



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДОСТАВОК В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Макарова Ирина Викторовна,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Сервис транспортных систем», Набережно-
челнинский институт (филиал) Казанского
(Приволжского) федерального университета,
г. Набережные Челны, e-mail: kamivm@mail.ru

✉¹ **Бойко Алексей Дмитриевич**,
старший преподаватель кафедры
«Сервис транспортных систем», Набережно-
челнинский институт (филиал) Казан-
ского (Приволжского) федерального
университета, г. Набережные Челны,
e-mail: boykoaleksey94@gmail.com

Мавляутдинова Гульназ Рашидовна,
старший преподаватель кафедры «Сервис
транспортных систем», Набережночелнинский
институт (филиал) Казанского (Приволжского)
федерального университета, г. Набережные
Челны, e-mail: sadygova_1988@mail.ru

Аннотация. Конкуренция в системе элек-
тронной коммерции в связи с ее быстрым
развитием вынуждает компании к поиску
решений для повышения эффективности.
Наиболее важным вопросом при этом явля-
ются логистические операции, от которых
зависит удовлетворение требований клиен-
тов. Появление интеллектуальных техноло-
гий позволяет перестроить систему до-
ставки интернет-заказов, делая ее более гиб-
кой и удобной. В статье рассматривается
один из способов решения данной про-
блемы. На примере построения двухзвенной
системы доставки из интернет-магазина по-
казано, что предлагаемая система позволит
не только ускорить процесс доставки,
но и снизить нагрузку на транспортную сеть

INTELLIGENT METHODS FOR IMPROV- ING DELIVERY SYSTEM IN E-COMMERCE INDUSTRY

Makarova Irina Viktorovna,
doctor of technical sciences, professor, head of the
department "Service of transport systems", Na-
berezhnye Chelny institute (branch) Kazan (Volga
region) federal university, Naberezhnye Chelny, e-
mail: kamivm@mail.ru

✉¹ **Boyko Aleksey Dmitrievich**,
senior lecturer at the department of
"Service of transport systems", Naberezhnye
Chelny institute (branch) Kazan (Volga Region)
federal university, Naberezhnye Chelny,
e-mail: boykoaleksey94@gmail.com

Mavlyautdinova Gulnaz Rashidovna,
senior lecturer at the department of
"Service of transport systems", Naberezhnye
Chelny institute (branch) Kazan (Volga Region)
federal university, Naberezhnye Chelny,
e-mail: sadygova_1988@mail.ru

Annotation. Competition in the e-commerce sys-
tem due to its rapid development forces companies
to search for solutions to improve efficiency. The
most important issue in this case is logistics oper-
ations, on which customer satisfaction depends.
The advent of intelligent technologies makes it
possible to rebuild the online order delivery sys-
tem, making it more flexible and convenient. The
article discusses one of the ways to solve this
problem. Using the example of building a two-link
delivery system from an online store, it is shown
that the proposed system will not only speed up
the delivery process, but also reduce the load on
the city's transport network both in terms of traffic
and from an environmental point of view. Ulti-
mately, the proposed delivery option will contrib-
ute to the implementation of the ESG concept. The

города как с точки зрения трафика, так и с экологической точки зрения. В конечном итоге предлагаемый вариант доставки будет способствовать реализации концепции ESG. Предлагаемая система использует имитационные модели, которые хорошо себя зарекомендовали для решения подобных задач. Рекомендованы разные варианты курьерских доставок «последней мили».

Ключевые слова: ГОРОДСКАЯ ЛОГИСТИКА, ДОСТАВКА "ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ", ЭЛЕКТРОННАЯ КОММЕРЦИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

proposed system uses simulation models that have proven themselves well for solving such problems. Different options for "last mile" courier deliveries are recommended.

Keywords: URBAN LOGISTICS, LAST MILE DELIVERY, E-COMMERCE, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, SIMULATION MODELING.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Тенденции в сфере розничной торговли и электронной коммерции привели к росту спроса на городские перевозки и курьерские доставки. Это беспокоит не только градостроителей и работников сферы традиционных городских перевозок, но и перевозчиков посылок и жителей городов, поскольку растущие грузовые потоки на городских улицах и придомовых территориях, создают проблемы, которые требуют эффективных решений. Эта тема также получила соответствующее распространение в научной литературе, поскольку исследователи предлагают решения в сфере логистики, в том числе проблемы доставки «последней мили». Использование для этих целей имитационных моделей позволит выбрать оптимальное решение.

Курьерская доставка «e-commerce» – это процесс доставки товаров, приобретенных через интернет-магазины или платформы электронной коммерции, с помощью курьерских служб. Это один из ключевых элементов электронной коммерции, который обеспечивает удобство и скорость доставки товаров покупателям.

Расходы на транспортную логистику стали стремительно расти по целому ряду причин, среди которых неадекватное планирование, отсутствие прозрачности и неправильное принятие решений [1], неразвитая логистическая инфраструктура, низкая эффективность управления логистическими рисками, недостаточная эффективность существующих цепей поставок, что приводит к росту цен, пропущенным поставкам, недовольным клиентам и потере бизнеса [2, 3]. Поэтому выявленные проблемы связаны с необходимостью совершенствования и оптимизации логистики.

Доставка «последней мили» – это заключительный этап логистической цепочки, когда товар доходит до покупателей. Как показывает практика, на доставку «последней мили» приходится больше всего ресурсов и времени, поскольку водителям приходится останавливаться в нескольких адресах для выполнения своих задач. Городская логистика связана с оптимизацией транспортной деятельности в городских районах и планированием распределения товаров. Она становится актуальной проблемой ввиду роста объемов электронной коммерции на урбанизированных территориях. «Последняя миля» доставки вызывает особую озабоченность

из-за давления на ресурсы предприятий и влияния на окружающую среду. Устойчивость становится ключевым направлением в этой области, требуя вовлечения граждан и заинтересованных сторон в процессы принятия решений. Для этого необходимы новые подходы, включая использование концепции умных городов и технологий больших данных и Интернета вещей для сбора и анализа данных в реальном времени. Исследование в Португалии [4] показало возможность разработки модели, которая динамически сотрудничает с заинтересованными сторонами для удовлетворения потребностей граждан в реальном времени и сокращения использования транспортных средств при доставке на «последней миле».

В некоторых исследованиях [5] подчеркивается, что последние несколько лет были периодом кардинальных изменений в электронной коммерции и доставке товаров на дом. Рост каналов доставки на дом и все более широкий спектр услуг, предлагаемых розничными торговцами (например, click & collect), – все это приводит к изменениям в структуре городских грузовых потоков и перемещении транспортных средств в городах. На сложные изменения влияют и другие факторы, такие как демографические изменения и внедрение новых потребительских технологий.

Влияние изменений остается неопределенным. Фрагментация розничного канала может привести к росту движения транспортных средств в городах, поскольку розничные торговцы вынуждены предлагать все более высокий уровень обслуживания более требовательным потребителям. С другой стороны, возросший уровень обслуживания может побудить потребителей изменить свое поведение в поездках и совершать меньше поездок на автомобиле, поскольку их потребности удовлетворяются с помощью сложных систем доставки на дом (или других подходящих альтернатив). Новые сервисы также, вероятно, будут в авангарде внедрения новых транспортных технологий поскольку операция доставки на дом очень заметна потребителям и осуществляется в уязвимых районах городов (т.е. жилых зонах). Многие компании рассматривают возможность использования транспортных средств, работающих на альтернативном топливе, для доставки товаров на дом, что важно с точки зрения экологии и в качестве маркетингового фактора.

Обсуждаемые здесь предлагаемые изменения создают серьезные проблемы для городского планирования. Новые объекты розничной торговли могут очень отличаться по виду, планировке и объемам продаж, что произошло в течение последних 10-20 лет и привело к совершенно иным грузопотокам и схемам передвижения. Это повлияло на движение транспорта и на формирование точек консолидации, необходимых в новых каналах распределения. Важно рассматривать изменения комплексно, принимая во внимание поведение путешественников, а также городскую логистику. Только используя этот целостный подход, можно выявить и оценить потенциальное воздействие расширения использования доставки на дом на эффективность городского планирования в отношении транспортной логистики и экологии.

Проблемы с логистикой в курьерской доставке «e-commerce» могут возникать на различных этапах процесса доставки товаров. Некоторые из них включают:

1. Неэффективное планирование маршрутов: Курьерские службы могут столкнуться с проблемами при планировании маршрутов доставки, что может привести к задержкам и увеличению времени доставки.

2. Недостаточная инфраструктура: недостаток инфраструктуры, такой как склады, транспортные средства и оборудование, может привести к задержкам и неэффективности в процессе доставки.

3. Недостаточная автоматизация: ручной процесс обработки заказов и доставки может быть неэффективным и привести к ошибкам и задержкам.

4. Недостаточная координация: недостаточная координация между различными участниками процесса доставки, такими как интернет-магазин, курьерская служба и покупатель, может привести к задержкам и неэффективности.

5. Недостаточная прозрачность: отсутствие прозрачности в процессе доставки может вызвать недоверие у клиентов и привести к неудовлетворенности.

6. Недостаточная гибкость: недостаточная гибкость в процессе доставки может привести к проблемам при изменении адреса доставки или других условий заказа.

7. Недостаточная безопасность: недостаточная безопасность в процессе доставки может привести к краже или повреждению товаров.

Влияние изменений остается неопределенным. С одной стороны, этот канал розничной торговли может увеличить количество транспортных средств в городах; с другой стороны, электронная коммерция может изменить поведение потребителей в поездках, что может привести к сокращению числа поездок на автомобилях.

Интеллектуальные решения в системах доставки в контексте растущей электронной коммерции

Последние мировые тенденции, связанные с растущим использованием электронной коммерции, становятся проблемой для курьерских перевозок, особенно в процессе «последней мили» доставки товаров конечному розничному получателю. Одним из способов доставки является личное получение посылки в автоматизированном почтовом ящике, доступном для клиента 24/7. Анализ [6] был проведен путем опроса польских пользователей почтоматов, которые предоставили данные, закодированные в соответствии с измерениями модели Кано. Анкета включала двадцать один атрибут, связанных с качеством услуг почтовых автоматов, опрос был проведен среди 468 респондентов. Дальнейшие исследования, по мнению авторов, могут касаться разработки модели принятия решений, расширяя область атрибутов оценки качества услуг почтоматов.

Интерес потребителей к системе электронной коммерции быстро развивается, особенно в сфере онлайн-доставки еды. В связи с этим, обеспечение удовлетворенности клиентов – важная цель для компаний, работающих в этой области. Прогнозирование и сокращение времени курьерской доставки решается как аналитическими методами, так и с помощью моделирования на основе данных систем позиционирования курьеров с помощью GPS, однако проблема усложняется многофакторностью реальной системы городского дорожного движения. В статье [7] представлено применение байесовского вывода для прогнозирования времени доставки еды, что ранее не применялось для решения этой проблемы. По мнению авторов исследования, в дальнейших работах модели могут использовать разные наборы данных для изучения взаимосвязей предикторов.

Использование мобильных устройств для заказов продуктов питания и свежих продуктов очень распространено, но сложность организации их доставки, стимулирует повышение качества логистических услуг (LSQ), особенно в электронной коммерции. Целью исследования [8] было изучение влияния качества обслуживания на удовлетворенность клиентов в сфере электронной коммерции свежих продуктов. Результаты исследования показали, что надежность, удобство, свежесть и качество контакта с персоналом являются четырьмя ключевыми измерениями шкалы LSQ на платформе электронной коммерции для свежих и скоропортящихся товаров.

Целью данного исследования [9] является разработка и изучение измерения опыта клиентов в процессе доставки «последней мили», что является критическим шагом на пути к их удовлетворенности и будущему намерению снова заказывать продукты у того же ритейлера. Предметом исследования был пользовательский опыт при доставке «последней мили», и целью было создание измерительного инструмента для измерения этого опыта. Этот инструмент называется Customer Delivery Experience - Last-Mile Delivery (CDX-LMD). Он представляет собой самооценочную шкалу, которая была разработана для оценки опыта онлайн-покупателей в процессе доставки товаров. Шкала включает шесть факторов:

Delivery Efficiency (Эффективность доставки) – предпочтение эффективности и профессионализму курьерских служб и интернет-магазинов.

Parcel Tracking (Отслеживание посылки) – поведение отслеживания статуса заказа.

Smooth Delivery (Гладкая доставка) – опыт беспроблемного получения посылки.

Visual Appeal (Визуальная привлекательность) – важность визуальной привлекательности компании по доставке и упаковке товара.

Joyful Anticipation (Радостное ожидание) – чувство радости от ожидания и получения посылки.

Convenience (Удобство) – убеждение в удобстве и полезности онлайн-шопинга по сравнению с традиционным походом в магазин.

Авторы провели обширный анализ психометрических свойств этого инструмента и подтвердили его надежность и валидность. Инновационность этой работы отражена в предлагаемом измерительном инструменте, который может иметь решающее значение для будущих исследований.

Основная цель исследования [10] – определить, какие факторы наиболее существенно влияют на удовлетворенность клиентов в процессе доставки «последней мили» (LMD), в котором было применено структурное уравнение моделирования (SEM). Предложенная модель SEM показала хорошее соответствие. Статистически значимыми предикторами удовлетворенности клиентов при этом были доверие к курьерской службе, цена доставки, скорость и звонок курьера перед доставкой. Авторы считают, что развитию электронной коммерции и логистических услуг в области доставки продукции служат непрерывные исследования в этой области.

Предлагаемые интеллектуальные решения в области доставки

В статье [11] рассматривается проблема оптимизации ассортимента в нескольких местах при совместной доставке дронами и людьми-курьерами. Для максимизации дохода розничного продавца, одновременно настраиваются ассортимент товаров и методы доставки «последней мили». Для описания поведения клиентов применяют смешанную полиномиальную логит-модель. Учитывается также грузоподъемность дронов и ограничение по расстоянию доставки дронов и курьеров-людей. Новизна предложенного решения обусловлена применением модели смешанно-целочисленного линейного программирования (MILP), которая преобразуется в квадратичную смешанно-целочисленную модель с неравенствами Маккормика (Conic + MC).»

Хотя использование курьеров-дронов для доставки имеет множество преимуществ по сравнению с традиционными методами, однако большинство городских жителей не могут пока оценить преимущество такого способа доставки. Целью исследования [12] является выяснение причин такого отношения с целью расширения метода доставки дронами в ближайшей перспективе. Актуальность этой статьи обусловлена необходимостью разработки и внедрения правил и стандартов

безопасности полетов дронов для других видов воздушного движения и массовых мероприятий, а также их содействию общим целям городского планирования и устойчивого развития.

Цифровизация становится все более важной для экономической деятельности и экономического развития. Электронная коммерция, как часть местной и международной торговли, приобретает все большее значение и тесно связана с технологическим прогрессом и инновациями. В исследовании [13] изучается актуальность драйверов по глобальному развитию электронной коммерции. Авторы использовали для анализа панельные и жесткие данные из различных БД (ЮНКТАД, Всемирный банк и т. д.). Новизна исследования заключается в использовании данных по странам, собранных из различных источников за несколько лет, что обеспечивает альтернативный подход в области электронной коммерции.

В обзоре [14] изучаются основные математические модели, применяемые в городской логистике, с упором на проблемы маршрутизации, местоположения и перевалки. Исследование рассматривает растущий спрос на эффективные и устойчивые логистические решения, обусловленные ростом населения и расширением электронной коммерции. Эвристические методы наиболее широко используются из-за их способности предоставлять надежные и высококачественные решения за сокращенное время вычислений, что имеет решающее значение для приложений в реальном времени. Было показано, что эти методы значительно повышают эксплуатационную эффективность и снижают затраты, особенно в сценариях с участием электромобилей.

Для удовлетворения переменчивого рыночного спроса и конкуренции в сфере электронной коммерции, усиливается необходимость соблюдения более жестких сроков доставки. Поэтому для минимизации эксплуатационных расходов и повышения экономической и экологической устойчивости, необходимо повышать эффективность работы распределительных центров. В исследовании [15] использовался инструмент моделирования для воспроизведения 1260 различных конфигураций склада.

В мире электронного бизнеса развивается концепция и практика шопстриминга (шопинга в прямом эфире), поскольку он интегрирует технологию шопинга в прямом эфире с электронной коммерцией. Исследование [16] посвящено изучению связей между этими технологиями путем изучения ассоциации в контексте моды и товаров личной гигиены (FPC), на основе когнитивных, эмоциональных и физиологических процессов, влияющих на поведение покупателя.

Цель статьи [17] – рекомендовать продукты с помощью интеллектуального анализа ассоциативных правил с сайта электронной коммерции с помощью концепции фильтрации. Авторы использовали алгоритмы Argioi и FP-Growth для того, чтобы покупатели могли получать рекомендации и покупать продукты. Рекомендательные системы являются неотъемлемой частью успеха платформ электронной коммерции, предоставляя персонализированный опыт покупок, который стимулирует вовлеченность пользователей и продажи. Помимо этого, был разработан гибридный алгоритм для рекомендации продуктов и его полученная точность составила 81 %.

Быстрый рост рынка электронной коммерции в секторе розничной торговли привел к увеличению спроса на услуги доставки на дом в последние годы. Статья [18] фокусируется на связи между близостью к станциям общественного скоростного транспорта и механизмом выбора способа совершения покупок. Исследование показывает, что модели путешествий, характеризующиеся зависимостью от MRT, могут привести к различным механизмам выбора способа совершения покупок и различным уровням склонности к онлайн-покупкам.

Быстрое развитие цифровых технологий размывало грань между онлайн- и традиционными магазинами, что привело к распространению многоканальной розничной торговли. В

исследовании [19] рассматриваются две широко используемые стратегии — «Купить онлайн и забрать в магазине» (BOPS) и «Доставка из магазина» (SFS). Анализируется цепочка поставок, в которой производитель продает продукцию национальных брендов через платформу электронной коммерции (e-platform), которая также предлагает продукцию своих собственных брендов. Такой подход повышает гибкость выполнения заказов и отвечает разнообразным покупательским предпочтениям потребителей, тем самым повышая прибыльность компаний.

Последствия пандемии

Пандемия COVID-19 значительно увеличила количество курьеров для доставки в сфере электронной коммерции в России. С введением локдаунов и ограничений на передвижение, онлайн-покупки стали наиболее предпочтительным способом приобретения товаров. Например, в 2020 году Ozon зафиксировал резкий рост заказов, что вызвало необходимость удвоить количество курьеров для выполнения доставки. В условиях пандемии компании электронной коммерции такие как Wildberries и Ozon, активно набирали новых курьеров и заключали договоры с внешними логистическими партнерами для обработки возросшего объема заказов [20, 21].

По данным различных исследований, спрос на курьерские услуги увеличился в несколько раз. Например, рынок доставки продуктов и готовой еды вырос на 69% по сравнению с предыдущим годом. Компании, такие как Delivery Club и «Яндекс.Еда», также зафиксировали значительный рост количества заказов и пользователей, что потребовало увеличения штата курьеров. В целом, пандемия COVID-19 привела к структурным изменениям в секторе электронной коммерции, где курьерская доставка стала неотъемлемой частью обслуживания клиентов, обеспечивая их потребности в условиях строгих ограничений [22].

В апреле 2019 года интернет-магазин Ozon, третий по обороту среди онлайн-ритейлеров в России (согласно данным Data Insight), столкнулся с резким увеличением числа заказов. Продажи товаров для творчества возросли на 164%, товаров для фитнеса — на 166%, для ремонта — на 76%, а машинок для стрижки волос — на 317% по сравнению с предыдущим годом. В результате ритейлер доставил рекордное количество посылок — 2,2 миллиона заказов за апрель [23].

Крупнейший российский ритейлер X5 Retail Group сообщил о росте онлайн-продаж в 4,7 раза до 1,7 миллиарда рублей за апрель. В конце месяца X5 доставляла более 23 000 заказов в день. Сервис доставки еды из ресторанов Delivery Club отчитался о выполнении свыше 5,5 миллионов заказов в мае — это в три раза больше по сравнению с маем 2019 года и на 1 миллион заказов больше, чем в апреле. Пользовательская база сервисов «Яндекс.Еда» и «Яндекс.Лавка» с марта увеличилась на 121 %: охват «Еды» в России утроился, число новых ресторанов выросло на 7000 до 24 000, а «Лавка» распространила свою деятельность на всю Москву и почти весь Санкт-Петербург, начав работать круглосуточно.

Основная нагрузка от возросшего спроса легла на службы доставки. Если ранее покупатели Ozon предпочитали забирать свои заказы в пунктах выдачи, постаматах или почтовых отделениях, то с апреля доля курьерской доставки увеличилась вдвое и впервые сравнялась с долей пунктов выдачи, а в Москве достигла 80%. Незадолго до карантина Ozon отказался от собственной курьерской службы: в конце января компания объявила о полной передаче «последней мили» партнёрским организациям [24].

2 Материалы и методы

На данный момент крупные игроки рынка электронной коммерции производят доставку из крупных сортировочных центров напрямую клиентам. Такой способ не позволяет точно определить время доставки до клиента, из-за чего временное окно доставки составляет весь день. Для таких доставок применяются фургоны, либо индивидуальные автомобили, которым не всегда можно удобно добраться до адреса, а также неэффективно его использовать для доставки малогабаритных товаров.

В качестве решения предлагается ввести звено доставки в виде ближайшего до клиента ПВЗ откуда курьер на средствах индивидуальной мобильности (СИМ) или же пеший курьер доставляет уже до клиента. Поток товаров объединяется до звена в виде ПВЗ, где клиент уже может забрать заказ самостоятельно, либо заказ переходит на этап доставки последней мили посредством курьера. Таким образом мы снижаем количество фургонов на дорогах города, переводя доставку последней мили на курьеров с СИМ.

Переводя доставку последней мили на аутсорсинг, оставляя за собой управление, подготовку и планирование, а также применяя современные информационные технологии, мы приближаем данную логистическую систему к уровню 5PL. Пятый уровень логистики (5PL) представляет собой систему, которая занимается планированием, подготовкой, управлением и контролем всех составляющих единой цепи транспортировки грузов с использованием электронных средств информации [25].

3 Результаты исследований

Актуальной проблемой для города Набережные Челны с населением более 500 тыс. человек является наличие многочисленных пунктов выдачи заказов различных сетей электронной коммерции, расположенных в черте города, что затрудняет доставку грузов и увеличивает время курьерских доставок, особенно в дневное время. Проблему можно решить, снизив количество грузовиков на дорогах города за счет совмещения доставки грузов до пунктов выдачи заказов с теми грузами, которые впоследствии будут развозить курьеры. Тем самым курьерская доставка будет производиться не с центрального склада, а с пункта выдачи заказов, который находится вблизи адреса доставки. Цель – ускорить процесс курьерской доставки, а также снизить интервал времени ожидания клиентом получения посылки. Достичь этой цели возможно путем создания системы поддержки принятия решений (СППР) (рис. 1), интеллектуальным ядром которой станет имитационная модель. Для создания модели использовалась система имитационного моделирования AnyLogic.

Применение СППР позволит сократить время принятия решений, так как в базе данных будут храниться эффективные решения. Это позволит в случае повторяющихся ситуаций быстро находить подходящий вариант, а в случае незначительных отличий вносить соответствующие коррективы. Модульная архитектура СППР позволяет с минимальными затратами корректировать систему по мере возникновения новых задач. Интеллектуальное ядро системы в виде Имитационной модели также может корректироваться при изменении внешних условий. Для упрощения работы пользователей и взаимодействия между модулями разработаны соответствующие интерфейсы.

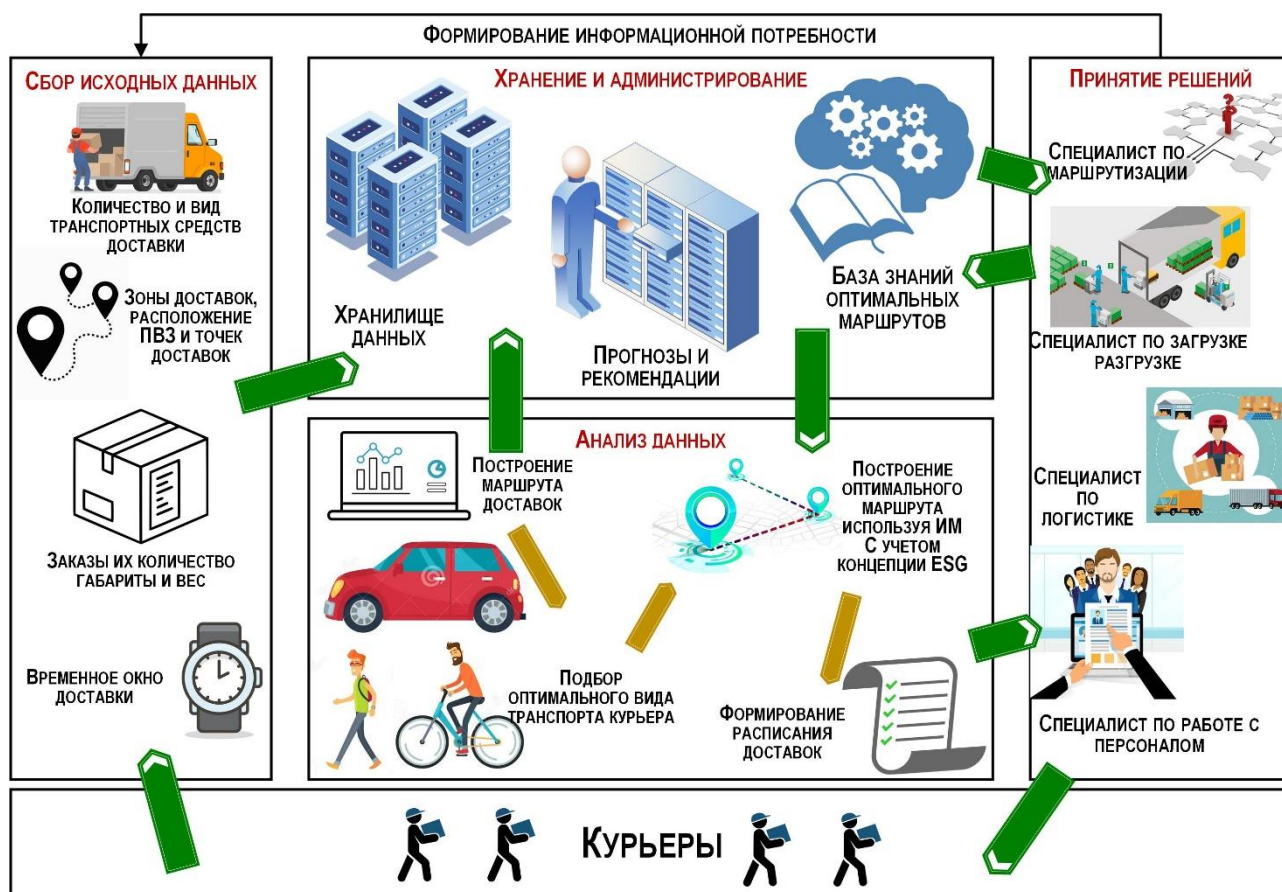


Рисунок 1 – Концептуальная схема системы

Транспортная модель

Эффективность предлагаемого решения необходимо проверить на имитационной модели (рис.2). За основу была взята часть района Нового города Набережные Челны. Для размещения ГИС-точек пунктов выдачи заказов и сортировочного центра использовалась существующая сеть интернет-магазина ОЗОН. Для наглядного сравнения было построено несколько моделей, в первой было отображено текущее положение пунктов логистики доставки. Из сортировочного центра автомобили с заказами отправляются в пункты выдачи заказов и по адресам клиентов. Во второй модели было отображено предлагаемое решение, при котором не создается нагрузка на транспортную систему города, т.к. доставка «последней мили» передается на курьеров, не перемещающихся по дорогам общего пользования. В модели отображены только фургоны доставки до пунктов выдачи заказов, доставляющие заказы для самовывоза и для последующей передачи курьерам.

Цель построения имитационной модели – определение оптимального количества автомобилей, необходимых для доставки в системе электронной коммерции. В качестве целевой функции выбирается степень загрузки автомобиля, она максимизируется, но и не должна превышать 85 % от наибольшей (рис. 3, 4).

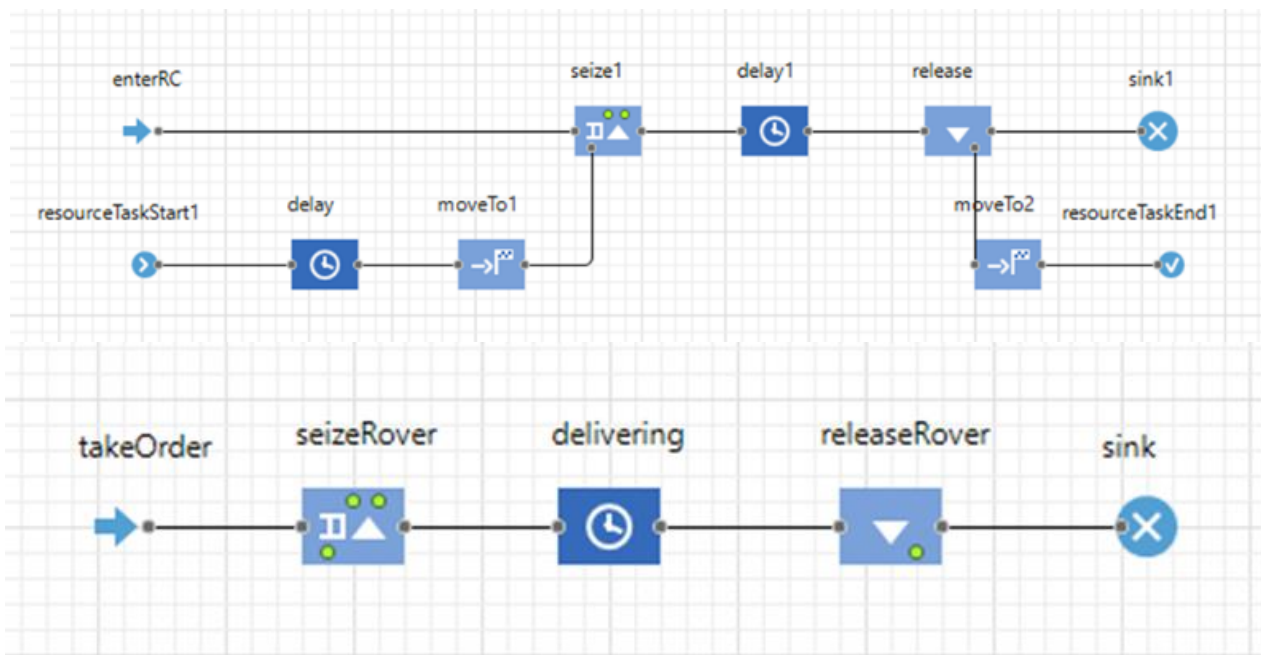


Рисунок 2 – Схема (скрин из «AnyLogic») имитационной модели двухзвенной доставки

	Текущее	Лучшее
Итерация:	39	32
Функционал↑	0.781	0.848
Параметры	Copy best	
колГрузовиков	23	14

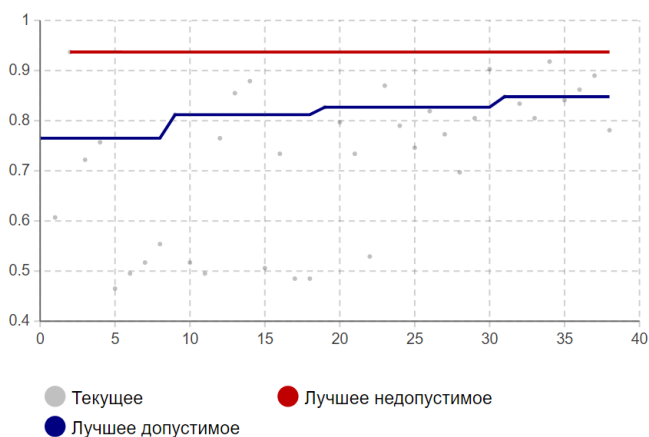


Рисунок 3 – Оптимизационный эксперимент для текущего варианта доставок в системе электронной коммерции (скрин из «AnyLogic»)

	Текущее	Лучшее
Итерация:	10	4
Функционал↑	0.599	0.794
Параметры	Copy best	
vehicleNumber	5	3



Рисунок 4 – Оптимизационный эксперимент для предлагаемого варианта доставки в системе электронной коммерции (скрин из «AnyLogic»)

Согласно оптимизационному эксперименту для предлагаемого варианта доставки в системе электронной коммерции необходимое количество автомобилей равно 3. В то время как для текущего варианта доставки требуется 14. Такое существенное изменение достигается за счет перевода доставки «последней мили» на курьеров, не передвигающихся по дорогам общего пользования, что позволит снизить нагрузку на транспортную сеть города.

Оценка социального эффекта внедрения предлагаемого решения

Предположительный социальный эффект может быть оценен величиной временного окна, необходимого для доставки заказа клиенту. В текущем случае курьер собирает множество заказов для доставки по всему городу в течении целого рабочего дня, что приводит к временному окну (необходимости заказчику ожидания курьера) равному рабочему дню курьера. Это создает неудобства, вызываемые неопределенностью времени доставки. При предлагаемом варианте доставки, ПВЗ, где лежит заказ клиента, находится в небольшой удаленности от клиента. Согласно брендбукам крупнейших онлайн магазинов минимальное расстояние между ПВЗ должно составлять 500 м. Получается, при условии максимальной удаленности от ПВЗ в 500 метров, с учетом времени на загрузку курьера, окно доставки можно сократить до получаса.

Кроме того, снижение используемых курьерскими службами транспортных средств положительно сказывается на транспортной сети города. Это поможет сократить количество заторов, уменьшить количество ДТП, улучшить экологическую ситуацию. Комплексные решения, направленные на совершенствование транспортной системы города с использованием парадигмы ESG, позволяют сделать город биопозитивным и устойчивым за счет оптимизации транспортной системы.

Оценка экологической эффективности

Экологическая эффективность обеспечивается снижением общего числа фургонов, используемых в доставке электронной коммерции, а также переводом курьеров на доставку пешком или с использованием СИМ.

Суммарное время езды для фургонов выбиралось из имитационной модели для текущего варианта доставки (параметр routeK), оно составило 2110 часов.

В то же время, суммарное время езды для фургонов из имитационной модели для предлагаемого варианта доставки электронной коммерции составило 71 час.

Такая существенная разница обусловлена уменьшением парка фургонов с последующим привлечением курьеров на СИМ.

Если пройденный путь, взятый из имитационных моделей, умножить на пробеговые выбросы, то получаем значения выбросов для каждого варианта курьерских доставок (табл. 1).

Таблица 1 – Выбросы согласно перемещениям автомобилей имитационных моделей

Выброс, г/км	Выбросы в варианте 1, г	Выбросы в варианте 2, г
СО – 4,60	349416	11757,6
NO _x (в пересчете на NO ₂) – 1,80	136728	4600,8
СН – 0,70	53172	1789,2
Сажа – $3,70 \times 10^{-2}$	2810,52	94,572
SO ₂ – $1,40 \times 10^{-2}$	1063,44	35,784
Формальдегид – $2,50 \times 10^{-3}$	189,9	6,39
Бенз(а)пирен – $0,20 \times 10^{-6}$	15192×10^{-6}	$0,0005112 \times 10^{-6}$

Полученные результаты выбросов свидетельствуют о снижении выбросов для предлагаемого варианта доставки.

4 Обсуждение и заключение

Рассматриваемые тенденции в сфере электронной коммерции и городских перевозок подчеркивают необходимость оптимизации логистики, особенно доставки "последней мили". Рост спроса на курьерские услуги и изменение структуры городских грузопотоков требуют новых подходов к транспортной системе городов. Применение инновационных решений, таких как перевод части доставки на курьеров с использованием СИМ, а также использование пунктов выдачи заказов (ПВЗ), может значительно сократить нагрузку на транспортную сеть и улучшить экологическую обстановку. Имитационная модель показала значительное сокращение количества используемых автомобилей и выбросов вредных веществ, что способствует повышению устойчивости городов и улучшению качества жизни их жителей.

Список литературы

- 1 Интернет-ресурс: 6 Ways to Reduce Costs in Logistics (2023). URL: <https://alliance.net/blog/detail/6-ways-to-reduce-costs-in-logistics> (дата обращения 14.02.2023).
- 2 Ryashko M.L. Logistics. Fundamentals of planning and evaluating the effectiveness of logistics systems. [Логистика. Основы планирования и оценки эффективности логистических систем]. Ekaterinburg: Publishing house of Ural University. 2014. С. 12-25.
- 3 Shaforostova N.I. Methods for optimizing logistics costs. [Методы оптимизации логистических издержек]. Young scientist. 2021. № 2 (344). pp. 286-288.
- 4 Diogo Correia, Cristiano Vagos, João Lourenço Marques & Leonor Teixeira. Fulfilment of last-mile urban logistics for sustainable and inclusive smart cities: a case study conducted in Portugal, International Journal of Logistics Research and Applications, 2022. pp. 931-958. DOI: 10.1080/13675567.2022.2130211.
- 5 Интернет-ресурс: Edoardo Marcucci, Valerio Gatta, Giacomo Lozzi. City Logistics landscape in the era of on-demand economy. Main challenges, trends and factors influencing city logistics. D1.1 - City Logistics landscape in the era of on-demand economy. URL: https://www.leadproject.eu/wp-content/uploads/2021/02/LEAD_D1.1_City-Logistics-landscape-in-the-era-of-on-demand-economy-1.pdf (дата обращения 14.02.2023).
- 6 Cieśla, M. Perceived Importance and Quality Attributes of Automated Parcel Locker Services in Urban Areas. Smart Cities 2023, 6, 2661-2679. <https://doi.org/10.3390/smartcities6050120>.
- 7 Pomykacz, J.; Gibas, J.; Baranowski, J. Bayesian Modeling of Travel Times on the Example of Food Delivery: Part 2 – Model Creation and Handling Uncertainty. Electronics 2024, 13, 3418-3439. <https://doi.org/10.3390/electronics13173418>,
- 8 Wang, L.; Tang, Y.-M.; Chau, K.-Y.; Zheng, X. Empirical Research of Cold-Chain Logistics Service Quality in Fresh Product E-Commerce. J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res. 2024, 19, С 2543-2556. <https://doi.org/10.3390/jtaer19030122>.

9 Vrhovac, V.; Vasić, S.; Milisavljević, S.; Dudić, B.; Štarchoň, P.; Žižakov, M. Measuring E-Commerce User Experience in the Last-Mile Delivery. *Mathematics* 2023, 11, 1482. pp. 1482-1502. <https://doi.org/10.3390/math11061482>.

10 Vrhovac, V.; Dakić, D.; Milisavljević, S.; Ćelić, Đ.; Stefanović, D.; Janković, M. The Factors Influencing User Satisfaction in Last-Mile Delivery: The Structural Equation Modeling Approach. *Mathematics* 2024, 12, pp. 1857-1885. <https://doi.org/10.3390/math12121857>.

11 Wu, M.; Pei, Z. Multi-Location Assortment Optimization with Drone and Human Courier Joint Delivery. *Appl. Sci.* 2023, 13, pp. 5441-5457. <https://doi.org/10.3390/app13095441>.

12 Zhang, Z.; Xiao, C.-Y.; Zhang, Z.-G. Analysis and Empirical Study of Factors Influencing Urban Residents' Acceptance of Routine Drone Deliveries. *Sustainability* 2023, 15, pp. 13335-13361. <https://doi.org/10.3390/su151813335>.

13 Paun, C.; Ivascu, C.; Olteteanu, A.; Dantis, D. The Main Drivers of E-Commerce Adoption: A Global Panel Data Analysis. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2024, 19, pp. 2198-2217. <https://doi.org/10.3390/jtaer190301070>.

14 Moreno, R.P.R.; Lopes, R.B.; Ferreira, J.V.; Ramos, A.L.; Correia, D. A Study of the Main Mathematical Models Used in Mobility, Storage, Pickup and Delivery in Urban Logistics: A Systematic Review. *Systems* 2024, 12, pp. 374-400. <https://doi.org/10.3390/systems12090374>.

15 Suppini, C.; Lysova, N.; Bocelli, M.; Solari, F.; Tebaldi, L.; Volpi, A.; Montanari, R. From Single Orders to Batches: A Sensitivity Analysis of Warehouse Picking Efficiency. *Sustainability* 2024, 16, pp. 8231-8248. <https://doi.org/10.3390/su16188231>.

16 Mutambik, I. The Emerging Phenomenon of Shopstreaming: Gaining a More Nuanced Understanding of the Factors Which Drive It. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2024, 19, pp. 2522-2542. <https://doi.org/10.3390/jtaer19030121>.

17 Padhy, N.; Suman, S.; Priyadarshini, T.S.; Mallick, S. A Recommendation System for E-Commerce Products Using Collaborative Filtering Approaches. *Eng. Proc.* 2024, 67, pp. 50-60. <https://doi.org/10.3390/engproc2024067050>.

18 Onuma, Y.; Sakai, T.; Hyodo, T. Does Proximity to MRT Stations Affect Online Shopping Use? An Analysis Using Data from Japan and New York. *Urban Sci.* 2024, 8, pp. 154-173. <https://doi.org/10.3390/urbansci8040154>.

19 Yu, J.; Ren, Y.; Zhou, C. Strategic Interactions in Omnichannel Retailing: Analyzing Brand Competition and Optimal Strategy Selection. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2024, 19, pp.2557-2581. <https://doi.org/10.3390/jtaer19040123>.

20 Интернет-ресурс: Основные тенденции развития электронной коммерции в России и мире в 2023 году: ТОП-15 трендов. URL: <https://vc.ru/trade/620609-osnovnye-tendencii-razvitiya-elektronnoy-kommercii-v-rossii-i-mire-v-2023-godu-top-15-trendov>. (дата обращения 14.02.2023).

21 Интернет-ресурс: Рынок e-commerce в России: тренды и новые решения. URL: <https://plus.rbc.ru/partners/5fd0cfff7a8aa90fc83656b1>. (дата обращения 14.02.2023).

22 Гончарук, И. В. Обзор исследований о влиянии пандемии covid-19 на развитие мировой и российской электронной торговли. Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2021. – №1. – (94). С. 66-82

23 Ребязина В.А., Шарко Е.Р., Березка С.М., Старков А.Г. Развитие электронной коммерции в России: влияние пандемии COVID-19. НИУ ВШЭ, 2021. С. 28-36.

24 Интернет-ресурс: Мальцева А. Диванная революция: как самоизоляция вывела службы доставки на сверхскорости. URL: <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2020/06/17/832457-divannaya-revolyuutsiya>. (дата обращения 14.02.2023).

25 Пауль Д.А., Бедило Д.С., Лядова А.А., Лямина О.С. Исследование рынка PL-провайдеров России и Челябинской области, современная экономика и общество глазами молодых исследователей, сборник статей участников Международной научно-практической конференции V Уральского вернисажа науки и бизнеса: в 3 томах. Том 3. – 2018. – С. 20-24.

References

1 Internet resource: 6 Ways to Reduce Costs in Logistics (2023). URL: <https://alliance.net/blog/detail/6-ways-to-reduce-costs-in-logistics> (accessed 14.02.2023).

2 Ryashko M.L. Logistics. Fundamentals of planning and evaluating the effectiveness of logistics systems. [Logistics. Fundamentals of planning and evaluating the effectiveness of logistics systems]. Ekaterinburg: Publishing house of Ural University. 2014. pp. 12-25.

- 3 Shaforostova N.I. Methods for optimizing logistics costs. [Methods for optimizing logistics costs]. Young scientist. 2021. No. 2 (344). pp. 286-288.
- 4 Diogo Correia, Cristiano Vagos, João Lourenço Marques & Leonor Teixeira. Fulfillment of last-mile urban logistics for sustainable and inclusive smart cities: a case study conducted in Portugal, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2022. pp. 931-958. DOI: 10.1080/13675567.2022.2130211.
- 5 Internet resource: Edoardo Marcucci, Valerio Gatta, Giacomo Lozzi. City Logistics land-scape in the era of on-demand economy. Main challenges, trends and factors influencing city logistics. D1.1 - City Logistics landscape in the era of on-demand economy. URL: https://www.leadproject.eu/wp-content/uploads/2021/02/LEAD_D1.1_City-Logistics-landscape-in-the-era-of-on-demand-economy-1.pdf (accessed 02/14/2023).
- 6 Cieśla, M. Perceived Importance and Quality Attributes of Automated Parcel Locker Services in Urban Areas. *Smart Cities* 2023, 6, 2661-2679. <https://doi.org/10.3390/smartcities6050120>.
- 7 Pomykacz, J.; Gibas, J.; Baranowski, J. Bayesian Modeling of Travel Times on the Example of Food Delivery: Part 2 – Model Creation and Handling Uncertainty. *Electronics* 2024, 13, 3418-3439. <https://doi.org/10.3390/electronics13173418>,
- 8 Wang, L.; Tang, Y.-M.; Chau, K.-Y.; Zheng, X. Empirical Research on Cold-Chain Logistics Service Quality in Fresh Product E-Commerce. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2024, 19, pp. 2543-2556. <https://doi.org/10.3390/jtaer19030122>.
- 9 Vrhovac, V.; Vasić, S.; Milisavljević, S.; Dudić, B.; Starchoň, P.; Žižakov, M. Measuring E-Commerce User Experience in the Last-Mile Delivery. *Mathematics* 2023, 11, 1482. pp. 1482-1502. <https://doi.org/10.3390/math11061482>.
- 10 Vrhovac, V.; Dakić, D.; Milisavljević, S.; Celić, Đ.; Stefanović, D.; Janković, M. The Factors of Influencing User Satisfaction in Last-Mile Delivery: The Structural Equation Modeling Approach. *Mathematics* 2024, 12, pp. 1857-1885. <https://doi.org/10.3390/math12121857>.
- 11 Wu, M.; Pei, Z. Multi-Location Assortment Optimization with Drone and Human Courier Joint Delivery. *Appl. Sci.* 2023, 13, pp. 5441-5457. <https://doi.org/10.3390/app13095441>.
- 12 Zhang, Z.; Xiao, C.-Y.; Zhang, Z.-G. Analysis and Empirical Study of Factors of Influencing Urban Residents' Acceptance of Routine Drone Deliveries. *Sustainability* 2023, 15, pp. 13335-13361. <https://doi.org/10.3390/su151813335>.
- 13 Paun, C.; Ivascu, C.; Olteteanu, A.; Dantis, D. The Main Drivers of E-Commerce Adoption: A Global Panel Data Analysis. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2024, 19, pp. 2198-2217. <https://doi.org/10.3390/jtaer190301070>.
- 14 Moreno, R.P.R.; Lopes, R.B.; Ferreira, J.V.; Ramos, A. L.; Correia, D. A Study of the Main Mathematical Models Used in Mobility, Storage, Pickup and Delivery in Urban Logistics: A Systematic Review. *Systems* 2024, 12, pp. 374-400. <https://doi.org/10.3390/systems12090374>.
- 15 Suppini, C.; Lysova, N.; Bocelli, M.; Solari, F.; Tebaldi, L.; Volpi, A.; Montanari, R. From Single Orders to Batches: A Sensitivity Analysis of Warehouse Picking Efficiency. *Sustainability* 2024, 16, pp. 8231-8248. <https://doi.org/10.3390/su16188231>.
- 16 Mutambik, I. The Emerging Phenomenon of Shopstreaming: Gaining a More Nuanced Understanding of the Factors Which Drive It. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2024, 19, pp. 2522-2542. <https://doi.org/10.3390/jtaer19030121>.
- 17 Padhy, N.; Suman, S.; Priyadarshini, T.S.; Mallick, S. A Recommendation System for E-Commerce Products Using Collaborative Filtering Approaches. *Eng. Proc.* 2024, 67, pp. 50-60. <https://doi.org/10.3390/engproc2024067050>.
- 18 Onuma, Y.; Sakai, T.; Hyodo, T. Does Proximity to MRT Stations Affect Online Shopping Use? An Analysis Using Data from Japan and New York. *Urban Sci.* 2024, 8, pp. 154-173. <https://doi.org/10.3390/urbansci8040154>.
- 19 Yu, J.; Ren, Y.; Zhou, C. Strategic Interactions in Omnichannel Retailing: Analyzing Brand Competition and Optimal Strategy Selection. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2024, 19, pp.2557-2581. <https://doi.org/10.3390/jtaer19040123>.
- 20 Internet resource: The main trends in the development of e-commerce in Russia and the world in 2023: TOP-15 trends. URL: <https://vc.ru/trade/620609-osnovnye-tendencii-razvitiya-elektronnoy-kommercii-v-rossii-i-mire-v-2023-godu-top-15-trendov>. (date of access 02/14/2023).
- 21 Internet resource: The e-commerce market in Russia: trends and new solutions. URL: <https://plus.rbc.ru/partners/5fd0cfff7a8aa90fc83656b1>. (date accessed 14.02.2023).
- 22 Goncharuk, I. V. Review of research on the impact of the covid-19 pandemic on the development of global and Russian e-commerce. *Russian Customs Policy in the Far East*. 2021. - No. 1. - (94). P. 66-82

23 Rebyazina V. A., Sharko E. R., Berezka S. M., Starkov A. G. Development of e-commerce in Russia: the impact of the COVID-19 pandemic. HSE University, 2021. P. 28-36.

24 Internet resource: Maltseva A. Sofa revolution: how self-isolation brought delivery services to super speed. URL: <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2020/06/17/832457-divannaya-revolyutsiya>. (date of access 02/14/2023).

25 Paul D.A., Bedilo D.S., Lyadova A.A., Lyamina O.S. Research of the PL-providers market of Russia and the Chelyabinsk region, modern economy and society through the eyes of young researchers, collection of articles by participants of the International scientific and practical conference of the V Ural Vernissage of Science and Business: in 3 volumes. Volume 3. – 2018. – P. 20-24.

© Макарова И. В., Бойко А. Д., Мавляутдинова Г. Р., 2024