russian Transport Complex. – 2017. – No. 7(1). – P. 13–21.
- 25 Konshina, E. P. Introduction of new technologies to improve the efficiency of loading and unloading operations / E. P. Konshina, K. S. Izosimova, N. V. Vlasova // Technology and engineering: ways of innovative development : collection of scientific articles of the 11th International Scientific and Practical Conference (Kursk, June 30, 2022). – Kursk: Publishing house of the South-West State University, 2022. – P. 172-176.
- 26 Lapova, A. V. Application of the supply chain digital twins in logistics / A. V. Lapova // Current issues in aviation and astronautics. – 2021. – No. 3. – P. 398–401.
- 27 Zhang, W. Design of optimization model and system architecture for container multimodal transport / W. Zhang, W. Song // International Conference on Computer Simulation and Modeling, Information Security (Buenos Aires, 15-17 November 2023). – New York : IEEE, 2023. – P. 452-457.
- 28 Galkin, A. Comparison of urban conventional delivery and green logistics solutions / A. Galkin, Y. Popova, V. Kyselov, T. Kniazieva, M. Kutsenko, N. Sokolova // 13th International Conference on Developments in eSystems Engineering (Liverpool, 14-17 December 2020). – New York : IEEE, 2020. – P. 95-99.
- 29 Zaitsev, D. A. Improving loading and unloading operations at a railway station / D. A. Zaitsev, D. V. Goncharenko, E. V. Faizrakhmanova // Technologies and equipment: ways of innovative development: collection of articles from the International scientific and technical conference (Voronezh, June 09, 2023). – Voronezh: Publishing house of the Voronezh State Technical University, 2023. – P. 264-267.
- 30 Vlasova, N. V. Modernization of loading and unloading mechanisms at freight yards / N. V. Vlasova, A. O. Ranzhurova, K. N. Chirkova // Young Science of Siberia. – 2022. – No. 1 (15). – URL: <https://ojs.irsups.ru/index.php/mns/article/view/461/359> (accessed: 05.05.2025).