

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права
УДК 330.4: 339.5: 5.519.8

КОРОЛЁВА
АННА АНАТОЛЬЕВНА

**КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук
по специальности 08.00.13 – математические и инструментальные
методы экономики

Минск, 2023

Работа выполнена в Белорусском государственном университете

Научный консультант – **Ковалёв Михаил Михайлович**,
доктор физико-математических наук,
профессор, профессор кафедры
аналитической экономики и эконометрики
Белорусского государственного университета

Официальные оппоненты: **Мясникович Михаил Владимирович**,
доктор экономических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Беларуси,
председатель Коллегии Евразийской
экономической комиссии;

Читая Гигла Отарович,
доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой
математических методов в экономике
УО «Белорусский государственный
экономический университет»;

Кравцов Михаил Константинович,
доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий отделом
макроструктурных и межотраслевых моделей
ГНУ «Научно-исследовательский
экономический институт Министерства
экономики Республики Беларусь»

Оппонирующая организация – Белорусский национальный
технический университет

Защита состоится 17 октября 2023 г. в 14.30 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.15 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, Минск, ул. Ленинградская, 8 (корпус юридического факультета), ауд. 407. Телефон ученого секретаря: +375 17 363 28 79, e-mail: karachun@bsu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «15» сентября 2023 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
к.э.н., доцент



И.А. Карачун

ВВЕДЕНИЕ

Математические и инструментальные методы в экономике – важное научное направление, обеспечивающее точность исследований экономических систем и процессов. Первыми научными результатами в математических методах экономики были именно модели транспортной логистики Г. Монжа (1781 г.) и Л. В. Канторовича (1942 г.), которые в настоящее время называют «транспортная задача Монжа – Канторовича». В белорусской научной школе построение математико-экономических методов и моделей также началось с транспортных задач, которые в 1965–1973 гг. были обобщены В. Ф. Медведевым и В. А. Емеличевым в модели регионального размещения производств. На стыке кибернетики и экономики находятся исследования известных белорусских ученых Р. Ф. Габасова (оптимизационные задачи управления), В. А. Емеличева (многокритериальные задачи экономики), П. П. Забрейко (равновесные модели экономики), М. М. Ковалева (дискретные оптимизационные задачи экономики), М. К. Кравцова (транспортные многогранники и модели «затраты – выпуск»), Ю. С. Харина (робастное статистическое прогнозирование) и др. Дальнейшее развитие математическая экономика получила в докторских диссертациях В. Н. Комкова – модели экономического роста, С. Ф. Миксюк – моделирование переходной экономики, Г. А. Хацкевича – эконометрическое моделирование неустойчивых экономических процессов, С. А. Самаля – интеллектуальные модели экономических систем, Э. М. Аксеня – стохастические динамические модели малой открытой экономики, Т. А. Ткалич – методология измерения экономической эффективности информационных систем, В. И. Малюгина – эконометрические модели прогнозирования финансовой стабильности. Все эти исследования легли в основу научных школ экономико-математического направления.

Транспортно-логистическая система – элемент современной экономики с глобально распределенным производством, отвечающий за доставку товаров в строго установленное место и согласованное время. Значимость транспортно-логистической системы как для экономической системы, так и для экономической науки в XXI в. возросла в связи с переходом к управлению на основе цифровых технологий. Современную логистику часто называют как Logistic 4.0, подчеркивая, что в мире происходит четвертая транспортно-логистическая революция, базирующаяся на внедрении интегрированной логистики и цифрового управления, современных IT-продуктов и сетевых платформ для автоматизации логистических бизнес-процессов на основе транспортных бирж, цифрового транспорта и интеллектуального оборудования (умные контейнеры, складские роботы, беспилотники по доставке товаров).

Четвертая транспортно-логистическая революция повысила значимость транспортно-логистической системы для экономического развития госу-дарств, которая стала важным конкурентным преимуществом стран: доля транспортных

расходов в цене товара в среднем достигает 10–12 % и колеблется от 2–5 % (электроника) до 30–40 % (строительные материалы). Большое значение транспортная отрасль имеет и для экономики Республики Беларусь: ее удельный вес в валовом внутреннем продукте (ВВП) составляет 5,8 %, в занятости – 6,9 %, в чистой прибыли – 22 %, в выручке от реализации – 8 %, в инвестициях – 9,5 %, в экспорте (4,3 млрд долл. в 2021 г.) – 8,7 %. В то же время у стран с выгодным географическим положением вклад транспортной отрасли в ВВП больше (около 15–20 %), а доля транспортных издержек в стоимости продукции, наоборот, меньше (11 % против 20 % в Республике Беларусь). Так, в нашей стране для производства 1 долл. ВВП требуется почти 3 т·км грузоперевозок, тогда как в странах Европейского Союза – 0,3 т·км, однако, в России этот показатель еще выше – 5,5 т·км. Сравнительно высокая транспортноемкость белорусской экономики, с одной стороны, во многом является отражением ее структуры (удельный вес промышленности и сельского хозяйства значителен и составляет порядка трети ВВП). С другой стороны, это является отражением сравнительно недостаточной эффективности функционирования транспортно-логистической системы страны.

Вышесказанное определяет особую актуальность и практическую значимость для экономики Республики Беларусь исследования теоретических и практических аспектов моделирования и прогнозирования развития транспортно-логистических систем.

При этом большинство математико-экономических исследований основаны на применении к новым реалиям традиционных методов и моделей оптимизации транспортных затрат. Многочисленные публикации по цифровизации логистики носят в основном характер рекомендаций по трансферу зарубежного опыта для цифровой трансформации транспортного сектора Республики Беларуси. В связи с этим представляется необходимым вернуться к классическим математическим моделям транспортной логистики Монжа – Канторовича и концептуально развить их применительно к новым условиям на основе современного математического аппарата, что позволит создать современную математико-экономическую теорию транспортной логистики.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами) и темами. Тема диссертации соответствует «Приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы», утвержденным Советом Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190, раздел 11 «Общество и экономика» и «Приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2021–2025 годы», утвержденных Указом Президента № 156 от 7 мая 2020 г., раздел 6 «Обеспечение безопасности человека, общества, государства».

Отдельные положения диссертации включены в отчет по заданию «Методы исследования дифференциальных уравнений дробного порядка и их приложения» (№ ГР 20114366) ГПНИ «Конвергенция-15» (2011–2015); заданию «Теоретико-модельные основы долгосрочного прогнозирования экономического развития Беларуси и ее позиций в мировой экономике и на глобальных рынках с учетом различных сценариев цифровой трансформации и региональной интеграции (ЕАЭС, ЕС)» (№ ГР 20195044) ГПНИ «Экономика и гуманитарное развитие белорусского общества» (2019–2020 гг.); ряд разделов работы выполнен в рамках задания «Разработка концепции и рекомендаций по созданию государственной универсальной цифровой платформы для повышения эффективности транспортно-логистической системы Беларуси» (№ ГР 20211949), выполняемого под руководством автора в рамках ГПНИ «Общество и гуманитарная безопасность белорусского государства» (2021–2025 гг.), а также в ходе работы над темами БРФФИ Ф10МС-024 (2010–2012) «Уравнения с дробными производными и их приложения» (№ ГР 20101800), БРФФИ Ф17МС-002 (2017–2019) «Метод специальных функций анализа моделей с дробными производными и их приложения к решению прикладных задач» (№ ГР 20170827) и в рамках темы НИР кафедры аналитической экономики и эконометрики БГУ «Экономический рост и цифровая экономика» (№ ГР 20180398, 2018–2022 гг.).

Цель и задачи исследования. *Целью исследования* является концептуальное развитие методологических основ и методического инструментария анализа систем и процессов транспортной логистики, разработка экономико-математических методов, моделей и построение прогнозов развития систем и процессов транспортной логистики Республики Беларусь и стран ЕАЭС.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих *задач*:

- развить методологические положения в области исследования, в том числе обосновать периодизацию эволюции логистики и генезис методологии и теории логистики для различных исторических периодов;
- разработать модели прогнозирования роста валовой добавленной стоимости (ВДС) в транспортной отрасли в зависимости от ряда факторов (количество занятых, капитальные вложения, уровень цифровизации отрасли) и разработать модели анализа и прогнозирования сбалансированного развития транспортной отрасли;
- разработать методологию и математические методы оптимизации транспортных потоков в сетевых структурах со сложными субмодулярными функциями и ограничениями;
- разработать экономико-математические модели анализа динамики конкурентных позиций транспортной отрасли страны на мировых рынках и

построить модели и методы их агрегации в консенсус-прогноз экспорта транспортных услуг Беларуси и других стран ЕАЭС;

- разработать модели и методы анализа экономической эффективности процессов цифровой трансформации транспортной логистики;

- разработать гибридно-модельный метод к синтезу инструментов устранения угроз и проблем развития систем международной транспортной логистики Республики Беларусь в условиях интеграции в единое транспортное пространство ЕАЭС.

Объектом исследования является транспортно-логистическая система Республики Беларусь.

Предмет исследования – математические методы и модели экономических процессов, протекающих в системах транспортной логистики Республики Беларусь в условиях формирования единого транспортного пространства ЕАЭС.

Научная новизна. Диссертация концептуально развивает актуальное научное направление «экономико-математические методы и модели транспортной логистики» и содержит следующие новые научные результаты: обоснование периодизации эволюции логистики, генезиса методологии и теории логистики для различных исторических периодов, разработка методологического подхода на основе понятия «субмодулярность» к построению сложных сетевых задач транспортной логистики; расширение экономико-математического инструментария исследования транспортно-логистических систем, включая разработку моделей сбалансированного роста транспортной отрасли страны; системы моделей анализа конкурентных позиций на мировом рынке и прогнозирования экспорта транспортных услуг с новыми консенсус-методами агрегации разрешенных прогнозов; обоснование нового подхода к прогнозированию, разработка моделей измерения эффективности цифровой трансформации транспортной логистики с использованием дробных производных, не требующих длинных исторических рядов данных; создание гибридно-инструментального метода анализа барьеров и глубинных причин отставания в развитии транспортной логистики и генерирования инструментов организационно-экономического механизма интеграции белорусской и международной транспортной логистики в единое транспортное пространство ЕАЭС.

Разработанный в диссертации математический инструментарий исследования транспортно-логистических систем позволяет:

- анализировать, прогнозировать и оптимизировать рост ВДС в транспортном секторе экономики страны с учетом требования сбалансированности развития;

- измерять динамику конкурентной позиции страны на глобальном рынке транспортных услуг и прогнозировать их экспорт;

– оптимально размещать транспортные потоки в сложных сетях с субмодулярно-супермодулярными ограничениями на их функционирование и нелинейными функциями затрат, что позволило впервые обосновать высокую значимость субмодулярности в экономических науках и применить ее при моделировании различных экономических процессов, в том числе транспортных;

– оценивать экономическую эффективность цифровой трансформации в условиях интеграции национальной транспортной системы в единое транспортное пространство ЕАЭС и в цифровые коридоры «Восток – Запад», «Север – Юг», элементами которых является транспортно-логистическая система Республики Беларусь.

Результаты, представленные как положения, выносимые на защиту, расширяют возможности анализа, прогнозирования и оптимизации процессов в транспортном секторе национальной экономики и создают теоретическую базу для принятия государственных решений по развитию транспортной отрасли Республики Беларусь. Практическая значимость созданного математического аппарата заключается в возможности его применения для достижения и оценки положительных эффектов интеграции Республики Беларусь в единое транспортное пространство ЕАЭС и в инициативу «Один пояс, один путь» за счет применения разработанных математических моделей сбалансированного роста, анализа конкурентных позиций, цифровизации и оптимизации транспортных расходов. Построенный и апробированный на примере транспортно-логистической системы математический инструментарий может быть применен и в других отраслях национальной экономики.

Положения, выносимые на защиту.

1. Теоретико-методологические основы развития транспортно-логистических систем в историческом и современном аспектах, создающие необходимую базу для математического моделирования и включающие:

– новую периодизацию эволюции логистики: Logistics 1.0 – обслуживание ранней торговли вьючными животными, простыми гребными и парусными судами вдоль складывающихся торговых путей, таких как Транссахарский, Шелковый пути и Путь из варяг в греки; Logistics 2.0 – от средневековой торгово-ремесленной и почтовой логистики до трансокеанского колумбова обмена; Logistics 3.0 – транспортная логистика промышленных революций с пароходными, железнодорожными и автомобильными перевозками и последующим использованием авиационного транспорта; Logistics 4.0 – интеграция транспортной и производственной логистики с цифровым управлением транспортом в распределенных цепях добавленной стоимости, что дало синергический эффект совместного применения сетевых и информационных технологий, названных в XXI веке цифровой транспортной логистикой;

- генезис методологии и теории транспортной логистики для различных исторических периодов;
- выявление ключевых процессов в современной трансграничной торговле, оказывающих доминирующее влияние на развитие международной логистики;
- формализация основных трендов развития международной транспортной логистики, существенно влияющих на транзитный потенциал страны.

Развитие теоретико-методологических основ современной транспортной логистики позволило определить логику математического моделирования важнейших процессов и систем в транспортной логистике.

2. Метод анализа и прогноза динамики сбалансированного роста белорусской транспортной отрасли, включающий новые математические модели анализа и прогнозирования роста ВДС транспортной отрасли, основанные на комбинированном применении разностных аналогов производственных функций типа Кобба-Дугласа и их дробно-дифференциальных обобщений и новых моделях сбалансированного роста транспортной отрасли, использующих идеи Джона фон Неймана о сбалансированной траектории развития и основанные на введении индикаторов и математических моделей определения мер разбалансированности, которые, кроме того, положены в основу новой методики анализа сбалансированности траектории развития транспортной отрасли.

Применение разработанных моделей и методик и введенных индикаторов позволило выявить периоды и причины разбалансированного развития белорусской транспортной отрасли и спрогнозировать рост ее ВДС. Предложенные метод, модели, методика применимы для анализа и прогноза сбалансированного роста других отраслей экономики.

3. Теоретические аспекты современных оптимизационных задач субмодулярной транспортной логистики, основу которой составили выявленные экономические свойства субмодулярности транспортных задач, что позволило спроецировать на экономические процессы субмодулярную оптимизацию и построить сложные сетевые обобщения транспортных задач с такими функциями и матрицами. Использование в транспортных задачах в качестве целевых функций различных классов субмодулярных и супермодулярных матриц потребовало их описания, что сделано через выявление порождающих соответствующих конусов. Субмодулярность установлена у широкого класса задач транспортной оптимизации, для которых разработаны оригинальные сетевые обобщения задач транспортировки, в том числе сформулирована и решена с помощью предложенного метода обобщенная сетевая транспортная субмодулярная задача.

Впервые в экономической теории показана высокая значимость субмодулярности и супермодулярности при моделировании экономических процессов, в том числе транспортных, что позволило выделять и изучать субмодулярные экономические процессы.

4. Система экономико-математических моделей анализа и прогнозирования динамики конкурентных позиций страны на мировом рынке транспортных услуг, отличающаяся системой введенных новых индикаторов (доля белорусского экспорта и импорта транспортных услуг на мировых рынках логистики, динамика их среднегодового роста, коэффициенты покрытия импорта экспортом в разрезе видов транспорта, чистый экспорт грузовых транспортных услуг и его видов, сравнительная конкурентоспособность и др.), позволившая установить общие тенденции и проблемы развития по каждому виду белорусского транспорта в разрезе каждой из пятилеток XXI века.

Созданная система моделей анализа динамики экспортно-импортных операций применена для качественной и количественной оценки глобального конкурентного потенциала развития отечественной транспортно-логистической системы в сравнении с мировыми лидерами и главными конкурентами в транспортной логистике.

Для прогнозирования экспорта транспортных услуг предложены три метода построения консенсус-прогнозов из имеющихся и построенных эконометрических моделей (трендовых и факторных). Новые методы построения консенсус-прогнозов применимы и в других отраслях народного хозяйства для агрегации разных модельных прогнозов.

5. Метод измерения прироста отраслевой добавленной стоимости за счет цифровизации, включающий новую математическую модель роста транспортной отрасли, позволяющий оценить эффективность цифровизации на основе измерения прироста валовой добавленной стоимости за счет ИКТ-инвестиций с использованием дробно-дифференциального исчисления, а также дробной производной Джрбашьяна-Капуто, что позволит выполнить модельный прогноз ИКТ-инвестиций с учетом лага и эффекта «памяти», присущих дробно-дифференциальным моделям.

Разработанный методический подход измерения эффектов цифровой трансформации на основе оценки роста за счет цифровизации добавленной стоимости транспортной отрасли применим как для других отраслей, так и для экономики в целом.

6. Новый гибридно-модельный метод разработки инструментов организационно-экономического механизма развития транспортной логистики в Республике Беларусь в контексте формирования в ЕАЭС общего транспортного пространства. Идея гибридно-модельного метода состоит в синтезе конкретных маркетинговых моделей выявления угроз и проблемных зон в

конкурентном соперничестве, таких как *SWOT*-анализ плюс *PEST*-анализ, модели BCG – Boston Consulting Group, GE – General Electric, модель сил Портера и других моделей установления глубинных причин проблем (*WHY-WHY* анализ, модель Исикавы, рейтинговые модели, модель Декарта и др.), позволившие уточнить возможные инструменты ликвидации выявленных проблем, что послужило методологической и методической основой для разработки инструментов организационно-экономического механизма развития транспортной отрасли Республики Беларусь.

Организационно-экономический механизм включает пять классов предложенных эффективных комплексных инструментов интеграции транзитного транспортного комплекса Республики Беларусь в единое транспортное пространство ЕАЭС и в инициативу «Один пояс, один путь», основанных на цифровизации коридора «Восток – Запад», элементом которого является Беларусь, и нового коридора «Север – Юг», по которому наша страна ведет торговлю с Ираном, Индией и другими странами Азии.

Личный вклад соискателя ученой степени.

Все основные результаты диссертации, связанные с комплексным решением поставленных задач, анализом и интерпретацией полученных результатов, получены соискателем лично. Соавторам совместных публикаций принадлежат результаты, не вошедшие в положения, выносимые на защиту. Приведенные в диссертации теоретические основы развития транспортной логистики и эконометрические модели, положенные в основу построения соискателем консенсус-прогнозов развития экспорта транспортных услуг, разработаны совместно с А.А. Дутиной. Исследования по цифровизации транспортной логистики инициированы научным консультантом М.М. Ковалевым, на основе совместных работ с Г.Г. Головенчик, Е.И. Васенкова, С.Р. Дутин, Тан Цзянь принимали участие в выполнении численных расчетов, связанных с разработкой моделей. В рамках исследования развития транспортных услуг в ЕАЭС анализ экспортного потенциала проведен совместно с Е.Г. Господарик.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты, вошедшие в диссертационную работу, прошли апробацию на следующих международных и республиканских научных конференциях: 6th International ISAAC Congress (Ankara, 2007), I Международной конференции «Математическое моделирование и дифференциальные уравнения» (Минск, 2007), Международных конференциях «Аналитические методы анализа и дифференциальных уравнений AMADE» (Минск, 2012, 2015, 2018, 2021), the 7th International ISAAC Congress (London, 2009), Международной конференции «Современные проблемы математики и механики», посвященной 70-летию ректора МГУ академика В.А. Садовниченко (Москва, 2009), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и

перспективы развития экономики в условиях модернизации» (Омск, 2017), Международных научных конференциях «Тенденции экономического развития в XXI веке» (2019, 2020, 2021, 2022), XVII International Scientific and Practical Conference «Issues of development of modern science and technology» (Melbourne, 2022), XVII Международной научной конференции «Междисциплинарные исследования науки и техники» (Саратов, 2022), Международной научно-практической конференции «Инновации и инвестиции как драйверы социального и экономического развития» (Тюмень, 2023), Международной научно-практической конференции «Концепции и модели устойчивого инновационного развития общества» (Оренбург, 2023).

Опубликование результатов диссертации. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 45 научных работах, из них: 3 монографии (34,51 а. л.), включая одну единоличную монографию (14,1 а. л.); 16 статей, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий (8,81 а. л.); девять статей в иных научных рецензируемых изданиях; 13 публикаций в сборниках материалов научных конференций; 4 тезиса докладов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из списка сокращений и условных обозначений, введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 271 странице, в том числе: 32 таблицы, 58 рисунков и 26 формул на 65 страницах; шесть приложений на 37 страницах. Список используемых источников включает в себя 250 источников на 18 страницах, в том числе 45 публикаций соискателя на 6 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе «**Эволюция, генезис методологии, современные понятия и глобальные тренды транспортной логистики**» представлена авторская концепция систематизированного изложения методологии и теории транспортной логистики, включающая авторский обзор эволюции транспорта и анализ генезиса методологии логистики с авторским разбиением на четыре этапа, уточнение феноменологической сущности ряда современных понятий транспортной логистики, выделение и систематизацию современных трендов на мировых рынках транспортных услуг.

Дан детальный анализ научной литературы по важнейшим проблемам современной методологии и теории транспортной логистики. Новейшие исследования в области транспортной логистики проводятся в Университете логистики Кюне в Гамбурге, Королевском институте логистики и транспорта в Великобритании, Институте глобальной логистики в Нью-Йорке, Международном университете логистики и транспорта во Вроцлаве,

аналогичных институтах Австралии, Гонконга, России и др. Важный импульс развитию транспортной логистики как науки дал массовый переход к сетевой экономике и управлению цепями поставок. Последнее направление в Беларуси активно развивают белорусские ученые в области информатики во главе с членом-корреспондентом Национальной академии наук Беларуси М. Я. Ковалевым.

Важные вопросы теории и практики организации транспортно-логистических систем, их функциональной деятельности рассматриваются в трудах зарубежных (переведенных на русский язык) и российских авторов: Д. Дж. Бауэрсокса и Д. Клосса, А. М. Гаджинского, Т. Голдсби и др., В. В. Дыбской и соавторов, Н. А. Ковалевой, Ю. М. Неруш, Т. А. Прокофьевой, А. Н. Стерлигова, К. Лавлока, Д. Уотерса и др. Глобализация мировой экономики, интернационализация бизнеса и бурное развитие международной электронной торговли содействуют созданию трансграничных логистических систем и глобальных цепей поставок, т. е. транспортно-логистическая деятельность становится международной с такими новыми проблемами, как выбор страны для размещения производств и центров дистрибуции, определение видов транспорта, типов сервиса, методов управления транспортными потоками и запасами, проектирование адекватного цифрового управления и соответствующих ему коммуникационных и информационных систем. Проблемы международной транспортной логистики изучались в работах русскоязычных экономистов: А. Г. Баханович и Т. Р. Косовской, Р. А. Беспалова, Т. Г. Зориной и М. А. Слонимской, Е. Г. Ефимовой, Р. Б. Ивутя, И. Ю. Карховой, И. А. Елового, М. М. Колоса, М. С. Комова, Э. И. Никитиной, П. Е. Раровского, С. В. Саркисова, Н. И. Сухоноса, В. И. Черенкова и др. Международная логистика в них рассмотрена как важный и динамично развивающийся в условиях цифровой глобализации сектор мирового рынка услуг.

Быстрое изменение мирового транспортно-логистического рынка требует постоянного изучения новых тенденций его развития. Аспекты формирования современной белорусской транспортной логистики как сектора экономики и как науки раскрываются в книгах отечественных авторов: Д. М. Антюшени, В. Г. Булавко и П. Г. Никитенко, И. А. Елового, Р. Б. Ивутя, М. М. Ковалева, А. А. Дутиной, С. Ф. Куган, Д. В. Курочкина, А. Д. Молоковича, О. В. Мясниковой, О. М. Овечкиной, Л. С. Стукалова и др.

Ряд исследователей (А. А. Акаев и В. А. Садовничий, Е. Ю. Винокуров, А. Ф. Завгородний, Н. Г. Дзикович, А. Г. Ефименко, Л. Климович, Е. Шека, Б. Н. Паньшин, Г. В. Турбан, О. А. Подберезкина, А. А. Ходасевич, Л. Цзюй и др.) работает в области поиска оптимальной агрегации своих стран в единое транспортное пространство ЕАЭС и сопряжения транспортно-логистических потоков в рамках инициативы «Один пояс, один путь».

История развития транспорта на белорусских землях исследована слабо, исключение составляет история дорог, которая изложена в книгах А. С. Сардарова.

Математические методы и модели в логистике предлагались и изучались в монографиях белорусских авторов: В. А. Емеличева, М. М. Ковалева и М. К. Кравцова, М. Я. Ковалева, Г. И. Просветова.

Параллельно прослежены эволюция транспорта и транспортной инфраструктуры и генезис методологических основ транспортной логистики как науки. Главный результат – авторская историческая периодизация развития логистики, включающая четыре этапа, каждый из которых вызывался транспортными революциями:

- первый этап – Logistics 1.0 (ранняя торговая и военная логистика);
- второй этап – Logistics 2.0 (средневековая торгово-ремесленная логистика с XVI в.), базирующаяся в основном на парусном мореплавании;
- третий этап – Logistics 3.0 (торгово-промышленная логистика с начала XIX в.) с основными видами транспорта: пароход, паровоз, автомобиль, самолет и формированием систем материально-технического снабжения;
- четвертый этап – Logistics 4.0 (интегрированная и цифровая логистика).

Генезис методологических основ и теории транспортной логистики дан для каждого из этих исторических этапов.

Далее с помощью предложенной двухкоординатной модели исследовано влияние следующих мировых торгово-экономических процессов XXI в. на международную логистику:

- переход экономического лидерства к Китаю и формируемым с его участием инициативам и блокам: «Один пояс, один путь», ШОС, БРИКС и т. д., что в совокупности с технологическим эмбарго против Китая и экономическими санкциями против России ведет к «геоэкономической фрагментации» или «двухполярной глобализации» и радикальным изменениям торговых и логистических потоков в мире;
- стагнация торговой и инвестиционной глобализации, не способствующая росту международной торговли и транспортной логистики, и наступление новой стадии глобализации – цифровой;
- возврат производственных процессов из стран с ранее дешевой рабочей силой в развитые из-за реиндустриализации и роботизации и перехода к новой промышленной политике;
- локализация производств (в будущем с применением 3D-печати) с их приближением к потребителям товаров;
- переход с импорта сырья на местные ресурсы и вторичное использование отходов (ресайклинг – recycling, регенерация – regeneration, рекуперация – recuperation);

– санкции ЕС и логистические ограничения, резко изменяющие направления экспорта белорусских транспортных услуг, что позволило сформулировать 10 трендов, оказывающих влияние на выбор направлений развития белорусской транспортно-логистической системы:

1) цифровая трансформация логистики, ускоренная в результате пандемии;

2) качественная и комплексная логистика. Современные клиенты отдают предпочтение логистическим компаниям, предоставляющим не столько низкие цены, сколько качественные транспортно-логистические услуги;

3) замедление роста мировой торговли грузовыми транспортными услугами, вызванное как снижением веса мирового ВВП, так и оптимизацией транспортных потоков. Как следствие, в XXI в. снижается (если не учитывать постпандемический рост) эластичность экспорта грузовых транспортных услуг по отношению к мировой торговле (рисунок 1): в соответствии с данными ВТО, мировой экспорт грузоперевозок с 2010 г. по 2020 г. увеличился с 434 млрд долл. до 510 млрд долл., т.е. среднегодовой рост составил всего 1,63%, в то время как мировая торговля росла на 2,4 % в год. Авторский консенсус прогнозов различных экспертов: в следующем десятилетии рост мирового экспорта транспортных услуг замедлится до 1–1,5 % в год;

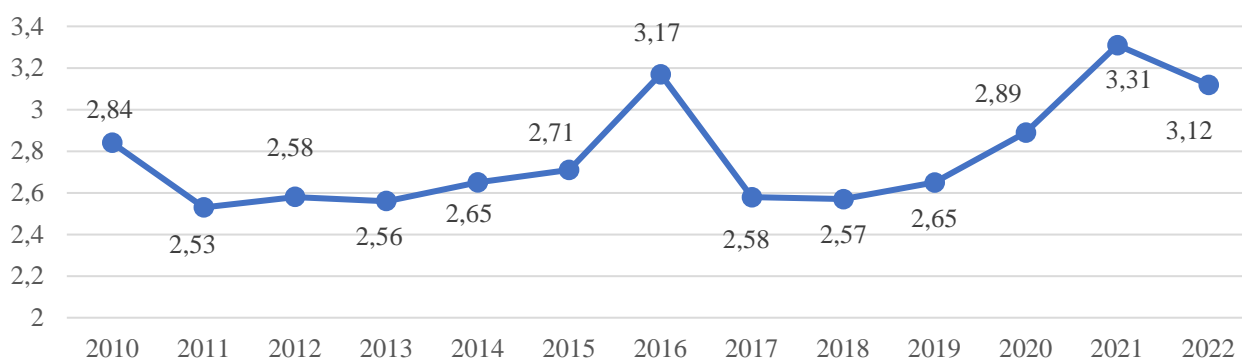


Рисунок 1 – Динамика удельного веса мирового экспорта грузовых транспортных услуг в мировом экспорте товаров в период 2010–2022 гг.,% (рассчитано по статистике ВТО)

4) фрагментация мировой экономики и радикальная переориентация глобальных транспортных потоков;

5) рост рынка агрологистики в связи с продовольственной безопасностью;

6) стремительный рост логистики электронной торговли, которая дает импульс трансграничным транспортным услугам;

7) контейнеризация перевозок;

8) экологичная устойчивая логистика;

9) интеграция между мультимодальными транспортно-логистическими центрами и разными видами транспорта, а также между товарными, информационными, финансовыми потоками;

10) увеличение венчурных инвестиций в логтех-компании;

Во второй главе «Математические методы и модели прогноза добавленной стоимости и анализа сбалансированного развития транспортной логистики» проведен анализ современного состояния, оценен потенциал и перспективы сбалансированного развития транспортной логистики в экономике Республики Беларусь.

Метод анализа и прогнозирования сбалансированного развития транспортной отрасли создан на основе двух классов моделей: модели анализа и прогноза ВДС отрасли и модели ее сбалансированного с ростом ВВП развития.

Анализ состояния транспортной отрасли Республики Беларусь и ее потенциала в разрезе видов грузового транспорта проведен с помощью кумулятивного анализа и программного обеспечения EViews на основе разработанной модели в форме логразностной производственной функции типа Кобба-Дугласа оценки роста ВДС в транспортной отрасли экономики.

На рисунке 2 представлено разложение кумулятивного роста ВДС транспортной отрасли на основные факторы роста: кумулятивный рост инвестиций и занятости на транспорте, а также остатка Солоу (совокупная факторная производительность).

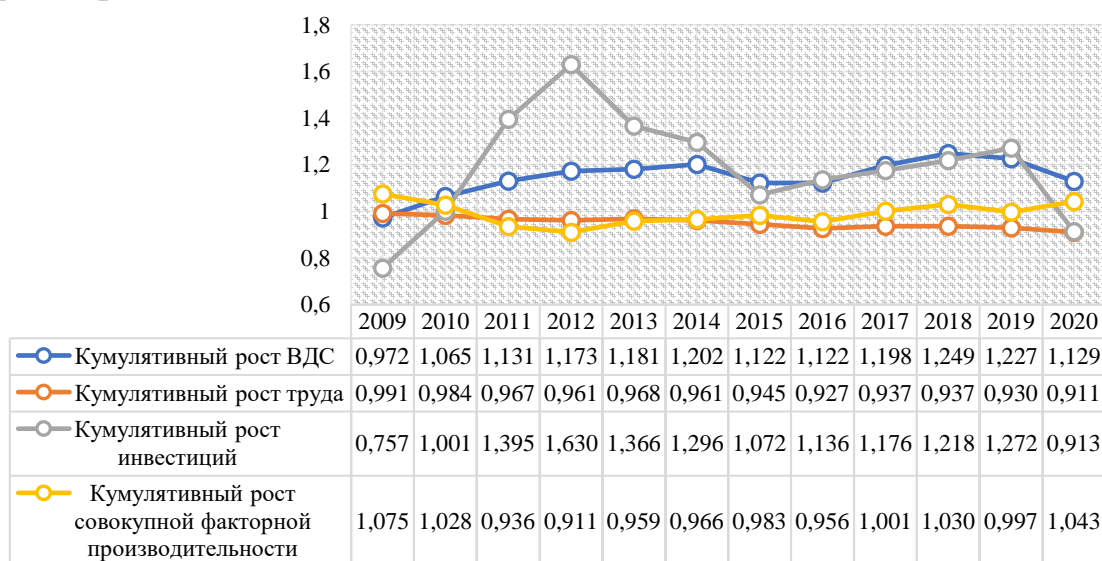


Рисунок 2 – Кумулятивное разложение факторов роста ВДС на транспорте

Один из важных результатов главы 2 – разработка нового математического метода анализа концепции сбалансированного развития транспортной отрасли, восходящего к сбалансированной магистрали развития, введенной в 1945 г. Дж. фон Нейманом в рамках динамического обобщения модели межотраслевого баланса Леонтьева, существование которой доказано в теореме о магистралях Р. Дорфманом, П. Самуэльсоном и Р. Солоу в 1958 г. Теорема о сбалансированности в неймановской постановке утверждает: на длинных

отрезках времени все отрасли и сектора экономики должны развиваться с примерно одинаковым темпом роста, не зависящим от линейных целевых функций, и только на начальном и конечном отрезках времени возможен несбалансированный рост, когда происходит структурная перестройка – взлет новых и падение старых отраслей, после чего нужно «ехать по скоростной магистрали». Ключевая гипотеза несбалансированного роста заключается в том, что значительное инвестирование происходит только в стратегически важных и перспективных отраслях, а в неприоритетных автоматически угасает.

Результаты диссертации расширяют рамки теории сбалансированности с двух новых точек зрения: во-первых, предлагается модельный подход к анализу сбалансированного развития транспортной отрасли по четырем ключевым индикаторам роста: ВДС отрасли, чистый экспорт, инвестиции и производительность труда; во-вторых, предложены модели для измерения мер отклонений индикаторов от темпа роста ВВП: среднеквадратичное отклонение, метрика Минковского и *min/max*-метрика. Сбалансированность развития белорусской транспортной отрасли в период после 2010 г. и периоды разбалансированного роста представлены в таблице 1, в которой первая метрика – суммарная волатильность $\sum_{j=1}^4 |a_{ij} - a_{t, \text{ВВП}}|$ есть сумма отклонений ключевых индикаторов j от роста ВВП; вторая метрика учитывает сумму отклонений от роста ВВП со знаком: если превалируют отрицательные значения, то отрасль деградирующая и развивается медленнее, чем экономика страны, если положительные – то отрасль перспективная, развивается быстрее экономики. Для выявления процессов, за счет которых возникли отраслевые дисбалансы, используется третья мера несбалансированности: *max-min*-метрика, т.е. разность между наибольшим и наименьшим индикатором, показывающая, какие индикаторы имеют максимальное рассогласование темпов роста; четвертая метрика $\max_j a_{ij} / \min_j a_{ij}$ выявляет относительное максимальное различие темпов роста.

С помощью пороговых значений для введенных мер сбалансированности выделены три класса: сбалансированный рост – С, условно сбалансированный – УС и несбалансированный – НС. При *min/max*-метрике к классу несбалансированного роста отнесены годы $t = 2011, 2013$ и 2020 , когда максимальный индикатор превышает минимальный на 30 % и более. К условно сбалансированному классу отнесены годы $t = 2010, 2015$, когда превышение максимального индикатора над минимальным составляло от 20 до 30 %, если же меньше 20 %, то считаем, что это сбалансированный рост, который наблюдался в остальные годы.

Таблица 1 – Рост ВВП и ключевых индикаторов транспортной отрасли и модели расчета мер их сбалансированности, отнесение к классу сбалансированности

Год Индикатор	Темпы роста					Меры сбалансированности		Класс сбалансированности
	ВВП	ВДС	Инвестиции	Чистый экспорт	Производительность	Суммарное отклонение Суммарная волатильность	Максимальное рассогласование темпов роста Максимальное отношение темпов роста	
2010	1,077	1,083	1,322	1,106	1,104	$\frac{0,307}{0,307}$	$\frac{0,239}{1,285}$	УС
2011	1,055	1,051	1,392	1,253	1,072	$\frac{0,448}{0,556}$	$\frac{0,341}{1,324}$	НС
2012	1,017	1,046	1,170	1,045	1,053	$\frac{0,246}{0,246}$	$\frac{0,125}{1,120}$	С
2013	1,010	1,012	0,811	1,145	1,004	$\frac{-0,061}{0,342}$	$\frac{0,334}{1,412}$	НС
2014	1,017	1,012	0,886	0,924	1,019	$\frac{-0,227}{0,231}$	$\frac{0,133}{1,150}$	С
2015	0,962	0,933	0,872	0,763	0,952	$\frac{-0,328}{0,328}$	$\frac{0,189}{1,248}$	УС
2016	0,975	1,000	1,060	0,964	1,014	$\frac{0,138}{0,160}$	$\frac{0,096}{1,100}$	С
2017	1,025	1,068	1,035	1,163	1,056	$\frac{0,222}{0,222}$	$\frac{0,128}{1,124}$	С
2018	1,031	1,043	1,036	1,089	1,043	$\frac{0,089}{0,089}$	$\frac{0,053}{1,051}$	С
2019	1,014	0,978	1,044	0,990	0,995	$\frac{-0,034}{0,104}$	$\frac{0,062}{1,063}$	С
2020	0,993	0,916	0,715	0,890	0,937	$\frac{-0,504}{0,504}$	$\frac{0,222}{1,309}$	НС
2021	1,023	1,014	1,141	1,000	1,028	$\frac{0,079}{0,155}$	$\frac{0,132}{1,141}$	С
Рост за период	1,212	1,151	1,308	1,164	1,299	$\frac{0,087}{0,231}$	$\frac{0,156}{1,271}$	С
Среднегодовой рост, %	1,6	1,2	2,3	1,3	2,2	$\frac{0,005}{0,017}$	$\frac{0,013}{1,013}$	С

Анализ таблицы 1 показывает, что несбалансированный рост транспортной отрасли в 2011 г. и 2013 г. произошел за счет несинхронного с ростом ВВП роста инвестиций, в 2020 г. пандемия, вызвавшая кризисные явления, сильно повлияла на чистый экспорт, причем политическая нестабильность и санкции во второй половине года ухудшили инвестиционный

процесс. К условно сбалансированным отнесены 2010 и 2015 гг. за счет существенного отклонения инвестиций и (или) падения чистого экспорта из-за внешних факторов. Таким образом, в годы несбалансированного или условно сбалансированного роста отклонения ключевых индикаторов от роста ВВП были значительны, их создали и их создают чрезмерно волатильный инвестиционный процесс и сильное воздействие на чистый экспорт внешней среды, причем в 2011 г. несбалансированная ситуация указывает на опережающий рост инвестиций, в отличие от ситуации в 2020 г.

Транспортная отрасль по кумулятивным темпам роста инвестиций и производительности за 12 лет с 2009 г. имеет положительное отклонение от роста ВВП, что указывает на ее перспективность, несмотря на меньший рост ВДС и чистого экспорта (экспорт рос быстрее ВВП, но еще быстрее рос импорт). Суммарная волатильность, т. е. сумма по абсолютной величине рассогласований темпов роста всех ключевых индикаторов в сравнении с темпами роста ВВП, также невелика. Среднегодовые отклонения за 12-летний период роста ВВП с $CAGR = 1,6\%$ невелики: ВДС росла с $CAGR = 1,2\%$, инвестиции с $CAGR = 2,1\%$, чистый экспорт с $CAGR = 1,3\%$ и производительность труда с $CAGR = 2,2\%$.

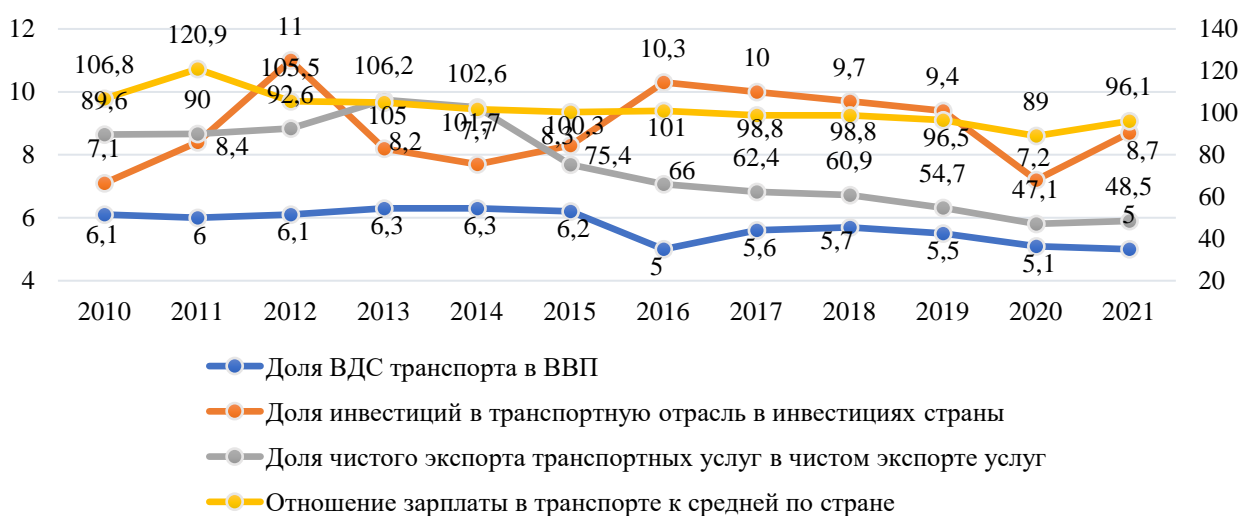


Рисунок 3 – Динамика относительных индикаторов транспортной отрасли в период 2010-2021 гг., % (рассчитано на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь)

По предложенным моделям исследована сбалансированность с ВВП других важных индикаторов (рисунок 3): постоянство доли ВДС отрасли в ВВП страны свидетельствует о синхронности роста отрасли с ростом экономики (позитивный тренд сигнализирует о росте значимости отрасли, отрицательный – об угасании ее значимости); рост доли инвестиций в отрасль в суммарных инвестициях информирует о развитии потенциала отрасли; отношение

производительности труда в отрасли к средней по стране говорит о фондовооруженности отрасли и эффективности в ней инновационно-инвестиционного процесса (опережающий рост совокупной факторной производительности); отношение средней отраслевой заработной платы к средней по стране и их синхронность свидетельствует о динамике аналогичного отношения по производительности труда; доля чистого экспорта отрасли к чистому экспорту услуг указывает на увеличение или снижение экспортной или импортной активности отрасли.

Второй из важных результатов главы 2 – эконометрическая, статистически значимая по данным за 2018–2021 гг., модель прогнозирования ВДС $VACT(t)$:

$$d \ln VACT(t) = 0,55d \ln INV(t) + 0,46d \ln L(t) + 0,9d \ln A(t), \quad (1)$$

где $d \ln$ – обозначает темп роста соответствующих показателей;

$INV(t)$ – рост инвестиций в сектор, учитывающий в нем рост капитала;

$L(t)$ и $A(t)$ – стандартные факторы роста: труд и совокупная факторная производительность.

Построенная модель (1) позволяет качественно и количественно оценить тренд ВДС на среднесрочную перспективу и, в частности, сделать вывод о снижении ВДС в течение следующих лет по отношению к данным 2021 г. Для построения долгосрочных прогнозов ее использование представляется недостаточно точным. Для более эффективных долгосрочных прогнозов построены модели с дробными производными, которые обладают характеристиками нелокальности и эффектом «памяти» о процессе экономического роста. Дробная производная позволяет найти глобальную корреляцию и с более высокой степенью точности описать долгосрочные зависимости в экономических процессах. В диссертации дробно-дифференциальная модель роста ВДС транспортной отрасли создана на основе теории дифференциальных уравнений дробного порядка А. А. Килбаса и идеях В. Е. Тарасова и В. В. Тарасовой по обобщению модели роста Солоу с помощью дробных производных в смысле Герасимова-Капуто. Для построения модели считаем, что производственная функция ВДС задается как функция Кобба-Дугласа: $VACT(t) = AK^a(t)L^{1-a}(t)$, в которую для прогнозирования труда и капитала введем систему из двух дифференциальных уравнений дробного порядка:

$$\begin{cases} (D^\alpha L)L(t) = \rho L(t), \\ (D^\beta K)(t) = sAK^a(t)L^{1-a}(t) - \delta K(t) \end{cases}, \quad (2)$$

где D^α и D^β – операторы дробной производной соответственно порядка α и β в смысле Джрбашьяна-Капуто ($0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < 1$ – параметры дробности);

$\delta \in [0, 1]$ – коэффициент выбытия капитала (амортизация).

Численное решение системы (2) найдено с использованием уравнения Вольтера и метода последовательных приближений, что позволило представить отображенный на рисунке 4 прогноз ВДС с параметрами дробности: $\alpha = 0,0075$ (оптимистический), $\alpha = 0,046$ (реальный), $\alpha = 0,325$ (пессимистический).

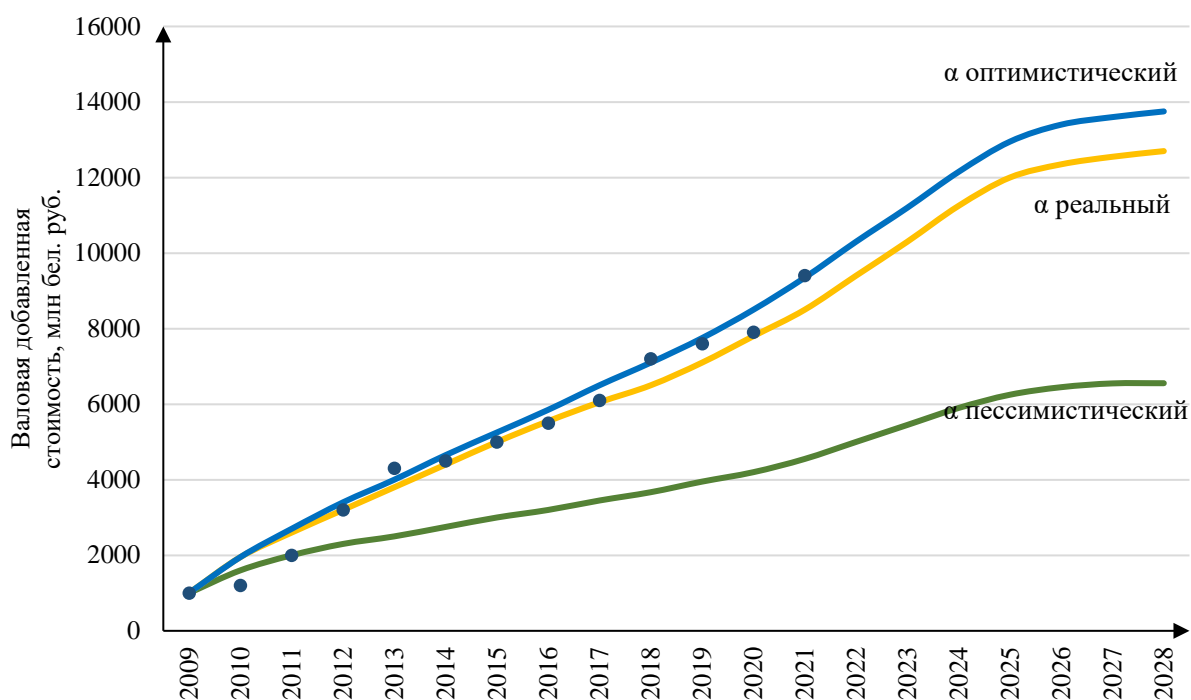


Рисунок 4 – Динамика и прогноз валовой добавленной стоимости в период 2009-2028 гг., млн руб.

Из рисунка 4 видно, что, управляя порядком дробности α в зависимости от статистических данных, можно получать разные сценарии для достаточно точных прогнозов. Еще одно преимущество моделей с дробными производными – они не требуют большого объема статистических данных, т. к. модель, получаемая в ходе решения задачи Коши, будет адекватна и с коротким набором имеющихся данных.

Главная цель главы 3 «**Экономико-математическая теория современных оптимизационных задач субмодулярной транспортной логистики**» – построение новых математических моделей и методов, восходящих и обобщающих классические модели и методы Монжа-Канторовича, и их применение для решения задач оптимизации транспортных потоков в условиях сложных сетевых ограничений. В основу авторского подхода к моделированию оптимизации затрат в потоковых задачах транспортной логистики положено свойство субмодулярности, впервые замеченное еще Монжем для матриц транспортных затрат на доставку грузов в армии Наполеона. Математически субмодулярность есть аналог свойства выпуклости

непрерывных функций, перенесенное на функции, заданные на решетках. Наиболее распространенная в экономических приложениях решетка – булеан $(2^N, \subseteq)$, т. е. семейство 2^N всех подмножеств множества $N = \{1, 2, \dots, n\}$ относительно операции включения \subseteq . Функция $f: 2^N \rightarrow R$ называется субмодулярной на булеане, если для любых $X, Y \in 2^N$ выполнено

$$f(X) + f(Y) \geq f(X \cup Y) + f(X \cap Y). \quad (3)$$

Если неравенство (3) выполняется с обратным знаком, функция называется супермодулярной (ослабленный аналог свойства вогнутости). Функция называется модулярной, если (3) обращается в равенство (аналог свойства линейности). Аналогично, функция $f(x)$ на целочисленной решетке Z^n называется субмодулярной (супермодулярной), если:

$$f(x) + f(y) \geq (\leq) f(x \vee y) + f(x \wedge y), \quad (4)$$

где $x \vee y$ – вектор с координатами $\max(x_i, y_i)$,

$x \wedge y$ – вектор с координатами $\min(x_i, y_i)$.

Сформулированы два эквивалентных понятию «субмодулярность» свойства, имеющие значительный экономический смысл: первое свойство – правый i -градиент $\Delta_i^+ f(X) = f(X \cup i) - f(X)$ (аналог производной) не убывает, что означает возрастающую полезность экономических объектов из-за эффекта масштаба; второе свойство заключается в неположительности правых вторых градиентов (аналог вторых производных):

$$\Delta_i^+ (\Delta_j^+ f(X)) = f(X \cup i \cup j) - f(X \cup i) - f(X \cup j) + f(X) \leq 0.$$

Из-за этих свойств субмодулярные функции характеризуют взаимозаменяемость товаров – лишние объекты никогда не уменьшают полезность. Супермодулярность противоположна субмодулярности и означает, что целое не меньше суммы своих частей (но может быть и больше), у нее убывающая предельная полезность из-за невозрастания правого i -градиента. Супермодулярная функция полезности является характеристикой комплементарных благ и предпочтений.

Частными случаями субмодулярных функций являются часто применяемые в экономике функции с постоянной эластичностью замещения (Constant Elasticity of Substitution) – это функция Кобба-Дугласа (эластичность замещения равна 1), производственная функция Леонтьева (нулевая эластичность замещения), функция энтропии, функция Солоу. Неявно субмодулярность используется в теории игр при доказательстве существования ядра игры (теорема Шепли). Поэтому в экономике и на транспорте можно изучать и применять новый класс игр – субмодулярные игры.

Впервые в СССР задачи с подобными функциями стал изучать один из основоположников советской кибернетики В. П. Черенин еще в 1948 г. для формирования оптимальных составов поездов, а позже, в 1970–90-е гг., его ученик В. Р. Хачатуров – для размещения нефтяных производств с минимизацией затрат на перевозки продукции, назвав свой подход методом последовательных расчетов. На Западе в теорию оптимизации субмодулярные функции ввел Д. Эдмондс в 1970 г. при изучении матроидов, а их математическую теорию разработали Л. Ловас, С. Фуджишэдз, Д. Топкис и белорусские ученые М. М. Ковалев и Н. Н. Писарук.

Установлено, что субмодулярность – свойство, присущее большинству задач транспортной логистики из-за взаимодополняемости благ в перевозках. Субмодулярность функции затрат означает, что прибавление товара i дает больший прирост дохода $f(X)$, когда он прибавляется к более широкому набору товаров. Супермодулярность функции означает, что затраты на перевозки дополнительного товара i убывают с ростом масштабов перевозок.

В диссертации построены новые математические модели задач транспортной логистики, сводимых к минимизации субмодулярной или супермодулярной функции. Приведем несколько простейших примеров.

Субмодулярные матрицы затрат в классической транспортной задаче. Если матрица $C = (C_{ij})_{m \times n}$ является субмодулярной функцией $f(i, j) = C_{ij}$ на решетке $Z^2(m, n) = \{1, \dots, m\} \times \{1, \dots, n\}$, то классическая транспортная задача с такой функцией затрат обладает важным свойством: градиентный алгоритм (в транспортной задаче это метод минимального элемента) дает оптимальный план перевозок (это заметил еще Г. Монж). На рисунке 5 построена иерархия классов субмодулярных функций (транспортных матриц Монжа) на Z^2 . Каждый из приведенных классов в диссертации описан через порождающие лучи соответствующих конусов и тем самым дана полная характеристика эффективно решаемых транспортных задач.

Задача размещения транспортно-логистических центров (ТЛЦ) без ограничения на их мощность. Пусть в задаче размещения ТЛЦ в возможных местах $N = \{1, 2, \dots, j, \dots, n\}$ известны затраты d_i на строительство ТЛЦ в пункте j и транспортные затраты c_{ij} на доставку из пункта i в j . Необходимо выбрать места расположения ТЛЦ $X \subset N$, чтобы достигался:

$$\min f(X) = \sum_{j \in X} d_j + \min \sum_{i=1}^m \sum_{j \in X} x_{ij} c_{ij} \cdot \quad (5)$$

Легко показать, что функция $f(X)$ является супермодулярной.



Рисунок 5 – Иерархия классов субмодулярных функций (матриц Монжа) на Z^2

Выбор местоположения ТЛЦ (задача о k -медиане графа). Пусть $G = (V, E)$ – граф со взвешенными ребрами c_{ij} : необходимо найти k мест X расположения ТЛЦ так, чтобы расстояние от любой вершины графа до самого далекого ТЛЦ было наименьшим. Тогда целевая функция

$$f(X) = \sum_{i \in V} \max \{c_{ij} : j \in X\}, \quad X \subseteq V \quad (6)$$

будет субмодулярной.

Функция свертки. Для системы неравенств:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (7)$$

функцию свертки невязок введем правилом:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \left(b_i - \min \left\{ b_i, \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right\} \right), \quad (8)$$

она будет субмодулярной из-за неубывания ее правых i -градиентов, при этом вектор x удовлетворяет системе неравенств (7) в том и только в том случае, когда минимум функции невязок $f(x) = 0$. Установленное свойство будет применено в

гибридном методе построения консенсус-прогнозов экспорта транспортных услуг.

Транспортные задачи на полиматроидах. Одна из причин изучения субмодулярных функций в транспортной логистике – это свойство допустимого множества в простой разновидности транспортной задачи:

$$\sum_{i \in I} x_i \leq r(I), I \subseteq N, \quad (9)$$

$$x_i \geq 0, i \in N \quad (10)$$

с субмодулярной функцией $r(I)$ быть полиматроидом $P(r)$. В задаче максимизации линейной (выпуклой) функции на полиматроиде $P(r)$ градиентный алгоритм строит оптимальное решение.

Сетевые субмодулярные транспортные задачи. В цикле работ М. М. Ковалева и Н. Н. Писарука в 1980-х гг. субмодулярные функции применялись для моделирования оптимизационных задач в энергосетях. В диссертации идеи этих авторов существенно обобщены и применены для формулировки и решения сложных задач о субмодулярных потоках в сети, которая моделирует транспортные ситуации, максимально приближенные к практической реальности, характеризующейся:

- сложным сетевым характером маршрутов и их пропускных способностей;
- дополнительными ограничениями по взаимозаменяемости поставщиков и взаимодополняемости потребителей;
- нелинейными (субмодулярными) функциями стоимости перевозок.

Приведем одну из построенных моделей: пусть $G = (V, E)$ – сеть с множеством источников V^+ (здесь находятся грузы) и множеством стоков V^- (здесь имеются потребности в грузах), $V^+ \subseteq V, V^- \subseteq V, V^+ \cap V^- = \emptyset$. Пусть d_e^- и d_e^+ – векторы нижних и верхних пропускных способностей всех дуг $e \in E$. Обозначим через E_i^+ и E_i^- соответственно, множество дуг, входящих и выходящих из вершины $i \in V$. Целочисленный вектор будем называть **субмодулярным потоком**, если он удовлетворяет ограничениям:

- по пропускной способности дуг:

$$d_e^- \leq x \leq d_e^+; \quad (11)$$

- по балансу притока и оттока для каждой вершины промежуточной сети:

$$\sum_{e \in E_i^+} x_e = \sum_{e \in E_i^-} x_e, i \in V \setminus V^+ \cup V^-; \quad (12)$$

- по балансу вывоза грузов с учетом взаимозаменяемости для источников:

$$r_1^-(I) \leq u_i(x) = \sum_{i \in I} \left(\sum_{e \in E_i^-} x_e - \sum_{e \in E_i^+} x_e \right) \leq r_1^+(I), i \in V^+, I \subseteq V^+; \quad (13)$$

– по балансу завоза грузов с учетом взаимодополняемости для стоков:

$$r_2^-(I) \leq v_i(x) = \sum_{i \in I} \left(\sum_{e \in E_i^+} x_e - \sum_{e \in E_i^-} x_e \right) \leq r_2^+(I), i \in V^-, I \subseteq V^-. \quad (14)$$

Здесь векторы $\{u_i(x) : i \in V_i^+\}$ и $\{v_i(x) : i \in V_i^+\}$ носят вспомогательный характер и показывают соответственно баланс транспортных потоков из источников $i \in V^+$ в стоки $i \in V^-$. Ограничения (13) и (14), отсутствующие в стандартной потоковой задаче, показывают коррелированность и взаимозаменяемость предложения и спроса. Груз поставщиков имеется на нескольких I взаимозаменяемых ТЛЦ в рамках двусторонних: нижних $r_1^-(I)$ и верхних $r_1^+(I)$ ограничений. То же самое относится и к ТЛЦ потребителей грузов. В такой модели перевозчики обладают большей свободой выбора, в том, где взять груз и куда отвезти. Выбирая конкретные функции $r_s^-(I)$, $r_s^+(I)$, получаем и стандартную потоковую задачу и различные другие сетевые транспортные задачи: о независимых потоках, о кроссирующих потоках, о полиматроидных потоках, о координатно-выпуклых потоках. При этом $r_1^+(I)$ и $r_2^+(I)$ – субмодулярные, а $r_1^-(I)$ и $r_2^-(I)$ – супермодулярные функции, связанные условиями, гарантирующими, что пересечения $P(r_1^-, r_1^+)$ и $P(r_2^-, r_2^+)$ двух соответствующих полиматроидов обладают свойствами обычного полиматроида.

Субмодулярный поток будем называть **оптимальным**, если он доставляет минимум целевой функции затрат:

$$f(x) = \sum_{e \in E} f_e(x_e) \rightarrow \min, \quad (15)$$

где $f_e(x_e)$ – сильно-супермодулярная функция стоимости транспортировки по дуге e , в частности она может быть линейной. Поэтому стандартная сетевая транспортная задача является частным случаем изложенной, так как линейная функция есть частный случай сильно-супермодулярной функции, а стандартные транспортные ограничения есть пересечение двух полиматроидов.

Предложены методы и создано программное обеспечение решения сформулированной и подобных задач о субмодулярном потоке в транспортной сети минимальной стоимости и заданной мощности v (или максимальной мощности) на основе построенной вспомогательной конструкции – аугментального графа, с помощью которого сформулирован критерий оптимальности.

В первой части главы 4 «**Математическое моделирование динамики международных конкурентных позиций Беларуси в транспортной логистике и методы построения консенсус-прогноза экспорта транспортных услуг**» предложена система моделей и на их основе – методика системного анализа динамики международных конкурентных позиций (таблица 2), которая позволила детально проанализировать по пятилеткам с учетом пандемийных ограничений и их последствий белорусские позиции на мировых рынках грузовой логистики. Модели формализуют работы по международной и сравнительной конкурентоспособности на отраслевых рынках. Методика системного анализа динамики страновой международной конкурентной позиции, примененная к Беларуси и России в сравнении с мировыми лидерами в логистике – Китаем и ЕС (таблица 2), что позволило выявить сильные и слабые стороны белорусской транспортной логистики, ее динамику за XXI в. и проблемы:

1. Мировой среднегодовой рост экспорта транспортных услуг за 21 год в 5,9 % существенно опережали Китай – 18,4 %, Беларусь – 10,0 % и Россия – 8,3 %, США и ЕС отставали от мирового рынка с ростом только в 1,1 % и 5,9 %, и поэтому их доли на мировом рынке значительно уменьшились. Среднегодовой рост доли мирового рынка транспортных услуг был феноменальным у Китая – 12 % и достаточно большим у Беларуси – 4,1 %. Белорусские соседи – Украина и Литва, имеющие такое же сухопутное транзитное значение, как Беларусь, и плюс к этому выход к морю, экспортируют ненамного больший объем транспортных услуг: в 2021 г. Украина – 5 млрд долл., Литва – 7,8 млрд долл. При этом Польша, имеющая продолжение транзита из Беларуси и крупный Гданьский порт на Балтийском море, вышла на уровень 19 млрд долл. экспорта транспортных услуг.

2. Беларусь резко увеличила свою долю в мировом экспорте транспортных услуг и вышла в мировые лидеры по экспорту транспортных услуг на душу населения, обойдя США и ЕС (если исключить перевозки внутри ЕС), причем Беларусь по этому показателю опережает и Польшу.

3. Среднегодовой рост импорта, опережающий мировой в 5,8 %, был у Китая – 12,1 % и Беларуси – 16,6 %. В результате опережающего роста импорта Беларусь и Россия существенно ухудшили коэффициент покрытия экспортом импорта транспортных услуг, хотя он остается у обеих стран больше 1. Значительно вырос и импорт на душу населения, особенно у Беларуси, у которой он фактически сравнялся с американским. Для Беларуси это требует разработки программы импортозамещения транспортных услуг, особенно необходимо уменьшать автомобильный импорт, который достиг почти 1 млрд долл.

4. Доля чистого экспорта транспортных услуг в Беларуси остается положительной; ее вклад в ВВП в 2021 г. составил 2,7 %, в 2022 г. – 2,2 %. Тем

не менее, опережающий в 1,5 раза рост импорта по сравнению с экспортом снизил растущий чистый экспорт и его вклад в ВВП, а также уменьшил коэффициент покрытия импорта экспортом за последние 15 лет в три раза. Чистый экспорт у мировых лидеров внешней торговли отрицателен: их собственных транспортных возможностей не хватает, значительные суммы уходят на оплату зарубежных логистов. Отрицательный чистый экспорт у Китая, США и Германии уменьшает их ВВП (таблица 2).

5. Индекс Грубеля-Ллойда, измеряющий внутриотраслевую торговлю, свидетельствует, что качество транспортных услуг в Китае, России и Беларуси растет за счет внутриотраслевой конкуренции.

6. Сравнительное преимущество транспортных услуг в классе экспорта всех услуг у Беларуси высокое, хотя незначительно уменьшилось с 2000 г.



Рисунок 6 – Динамика экспорта белорусских транспортных услуг (левая ось, млн долл.) и его доли в мировом экспорте (правая ось, %) в период 2000-2022 гг.

Таблица 2 – Система моделей анализа динамики за XXI век конкурентных позиций на мировом рынке транспортных услуг

	Индикаторы	Модели	Год	Мир	ЕС (вне ЕС)	Китай	Беларусь	Россия	
1	Экспорт, млрд долл.	$EXP_i(t)$	2000	346,4	146,4 (-)	3,7	0,6	355,5	
			2021	1158,9	488,7 (245,7)	127,3	4,4	18,965	
	Среднегодовой рост экспорта, %	$CAGR\ EXP_i(t+\Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{EXP_i(t+\Delta t) / EXP_i(t)}$		5,9	5,9 (-)	18,4	10	8,3	
	Доля в мировом экспорте, %	$SHARE\ EXP_i(t) = (EXP_i(t) / EXP_w(t)) \times 100\%$	2000	100	42,2 (-)	1	0,2	1	
			2020	100	40,5 (21)	10,9	0,38	1,6	
	Среднегодовой рост доли, %	$CAGR\ SHARE\ EXP_i(t+\Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{EXP_i(t+\Delta t) / EXP_i(t)}$		-	0 (-)	12	3,1	2,3	
	Экспорт на душу населения, долл.	$EXP_i^{pc}(t) = \frac{EXP_i(t)}{POPULATION_i(t)}$	2000	57	384 (448)	3	60	24	
			2020	146	1093 (380)	90	465	132	
	Импорт, млрд долл.	$IMP_i(t)$	2000	419,2	147,6 (-)	13,5	0,1	2,33	
			2021	1374,1	411,7 (186,3)	147,9	2,5	15,764	
2	Среднегодовой рост импорта, %	$CAGR\ IMP_i(t+\Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{SHARE\ IMP_i(t+\Delta t) / SHARE\ IMP_i(t)}$		5,8	5 (-)	12,1	16,6	9,5	
	Доля в мировом импорте, %	$SHARE\ IMP_i(t) = (IMP_i(t) / IMP_w(t)) \times 100\%$	2000	100	35,2 (-)	25	0,02	0,55	
			2021	100	30 (13,6)	10,7	0,18	1,38	
	Среднегодовой темп роста доли, %	$CAGR\ SHARE\ IMP_i(t+\Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{IMP_i(t+\Delta t) / IMP_i(t)}$		-	-0,8 (-)	7,2	11	4,5	
	Импорт на душу населения, долл.	$IMP_i^{pc}(t) = \frac{IMP_i(t)}{POPULATION_i(t)}$	2000	68	387 (-)	8,0	10	16	
			2021	173	620,0 (299)	105,0	264	110	
	Чистый экспорт, млрд долл.	$EXP_i^{net}(t) = EXP_i(t) - IMP_i(t)$	2000	-	-1,2 (-)	-9,8	0,5	1,325	
			2021	-	77,0 (57,4)	-20,6	1,9	3,201	
	Среднегодовой рост чистого экспорта, %	$CAGR\ EXP_i^{net}(t+\Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{EXP_i^{net}(t+\Delta t) / EXP_i^{net}(t)}$		-	23,1 (-)	-3,4	6,9	4,3	
	3	Доля чистого экспорта в ВВП по обменному курсу, %	$\Delta_i(t) = \frac{EXP_i^{net}(t)}{GDP_i(t)} \times 100\%$	2000	-	-0,02 (-)	-5,8	4,6	0,48
			2021	-	0,24 (0,04)	-0,14	2,7	0,97	
Коэффициент покрытия импорта экспортом		$COV_i(t) = \frac{EXP_i(t)}{IMP_i(t)}$	2000	-	0,99 (-)	0,33	6	1,65	
			2021	-	1,19 (1,3)	0,86	1,76	1,2	
Доля чистого экспорта во внешней торговле, %		$NT_i(t) = \frac{EXP_i^{net}(t)}{FOREIGN\ TRADE_i}$	2000	-	-0,4 (-)	-48	71	23	
			2021	-	8 (13,3)	-7	28	9	
Индекс Грубеля – Ллойда		$GM_i(t) = 1 - \frac{ EXP_i^{net}(t) }{FOREIGN\ TRADE_i}$	2000	-	1 (-)	0,52	0,29	0,77	
			2021	-	0,92 (0,87)	0,93	0,72	0,91	
7		Сравнительное преимущество	$RCA_i(t) = \frac{EXP_i(t) / EXP_i^{total}}{EXP_w(t) / EXP_w^{total}}$	2000	1	(-)	0,6	2,5	-
				2021	1	1,1 (0,8)	1,7	2,3	1,8

7. Применение данной методики к пятилетним периодам (рисунок 6) выявило, что наиболее значительно экспорт грузовых транспортных услуг рос в Беларуси во 2-й пятилетке (2001–2005 гг.) – в 4,3 раза, причем экспорт железнодорожных грузов вырос более чем в девять раз, автомобильных – в 18 раз, трубопроводных – в два раза. В 3-й пятилетке (2006–2010 гг.) рост также был существенным – в 2,3 раза, причем железнодорожный экспорт вырос в 1,6 раза, автомобильный – в 2,2 раза, морской – в 90 раз, трубопроводный – почти в два раза. В 4-й и 5-й пятилетках рост был умеренным: примерно в 1,2 раза за 10 лет, в значительной степени из-за того, что трубопроводные услуги в связи с приватизацией Газпромом газопроводов уменьшились.

8. Пандемия и санкции на белорусские экспортно-импортные логистические операции воздействовала слабее, чем в мире: по данным ВТО, экспорт транспортных услуг уменьшился только на 10 % (рисунок 6).

Вторая важная группа результатов главы 4 – методы построения консенсус-прогнозов, агрегирующих включенные в банк различные эконометрические модели прогнозирования экспорта грузовых транспортных услуг (таблица 3). Построенные отдельные эконометрические модели специализируют на транспортную отрасль математический аппарат из известных книг по эконометрике Ф. С. Картаева, Г. А. Хацкевича и Т. В. Русилко, Г. О. Читая и С. Ф. Миксюк.

Таблица 3 – Метод построения консенсус-прогноза экспорта грузовых транспортных услуг в Республике Беларусь

№ модели	Вес модели	Исторический ряд	Пример описания банка эконометрических моделей
Трендовые			
M_1	α_1	2000–2018	ARIMA (2, 1, 2): $EXP(t) = 0,99EXP(t-1)(0,36EXP(t-3)(26,31 + E(t)))$
M_2	α_2	2005–2013	$EXP(t) = 1316,8t^{0,4722}$, погрешность – 7,3 % $t = t^0 + 1, \dots, t^0 + \Delta t, t^0 = 2014$ г.
M_3	α_3	2009–2018 поквартально	$EXP(t) = 530,46 - 796,67e^{-t} + 189,2t - 7,66t^2 + 0,10t^3 - 440,57 \ln t, R^2 = 0,903$
Факторные			
M_4	α_4	2005–2013	$EXP(t) = 0,05FOREIGN TRADE(RU, EU)_t - 0,304EXP(t-1) + R^2 = 0,916$
M_5	α_5	2008–2018	$\ln EXP(t) = 0,54 \ln FOREIGN TRADE(China, EU) + 0,61 \ln FOREIGN TRADE(RU, EU) + 1,58, R^2 = 0,9$ автокорреляция отсутствует, модель гомоскедастична, погрешность 0,026
M_n	α_n		• • •

Продолжение таблицы 3.

Методы определения весов α_i моделей M_i		
Метод 1	Метод 2	Метод 3
$\alpha_i = \rho_i / \sum_{i=1}^n \rho_i,$ <p>где ρ_i – прогнозная точность модели M_i, если модель ее не указывает, то ρ_i определяется по историческим данным</p>	<p>веса α_i определяются из условия минимизации отклонения в исторический год t</p> $\min(FACT(t) - \sum_i \alpha_i EXP_i(t)),$ $\sum_i \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0$	<p>веса α_i определяются в результате минимизации функции свертки (13) системы неравенств (14), в которой $b_i = FACT(t_i)$ – исторические данные для года t_i, а</p> $f(\alpha) = \sum_{i=1}^n \left(b_i - \min \left\{ b_i, \sum_{j=1}^n M_j(t_i) \alpha_j \right\} \right)$
Консенсус-прогноз		
$\alpha_1 M_1(t) + \alpha_n M_n(t) = EXP(t)$ $\alpha_1 + \dots + \alpha_n = 1, \alpha_i \geq 0$		

Для построения новых трендовых моделей использовались методы анализа временных рядов с выбором функции тренда, а при построении факторных моделей – методы линейной регрессии и эконометрические способы их обоснования. Первые модели, включенные в банк моделей для консенсус-прогноза, разработанные совместно с А. А. Дутиной (в частности, факторные модели зависимости экспорта грузовых транспортных услуг Беларуси от товарооборота России и Китая с ЕС), в диссертации пересмотрены с учетом санкций и добавления нового фактора – объема товарооборота взаимной торговли стран ЕАЭС.

Анализ показал, что консенсус-прогноз дает результат с существенно меньшей ошибкой, чем прогнозы отдельных моделей. В результате прогнозирования белорусского экспорта грузовых транспортных услуг до 2030 г. велось с помощью метода построения консенсус-прогноза в разрезе отдельных видов транспорта – автомобильного, железнодорожного и трубопроводного (таблица 4).

Таблица 4 – Консенсус-прогноз экспорта грузовых транспортных услуг Беларуси до 2030 г., млн долл.

Экспорт грузовых транспортных услуг	1995 г.	2000 г.	2018 г.	2021 г.	2025 г. (старый прогноз)	Гибридный консенсус-прогноз			
						стандартный (сохранение санкций ЕС к РФ,	оптимистичный (отмена санкций ЕС к РФ, 2014 г.)	Новый прогноз с сохранением санкций 2022 г.	
								2030 г.	2025 г.
Железнодорожные	94,0	138,7	927,4	907,1	1800	2000	2200	1100	1275
Автомобильные	58,0	114,6	1382,1	1625,4	1800	2000	2100	1250	1250
Трубопроводные	88,0	195,2	598	458,2	1100	1200	1320	0	250
Суммарно (включая водный и воздушный)	302,0	457,5	3262,5	3680,5	4700	5000	5620	3150	3400

Консенсус-метод использовался также для прогнозирования экспорта транспортных услуг стран – членов ЕАЭС, при этом в банк моделей включались факторные модели с независимыми факторами: взаимный товарооборот, внешний товарооборот с третьими странами, трендовые модели строились как авторегрессионное сглаживание типа *ARIMA*. Результаты консенсус-прогнозирования для ЕАЭС представлены на рисунке 7. В прогнозах учитывается восстановление экономики России, несмотря на санкции, и будущий рост взаимной торговли стран ЕАЭС. Рост суммарного экспорта транспортных услуг ЕАЭС по отношению к 2021 г. по консенсус-прогнозу будет происходить примерно на 2 % при трендовом и на 3,6 % – при оптимистичном сценариях с учетом среднегодового роста мировой экономики в среднем на 3 % и торговли – чуть более, чем на 2 %.

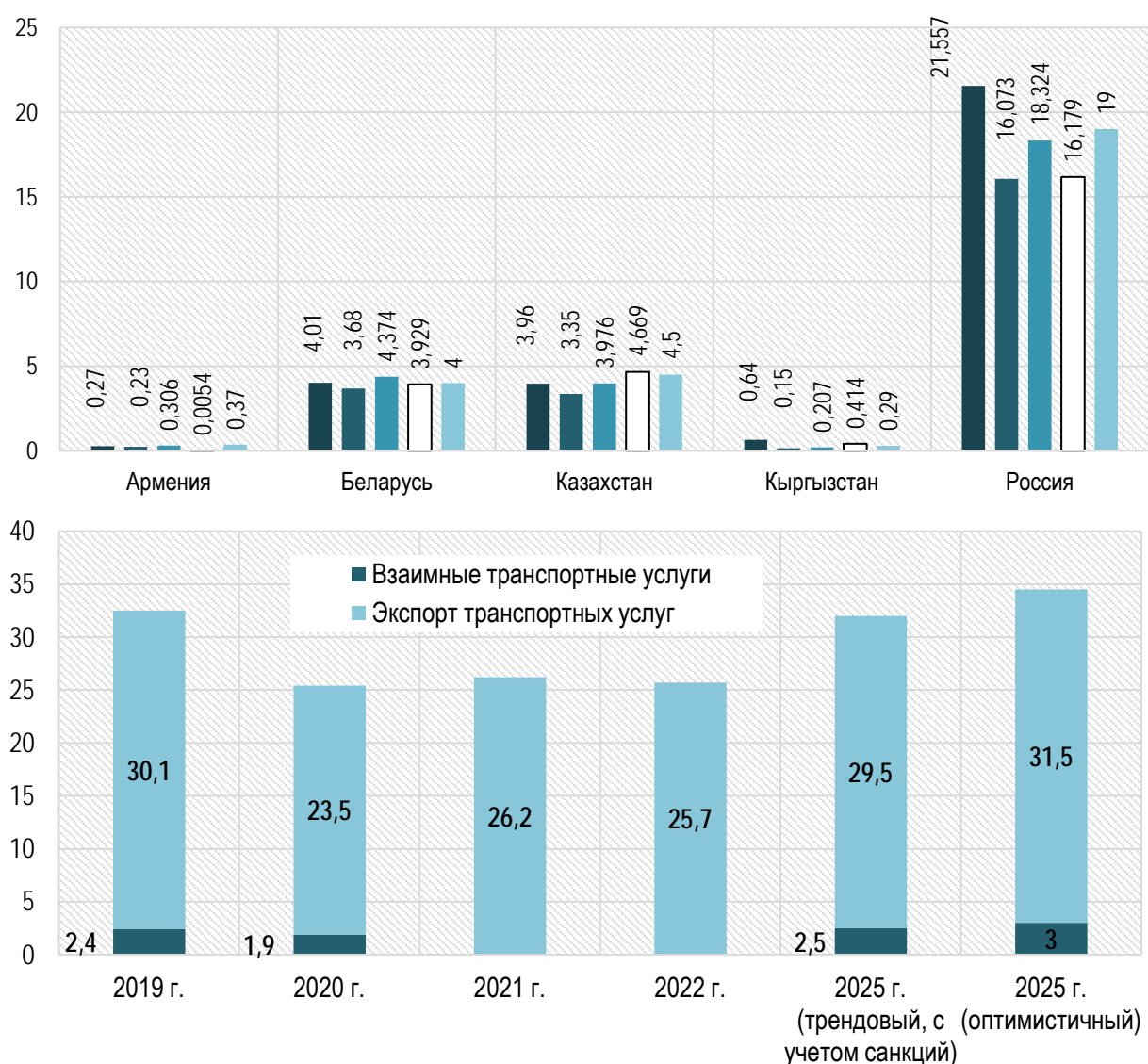


Рисунок 7 – Консенсус-прогноз экспорта транспортных услуг в разрезе стран и суммарного ЕАЭС до 2025 г., млрд долл.

Отметим, что при росте экспорта транспортных услуг на 1 млрд долл. при трендовом сценарии экспорт 2019 г. не будет восстановлен даже в 2025 г., а при оптимистичном – будет превышен только на 1 млрд долл. Трендовый консенсус-прогноз в 2 % не учитывает рывок, который случится в случае массового использования Северного морского пути (вероятно, произойдет после 2025 г.), и быстрое освоение странами ЕАЭС коридора «Север – Юг» при сохранении коридора «Восток – Запад».

Главная идея пятой главы **«Моделирование эффектов цифровизации транспортной логистики»**: цифровая логистика – это драйвер цифровой глобализации Республики Беларусь и создания единого транспортного пространства ЕАЭС, а также интеграции его в инициативу «Один пояс, один путь». Цифровизация транспортной логистики обеспечивает значительную экономическую эффективность, однако единого взгляда на ее измерение до сих пор пока нет. Поэтому на основе авторского определения: *«цифровая транспортная логистика – это применение цифровых технологий, возникших в результате синергии и интеграции новых ИТ-технологий и коммуникационных технологий Интернет, для выявления и прогнозирования потребностей в перевозках и оптимизации маршрутов транспортных потоков при оптимальном хранении, что существенно сокращает время и стоимость цепей поставок»* показано, что цифровая транспортная логистика, повысив эффективность и скорость логистических процессов, снижает долю транспортно-логистических издержек в стоимости товаров. Выделены и охарактеризованы экономические эффекты цифровой логистики в форме сокращения временных, трудовых и финансовых потерь, связанные с формированием оптимальных логистических схем на основе цифрового моделирования горизонтальных производственно-экономических и торгово-экономических связей.

Выявлены и исследованы глобальные факторы, влияющие на ускорение процессов цифровизации транспортной логистики, в том числе:

1) переход к умной (интеллектуальной) транспортной логистике благодаря новым цифровым технологиям, включая: искусственному интеллекту, «интернету вещей», облачным вычислениям, большим данным, роботизации и интеллектуализации складов, цифровым маркетплейсам, которые дают новые возможности планирования и управления логистическими процессами;

2) бурное развитие трансграничной электронной торговли (*Cross-Border E-Commerce – CBEC*);

3) новые технологические возможности доставки с помощью беспилотных транспортных средств, включая дроны, и создание продукции на ТЛЦ с помощью 3D-принтеров;

4) управление хранением товаров в ТЛЦ, что включает интеллектуальные системы отслеживания грузов на всех этапах перевозок, безлюдные технологии (роботизация складов и транспортных средств), полную автоматизацию документооборота (электронные товарно-транспортные документы, электронная таможня);

5) уберизация грузоперевозок, т. е. соединение клиентов и лог-операторов через цифровую платформу, что существенно сокращает для клиента стоимость и время перевозок;

б) новые цифровые бизнес-процессы, позволившие оптимизировать схемы транспортировки и хранения грузов при существенном сокращении затрат на планирование и управление.

Анализ показал, что цифровая международная логистика – это не только выбор вариантов доставки и инструментов для планирования и поддержки принятия решений, но и цифровое декларирование на таможне, цифровые зарубежные ТЛЦ, а также пункты выдачи заказов (постаматы). Предложен дешевый путь развития в ЕАЭС цифровой логистики для *СВЕС* – создание зарубежных общих умных складов на основе фулфилмента (*smart fulfilment*) с передачей им маркетплейсами на аутсорсинг логистических функций: хранение товаров, оформление заказов, отслеживание их движения с момента отправки до получения посылки. Обосновано, что основой для создания высокопроизводительного цифрового транспортно-логистического пространства ЕАЭС, способствующей развитию *СВЕС*, должна стать интеграция почтовых служб стран ЕАЭС как логистических операторов розничной электронной торговли. Создание почтами стран – участниц ЕАЭС общего фулфилмент-центра, который будет предоставлять услуги национальным производителям, опираясь на объединенные усилия почт по доставке товаров, даст мощный толчок *СВЕС* внутри ЕАЭС.

Важнейший результат главы 5 – разработка методик оценки экономической эффективности цифровизации и ее вклада в ВДС транспортной отрасли, основанные на применении логразностной модели экономического роста отрасли:

$$d \ln VACT(t) = \lambda_1 d \ln K^{ICT}(t) + \lambda_2 d \ln K^{NICT}(t) + \lambda_3 d \ln L(t) + \lambda_4 d \ln A(t) \quad (16)$$

с разбиением инвестиций в основной капитал на две составляющие: инвестиции в транспортной отрасли в ИКТ-капитал $K^{ICT}(t)$ (инвестиции в компьютеры, программное обеспечение, коммуникации и т. д.) и остальные инвестиции $K^{NICT}(t)$ (строительство складов, обновление транспортных средств и т. п.).

Эконометрическая оценка весов λ_i факторов модели (16) на основе статистических данных за 2005–2019 гг. позволила разработать следующую модель:

$$d \ln VACT(t) = 0,469d \ln(K^{ICT}(t)) + 0,103d \ln(K^{NICT}(t)) + 0,502d \ln(L(t)) + 0,884d \ln(A(t)). \quad (17)$$

Ее исследование показало, что исходные временные ряды являются нестационарными и интегрированными первого порядка. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$ ($P(F) = 0.00$), все коэффициенты являются значимыми. Наблюдается нормальное распределение остатков ($P(JB) = 0,95$). Автокорреляция отсутствует (тест Бреуша-Годфри – $P(Chi-Square) = 0,34$). Модель гомоскедастична (тест Уайта – $P(Chi-Square) = 0,47$). Согласно модели, рост инвестиций на 1 % в ИКТ-капитал при прочих равных приведет к росту добавленной стоимости на 0,469 %, а рост инвестиций на 1 % в остальной капитал – к росту добавленной стоимости только на 0,103 %.

Модель подтверждает выдвинутую гипотезу о том, что рост ВДС зависит в большей степени от роста инвестиций в ИКТ, чем инвестиций в остальной капитал. Поэтому более подробно остановимся на оценке и прогнозировании инвестиций в транспортную отрасль в целом, которые потом можно разложить по установившимся трендам в Республике Беларусь и мире в целом на две составляющие (INV^{ICT} – ИКТ-инвестиции и INV^{NICT} – инвестиции в остальной капитал)¹.

Выявлено также, что существует временная задержка от вклада ИКТ-инвестиций в рост ВДС транспортной отрасли до получения эффекта. В этой связи построим прогноз инвестиций с помощью моделей с дробными производными, т. е. моделей роста с памятью. Обобщим стандартную логистическую модель роста, в которой предполагается, что рост ВДС $VACT(t)$ пропорционален объему инвестиций $INV(t)$, т. е. для инвестиций выполняется так называемое условие акселерации:

$$INV(t) = v(\alpha) \frac{dVACT}{dt}, \quad (18)$$

где $v(\alpha)$ – коэффициент акселерации (акселератор).

¹ Опрос 10 белорусских транспортно-логистических компаний показал, что у них ИКТ-инвестиции занимают немногим более 5 % от всех инвестиций. Это подтверждается и цифрами импорта ИКТ-товаров в Беларусь в последние годы – около 1 млрд долл., что составляет 6–7 % от всех инвестиций. У ведущих стран мира за 10 лет стадии цифровой экономики доля ИКТ-инвестиций в валовом накоплении капитала колеблется в интервале 10–17 % (статистика ОЭСР).

Линейное уравнение акселерации (18) не учитывает эффекты лага и памяти, поэтому перейдем к моделям с дробными производными Джрбашяна-Капуто, в результате чего получим:

$$INV(t) = v(\alpha) \left({}^{DC}D_{0+}^{\alpha} VACT(t) \right), \quad (19)$$

где ${}^{DC}D_{0+}^{\alpha} VACT(t)$ – дробная производная порядка α .

Используя статистические данные ВДС за 2015–2021 гг., на основе регрессионной интерполяции построена функция ВДС $VACT(t)$ и найдена дробная производная, что позволило построить прогноз инвестиций при различных порядках дробности α (см. рисунок 8), из которого видно, что, управляя порядком дробности в зависимости от статистических данных, можно получать более точные прогнозы. Использование дифференциальных уравнений с дробными производными позволило «сгладить» выбросы данных в модели с классическими производными. Например, в 2020 г. произошел спад инвестиций, но, изменив параметр дробности, мы получили более адекватный прогноз.

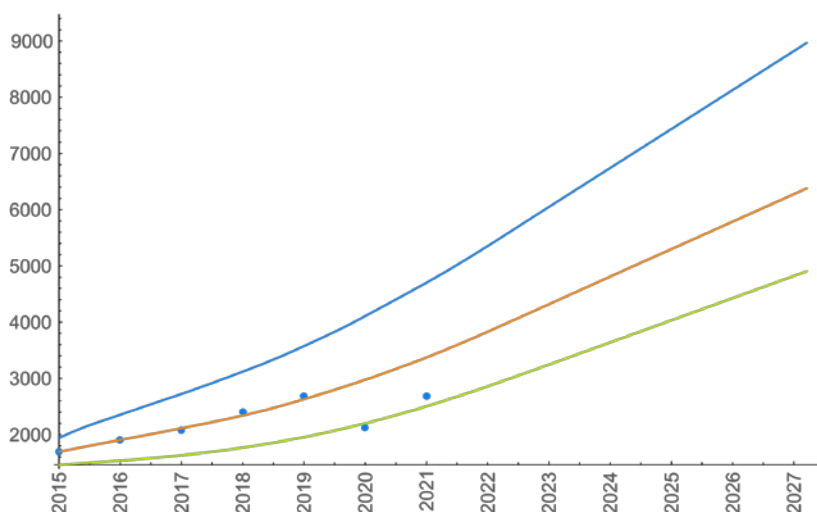


Рисунок 8 – Прогноз объема чистых инвестиций $I(t)$, млн руб., выполненный при различных параметрах дробности

Совместное использование дробно-линейной модели (19) для прогнозирования инвестиций и эконометрической модели (17) со стандартной заменой роста основного капитала на рост инвестиций позволяет количественно оценить экономический эффект цифровизации за счет оценки его вклада в ВДС транспортной отрасли. Важным преимуществом разработанной модели является то, что для построения прогноза необходимо меньшее количество данных, чем для классической модели. В то же время предлагаемая на основе моделей (17) и (19) методика оценки эффективности цифровизации является универсальной и может быть применена к другим отраслям экономики.

В шестой главе «Гибридно-инструментальный метод разработки организационно-экономического механизма развития международной

транспортной логистики Беларуси в рамках единого транспортного пространства ЕАЭС» изложены подходы к синтезу инструментов эффективной адаптации международной транспортной логистики Республики Беларусь к условиям формирования единого транспортного пространства ЕАЭС, что потребовало выявления новых препятствий и слабых сторон отечественной логистики.

Идея предложенного гибридно-модельного метода – интеграция двух типов моделей маркетинга: моделей анализа международных конкурентных позиций белорусской транспортной логистики для выявления барьеров (угроз, препятствий и слабых сторон) ее развитию и моделей установления их глубинных причин (см. рисунок 9).



Рисунок 9 – Гибридно-модельный подход к разработке организационно-экономического механизма развития транспортной логистики Республики Беларусь в едином транспортном пространстве ЕАЭС

Несмотря на в целом успешное выполнение ряда республиканских программ развития логистики и передвижение Республики Беларусь со 103-го места в 2018 г. до 79-го в 2023 г. в рейтинге эффективности логистики *LPI* Всемирного банка, ряд значений субиндексов свидетельствует о существовании нескольких барьеров в развитии транспортно-логистического сектора страны,

устранение которых является актуальной задачей. Кроме того, пандемический кризис 2020–2021 гг. и санкции сформировали на мировом транспортно-логистическом рынке новые описанные в диссертации тенденции, которые также необходимо учитывать (рисунок 10).

С помощью гибридно-модельного метода в диссертации подробно описаны две новые гибридные модели: *SWOT*-анализ плюс *WHY-WHY*-анализ и рейтинговая модель LPI + диаграмма Исикавы. С помощью *SWOT*-анализа выявлены основные факторы, наиболее сильно влияющие на экспортный транспортно-логистический потенциал Беларуси, с разбивкой на внешние и внутренние, и далее к ним применен метод *WHY-WHY*-анализа, который установил глубинные причины выявленных барьеров развития. В частности, установлено, что глобальные логистические цепи и каналы поставок из Китая в ЕС требуют от Беларуси более квалифицированного, комплексного и цифрового управления международными транспортно-логистическими процессами, и их гармонизации с Китаем.

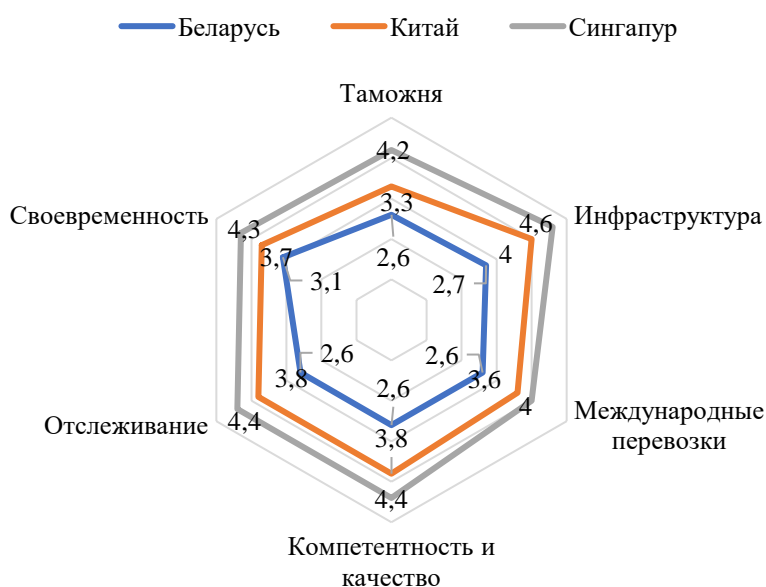


Рисунок 10 – Сравнительный анализ за 2023 г. слабых мест в белорусском транзитном потенциале транспортной логистики с помощью индекса LPI в сравнении с мировыми лидерами: Сингапуром (по индексу LPI) и Китаем (по экспорту транспортных услуг) (максимальный возможный балл – 5)

Вторая гибридная модель выявила слабые места в белорусской транспортной логистике с помощью рейтинговой модели эффективности логистики LPI (Всемирного банка) и далее с помощью причинно-следственной модели-диаграммы Исикавы (Fishbone Cause and Effect Diagram – диаграмма рыбьей кости причин и эффектов) позволила обнаружить их причины, что в

совокупности дало еще одну методику генерирования инструментов устранения барьеров. Разработанные с помощью описанной выше методики инструменты в совокупности создали методологическую и методическую основу для совершенствования организационно-экономического механизма развития международной транспортной логистики в Республике Беларусь в условиях формирования единого транспортного пространства ЕАЭС, важнейшие из которых:

- расширение общего участия ЕАЭС в международных соглашениях и конвенциях в области транспорта, гармонизации цифровых процедур с международными;

- унификация и цифровизация к 2025 г. перевозочных электронных документов и других сервисов в рамках консорциума «Цифровые транспортные коридоры ЕАЭС» с переходом на международные стандарты электронных транспортных и таможенных документов и навигационных пломб (e-TIR, e-CMR, e-rail Freight и т. д.), совместимые со стандартами ЕС (проект AEOLIX) и китайской LOGINK;

- создание цифрового международного транспортного коридора «Китай – Казахстан – Россия – Беларусь – ЕС» с взаимным признанием цифровой подписи;

- переход на единые правила *СВЕС* и создание маркетплейсов для торговли товарами малого бизнеса стран-членов ЕАЭС в рамках инициативы «Один пояс, один путь», а также создание единого логистического оператора *СВЕС* ЕАЭС на базе почт стран – членов ЕАЭС;

- координация политики стран – членов ЕАЭС в области интеллектуальных транспортных систем;

- организация цифровой биржевой торговли взаимными транспортными услугами стран – членов ЕАЭС;

- взаимодействие с мировыми цифровыми экосистемами сопредельных государств в области транспортной логистики, что за счет цифровизации МТК «Восток – Запад» и «Север – Юг» позволит существенно усилить логистический потенциал ЕАЭС, а оборудование МТК широкополосными беспроводными сетями связи – перейти к технологической совместимости, включая беспилотный транспорт;

- унификация и упрощение сквозных тарифов и налогообложение для экспортных транспортных услуг, включая мультимодальные.

Повышение транспортной связности и взаимных транспортных потоков в едином транспортном пространстве ЕАЭС даст синергический эффект для экономик его членов и создаст условия для встраивания в глобальные цепочки создания добавленной стоимости вдоль МТК «Восток – Запад», «Север – Юг» и «Один пояс, один путь».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. Концептуальное развитие теоретических основ транспортной логистики. Получили развитие теоретико-методологические подходы, включающие: авторский подход к периодизации истории транспорта и эволюции транспортной науки, выделение и анализ процессов в мировой экономике, сформировавших 10 глобальных трендов, оказывающих влияние на белорусский транспортно-логистический комплекс: цифровизация транспортно-логистической системы, интеграция производственной, транспортной логистики и управление цепями поставок, логистика электронной торговли, контейнеризация грузоперевозок, формирование мультимодальных транспортно-логистических центров, устойчивая экологичная логистика, рост рынка агрологистики. Степень следования указанным трендам определяет конкурентоспособность национальной логистической системы. Представленные в диссертации теоретические основы транспортной науки в ее историческом развитии стали фундаментом для математического моделирования процессов в белорусской транспортной системе [1–А; 3–А; 8–А; 15–А; 19–А; 24–А; 26–А].

2. Моделирование сбалансированного развития транспортной системы. Определено место транспортной логистики в экономике Республики Беларусь и проведена оценка ее текущего состояния и потенциала. С помощью метода качественного и количественного экономического анализа состояния белорусского транспортно-логистического сектора выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на временные изменения структуры ее подсекторов. Новые научные результаты: 1) методика прогнозирования валовой добавленной стоимости транспортной отрасли на основе логарифмических производственных моделей и их дробно-дифференциальных обобщений; 2) модели измерения сбалансированности развития транспортной отрасли с общим ростом экономики Республики Беларусь, в совокупности дающие метод анализа и прогноза сбалансированного развития отрасли [1–А; 3–А; 4–А; 5–А; 6–А; 8–А; 14–А; 20–А; 21–А; 23–А; 25–А; 27–А; 29–А; 32–А; 34–А; 35–А; 42–А; 44–А]

3. Теория субмодулярности и субмодулярные модели оптимизационных задач транспортной логистики. Построена современная экономико-математическая теория оптимизационных задач транспортной логистики, основанная на осмыслении роли в экономических процессах свойства субмодулярности, понимание которой возникло еще у Монжа при решении задач транспортного снабжения войск Наполеона. Детально исследован смысл и значение субмодулярных функций в экономике и транспортной логистике, на этой основе сформулированы новые сетевые модели оптимизационных задач логистики и предложены методы их решения, важнейший из которых – метод решения субмодулярной сетевой транспортной задачи [3–А; 10–А; 11–А; 36–А; 37–А].

4. Система моделей динамики конкурентных позиций национальной транспортной логистики и консенсус-метод прогноза ее экспорта на мировые рынки. Предложен новый концептуальный подход к анализу динамики изменения конкурентных позиций страны на мировом рынке транспортно-логистических услуг, в основу которого положена система моделей роста динамики индикаторов страны на глобальном отраслевом рынке, важнейшие из которых: рост доли мирового рынка, чистый экспорт, сравнительные преимущества, коэффициент покрытия экспортом импорта. Предложенный методический подход анализа динамики конкурентных позиций Беларуси на мировом рынке транспортных услуг позволил описать ее конкурентную траекторию в XXI в. и за каждую его пятилетку, а также за три ковидных года. В отличие от разрозненных методик анализа глобальной конкурентоспособности, предложенная концепция, система моделей и методический подход позволяют целено увидеть процесс конкуренции за счет сравнения своей траектории с траекторией расширения (сужения) конкурентных позиций у главных соперников.

Представлены три метода агрегации отдельных моделей прогноза экспорта грузовых транспортных услуг Республики Беларусь в консенсус-прогноз в зависимости от способа вычисления весов моделей, включенных в указанный прогноз. Фактически, методы агрегации моделей формируют научный подход к определению наиболее точных коэффициентов консенсус моделей с наименьшими ошибками прогноза. [2–А; 3–А; 5–А; 6–А; 9–А; 16–А; 22–А; 32–А; 33–А; 34–А].

5. Модели оценки эффектов цифровизации транспортного сектора экономики. Сформулированы тенденции и направления цифровой трансформации транспортной логистики, установлено значение цифровой логистики для современной глобализации. Предложены математические модели измерения экономической эффективности цифровизации, созданной за счет цифровизации логистики дополнительной ВДС на основе производственных моделей с разбиением инвестиций в основной капитал на ИКТ-инвестиции и не-ИКТ-инвестиции. Применены дробно-дифференциальные модели для прогнозирования инвестиций [3–А; 5–А; 7–А; 12–А; 17–А; 20–А; 21–А; 28–А; 29–А; 30–А; 35–А; 38–А; 39–А; 42–А; 43–А; 44–А].

6. Гибридно-модельный метод к интеграции методов маркетинга для выявления барьеров развития международной транспортной логистики и установления инструментов их ликвидации. Построены гибридные модели разработки инструментов организационно-экономического механизма развития международной транспортной логистики Беларуси в рамках единого транспортного пространства ЕАЭС, где решающую роль играет синтез двух выбранных маркетинговых моделей: одна выявляет угрозы, риски, слабые места в конкурентоспособности белорусской транспортной отрасли, а вторая типа *WHY-WHY* -анализа или диаграмм Исикавы – их глубинные причины. Гибридно-модельный метод позволяет создавать инструменты устранения слабых мест

(рисков, угроз), которые в совокупности дают основу организационно-экономического механизма развития белорусской логистики [2–А; 3–А; 6–А; 7–А; 12–А; 13–А; 14–А; 18–А; 22–А; 23–А; 26–А; 31–А; 40–А; 41–А; 45–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Построенные в диссертации математические методы, модели и методические подходы будут способствовать выработке эффективной транспортно-логистической политики Республики Беларусь, включая политику интеграции страны в единое транспортное пространство ЕАЭС и в транспортно-логистическую инфраструктуру инициативы «Один пояс, один путь».

Дальнейшее развитие научного направления – математическое моделирование и прогнозирование транспортных систем и процессов – требует расширения и пополнения арсенала математических моделей конкретных транспортно-логистических систем и процессов с помощью концептуальных идей, развитых в диссертации: о дробно-дифференциальном подходе в моделях сбалансированного развития транспортной отрасли, о субмодулярных транспортных потоках, о системе моделей анализа динамики конкурентных позиций и методах построения консенсус-прогноза экспорта транспортно-логистических услуг, о моделях измерения экономических эффектов цифровизации и гибридных моделях интеграции методов маркетинга в инструменты создания организационно-экономического механизма развития транспортной логистики страны.

Осуществленное применение полученных результатов планирования и управления транспортной деятельностью для Республики Беларусь подтверждено следующими актами и справками о внедрении:

– в Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь для анализа развития белорусской транспортной отрасли и оценки ее потенциала, при разработке экономической политики, направленной на повышение эффективности транспортно-логистической деятельности отечественных предприятий и сбалансированного развития отечественного транспортно-логистического комплекса, при подготовке изменений и дополнений в Государственную программу «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы (акт от 30.05.2023);

– в деятельности Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь для качественной и количественной оценки глобального конкурентного потенциала развития отечественной транспортно-логистической системы, а также для оценки прироста отраслевой стоимости за счет цифровизации транспортной отрасли (акт от 16.03.2023);

– в деятельности Евразийского Банка Развития при разработке финансовых моделей проектов (акт от 20.03.2023);

– в реальном секторе экономики при формировании среднесрочной и долгосрочной стратегии развития транспортных услуг следующих компаний: РТУП «Белинтертранс – транспортно-логистический центр» Белорусской железной дороги (акт от 10.09.2019), ОАО «Минский автомобильный завод»

(справка от 23.06.2022), ООО «Креативная логистика» (акт от 21.09.2022), ООО «Бел Фуд Сервис» (акт от 22.10.2022), ООО «Хэшрейт» (акт от 15.12.2022), ООО «Иванар Автомотив» (акт от 16.02.2023), ООО «Автонар» (акт от 17.02.2023);

– в учебном процессе БГУ при проведении занятий по дисциплинам «Аналитическая экономика» (акт от 31.05.2023), «Логистика» (акт от 31.05.2023), в образовательной программе кафедры логистики и маркетинга Международного университета «МИТСО» в лекционных курсах и семинарских занятиях по дисциплине «Транспортная логистика» (акт от 27.11.2017).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Монографии

1–А. Ковалев М. М., Королева А. А., Дутина А. А. Транспортная логистика в Беларуси: состояние, перспективы : монография. – Минск: Изд. центр БГУ, 2017. – 327 с.

2–А. Королева А. А., Дутина А. А. Международная транспортная логистика: конкурентные позиции Беларуси : монография. – Минск: Изд. центр БГУ, 2020. – 143 с.

3–А. Королева А. А. Математический инструментальный анализа развития транспортной логистики в Беларуси : монография. – Минск: Изд. центр БГУ, 2022. – 279 с.

Статьи в научных рецензируемых журналах, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий

4–А. Королева А., Дутина А. Моделирование и прогнозирование экспорта транспортных услуг // Банкаўскі веснік. – 2016. – № 12 (641). – С. 33–38.

5–А. Koroleva A. A., Dutina A. A. Forecast of export of transportation services // J. Belarus. State Univ. Econ. – 2017. – № 1. – P. 84–89.

6–А. Королева А. А., Дутина А. А. Трендовое прогнозирование экспорта грузовых транспортных услуг Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экономика. – 2018. – № 1. – С. 14–19.

7–А. Королева А. А. Экономические эффекты цифровой логистики // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экономика. – 2019. – № 1. – С. 68–76.

8–А. Дутина А. А., Королева А. А. Конкурентные позиции белорусского сектора транспортных услуг на мировом рынке логистических услуг // Новая экономика. – 2019. – № 2 (74). – С. 190–194.

9–А. Koroleva A. A., Dutina A. A. Digital globalization and export prospects of Belarusian transport logistics // J. Belarus. State Univ. Econ. – 2020. – № 1. – P. 49–56.

10–А. Королева А. А. От Монжа до современной оптимизации транспортных потоков // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экономика. – 2021. – № 1. – С. 26–36.

11–А. Королева А. А. Субмодулярные функции в экономике и логистике // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экономика. – 2021. – № 2. – С. 18–25.

12–А. Головенчик Г. Г., Господарик Е. Г., Королева А. А. Цифровая международная логистика – драйвер цифровой глобализации и цифрового развития ЕАЭС // Веснік сувязі. – 2021. – № 3. – С. 43–47.

13–А. Господарик Е., Королева А. Перспективы экспорта транспортных услуг в ЕАЭС // Банкаўскі веснік. – 2021. – № 4. – С. 65–72.

14–А. Королева А., Дутина А. Беларусь на мировом рынке транспортных услуг в пандемический кризис // Беларуская думка. – 2022. – № 4. – С. 60–67.

15–А. Ковалев М., Королева А. Тренды XXI века в мировой экономике, торговле и логистике и их влияние на Беларусь и Россию // Банкаўскі веснік. – 2022. – № 9 (710). – С. 3–12.

16–А. Ковалев М. М., Королева А. А., Тан Цзянь. Анализ динамики конкурентных позиций секторов национальной экономики на мировых рынках // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экономика. – 2022. – № 1. – С. 4–10.

17–А. Королева А. А. Оценка динамики роста и потенциал транспортной отрасли Республики Беларусь // Социальные и экономические системы: Международный электронный научный журнал. – 2023. – № 3.2 (44). – С. 291–304.

18–А. Королева А. А. Методика выявления слабых мест в транзитном потенциале // Polish Journal of Science. – 2023. – № 63. – С. 23–35.

19–А. Королева А. Трансформация белорусской транспортно-логистической системы в контексте глобальных трендов в развитии современной транспортной логистики // German International Journal of Modern Science. – 2023. – № 58. – С. 18–22.

Статьи в иных научных рецензируемых изданиях

20–А. Koroleva A., Rogosin S. Integral representation of the four-parametric generalized Mittag-Leffler function // Lithuanian mathematical journal. – 2010. – № 50(3). – P. 337–343.

21–А. Kilbas A. A., Koroleva A. A., Rogosin S. V. Multi-parametric Mittag-Leffler functions and their extension // Fractional Calculus and Applied Analysis. – 2013. – Vol. 16, № 2. – P. 378–403.

22–А. Королева А., Хайкина С. Развитие транзитного транспортно-складского логистического сектора Республики Беларусь // Вестник Ассоциации белорусских банков. – 2016. – № 9/10. – С. 21–30.

23–А. Ковалев М. М., Королева А. А., Дутина А. А. Белорусская транспортная логистика: современное состояние и перспективы развития // Вестник Ассоциации белорусских банков. – 2016. – № 9–10(784–785). – С. 21–30.

24–А. Королева А., Дутина А. Тренды современной логистики // Вестник Ассоциации белорусских банков. – 2017. – № 10(809). – С. 12–15.

25–А. Koroleva A. A., Dutina A. A. How to Make Money on Geography: Transportation and Logistics Services in Belarus // Entrepreneurship and Global Economic Growth: Modeling Economic Growth in Contemporary Belarus / ed.: Bruno S. Sergi. – Emerald Publishing Limited, 2020. – P. 147–162.

26–А. Ковалев М. М., Королева А. А. Императивы мировой экономики, торговли, логистики XXI века и их влияние на Беларусь и Россию // Аудит и финансовый анализ. – 2022. – № 6. – С. 39–48.

27–А. Цзянь Тан, Королева А. А. К концепции сбалансированного развития отраслевой экономики (на примере транспорта) // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2023. – № 1. – С. 79–84.

28–А. Васенкова Е. И., Королева А. А., Дутин С. Р. Методика оценки экономической эффективности и ее вклада в добавленную стоимость (на примере транспортной отрасли) // Финансовая экономика. – 2023. – № 5. – С. 146–148.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

29–А. Koroleva A. A. On zero distribution of the extended Mittag-Leffler function // Further Progress in Analysis : proceedings of the 6th ISAAC Congress, 13–18 August 2007, Middle East Technical Ankara University, Turkey; ed: Begehr H.G.W. [et al.]. – Ankara, 2007. – P. 62.

30–А. Kilbas A. A., Koroleva A. A. Fractional calculus of the extended generalized Mittag-Leffler function // Современные проблемы математики и механики и их приложений : материалы Междунар. конф., посвященной 70-летию ректора МГУ академика В. А. Садовниченко / МГУ им. М. В. Ломоносова; редкол.: Осипов Ю. С. [и др.]. – М.: Изд-во «Университетская книга», 2009. – С. 251.

31–А. Дутина А. А., Королева А. А. Пути повышения транзитного потенциала Республики Беларусь и транзитной привлекательности страны // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики в условиях модернизации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Омск, 14 авг. 2017; редкол.: Сукласян А. А. [и др.]. – Омск, Стерлитамак: АМИ, 2017. – С. 69–75.

32–А. Королева А. А., Дутина А. А. Прогнозирование экспорта грузовых транспортных услуг Беларуси // Аналитические методы анализа и дифференциальных уравнений : материалы 9 Междунар. науч. семинара AMADE, 17–21 сент. 2018 г., Минск, Беларусь; редкол.: Рогозин С. В. [и др.]. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 2018. – С. 43–44.

33–А. Королева А. А. Цифровой шелковый путь // Тенденции экономического развития в XXI веке : материалы Междунар. науч. конф., посвященной 20-летию образования экономического факультета БГУ, Минск, 28 февр. 2019; редкол.: Королева А. А. [и др.]. – Минск: БГУ, 2019. – С. 586–587.

34–А. Королева А. А., Дутина А. А. Перспективы развития экспортного сектора транспортных услуг Беларуси // Тенденции экономического развития в

XXI веке : материалы II Междунар. науч. конф., Минск, 28 февр. 2020; редкол.: Королева А. А. [и др.]. – Минск: БГУ, 2020. – С. 160–162.

35–А. Королева А. А. Реализация гидродинамической модели применительно к описанию движения транспортного потока по кольцевой автомобильной дороге // Тенденции экономического развития в XXI веке : материалы III Междунар. науч. конф., Минск, 01 марта 2021 г. / БГУ; редкол.: Королёва А. А. [и др.]. – Минск: БГУ, 2021. – С. 306–307.

36–А. Королева А. А. Современные методы оптимизации транспортных потоков: сравнительный анализ // Аналитические методы анализа и дифференциальных уравнений : материалы 10 Междунар. науч. семинара AMADE, 13–17 сент. 2021 г., Минск, Беларусь / Институт математики НАН Беларуси; редкол.: Рогозин С. В. [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – С. 47–48.

37–А. Королева А. А. Моделирование в логистике на основе субмодулярных функций // Тенденции экономического развития в XXI веке : материалы IV Междунар. науч. конф., Минск, 01 марта 2022 г. / БГУ; редкол.: Королёва А. А. [и др.]. – Минск: БГУ, 2022. – С. 183–184.

38–А. Королева А. А., Дутина А. А. Ключевые направления развития цифровой логистики // Issues of development of modern science and technology : Collection of articles XVII International Scientific and Practical Conference, November 26, 2022, Melbourne, Australia.; ed.: Emelyanov N. V. – Melbourne: ICSRD «Scientific View». – 2022. – С. 96–99.

39–А. Королева А. А., Дутина А. А. Эффекты цифровизации в создании добавленной стоимости транспортного сектора экономики // Междисциплинарные исследования науки и техники : сборник статей XVII Междунар. науч.-практ. конф., 20 дек. 2022 г., Саратов; редкол.: Емельянов Н. В. [и др.]. – Саратов: НОП «Цифровая наука», 2022. – С. 353–356.

40–А. Королева А. А., Дутин С. Р. Прогноз роста экспорта транспортных услуг ЕАЭС // Инновации и инвестиции как драйверы социального и экономического развития : сборник статей Междунар. науч.-практ. конф., Тюмень, 15 янв. 2023 г.; редкол.: Сукласян А. А. [и др.]. – Уфа: Аэтерна. – 2023. – С. 20–22.

41–А. Королева А. А., Дутин С. Р. Анализ экспорта транспортно-логистических услуг ЕАЭС и перспективы его роста // Концепции и модели устойчивого инновационного развития общества ОБЩЕСТВА : сборник статей Междунар. науч.-практ. конф., Оренбург, 25 янв. 2023 г.; редкол.: Сукласян А. А. [и др.]. – Уфа: Аэтерна. – 2023. – С. 93–95.

Тезисы докладов

42–А. Королева А. А. Расширенная функция Миттаг-Леффлера и распределение ее нулей // Математическое моделирование и дифференциальные уравнения : тезисы докладов первой междунар. конф., Минск, 2–5 окт. 2007 г.; редкол: В. И. Корзюк [и др.]. – Минск: БГУ, 2007. – С. 82–83.

43–А. Koroleva А. А. Integral transforms with extended Mittag-Leffler function // 7th ISAAC Congress : book of abstracts, London, July 13–19, 2009, Imperial College London.– London, 2009. – P. 50.

44–А. Королева А. А. Дробное исчисление расширенной обобщенной функции Миттаг-Леффлера // Аналитические методы анализа и дифференциальных уравнений : тезисы докладов междунар. науч. семинара AMADE, Минск, 10–14 сент. 2012 г. / ИМ НАН Б; редкол.: С. В. Рогозин [и др.]. – Минск, 2012. – С. 40.

45–А. Королева А. А., Дутина А. А. Прогнозирование экспорта транспортных услуг Республики Беларусь // Аналитические методы анализа и дифференциальных уравнений : тезисы докладов междунар. 8 междунар. науч. семинара AMADE, Минск, 14–19 сент. 2015 г.; редкол.: С. В. Рогозин [и др.]. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 2015. – С. 48.

РЭЗІЮМЭ

Каралёва Ганна Анатольеўна

Канцэптуальнае развіццё матэматычных метадаў і мадэляў аналізу і прагназавання сістэм транспартнай лагістыкі

Ключавыя словы: транспартная лагістыка; збалансаванае развіццё галіны; галіновы эканамічны рост; субмадулярнасць у эканоміцы; лічбавая транспартная лагістыка; адзіная транспартная прастора ЕАЭС.

Мэта даследавання: развіццё метадычнага інструментарыя аналізу сістэм і працэсаў транспартнай лагістыкі, распрацоўка эканоміка-матэматычных метадаў, мадэлей і пабудова прагнозаў развіцця сістэм і працэсаў транспартнай лагістыкі Рэспублікі Беларусь і краін ЕАЭС.

Метады даследавання: матэматычнае мадэляванне, метады аптымізацыі транспартных задач, тэорыя субмадулярнасці і дробава-дыферэнцыяльнага вылічэння, метады галіновага аналізу.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: дысертацыя канцэптуальна развівае актуальныя навуковыя напрамак «эканоміка-матэматычныя метады і мадэлі транспартнай лагістыкі», а створаны эканоміка-матэматычны інструментарый змяшчае наступныя новыя навуковыя вынікі: мадэлі сбалансаванага росту транспартнай галіны краіны; метадалагічны падыход на аснове паняцця «субмадулярнасць» да пабудовы складаных сеткавых задач транспартнай лагістыкі; сістэма мадэляў аналізу канкурэнтных пазіцый на сусветным рынку і прагназавання экспарту транспартных паслуг з новымі кансэнсус-метадамі агрэгаваных дазволенага прагнозаў; ідэйна новы падыход і мадэлі на яго аснове вымярэння эфектыўнасці лічбавай трансфармацыі транспартнай лагістыкі з выкарыстаннем дробавых вытворных, якія не патрабуюць доўгіх гістарычных шэрагаў дадзеных; гібрыдна-інструментальны метадаў аналізу бар'ераў і глыбінных прычын адставання ў развіцці транспартнай лагістыкі і генеравання інструментаў арганізацыйна-эканамічнага механізма інтэграцыі беларускай і міжнароднай транспартнай лагістыкі ў адзіную транспартную прастору ЕАЭС.

Ступень выкарыстання: матэматычны інструментарый, распрацаваны ў дысертацыі, можа ўжывацца і для іншых галін эканомікі, выяўлення іх збалансаванага развіцця, а мадэлі ацэнкі эфектыўнасці цыфравізацыі – для нацыянальнай эканомікі ў цэлым. Асобныя палажэнні дысертацыі былі ўкаранёныя ў практыку Міністэрства транспарту і камунікацый Рэспублікі Беларусь, Дзяржаўнага камітэта па навуцы і тэхналогіях Рэспублікі Беларусь, Еўразійскі Банк Развіцця, РТУП «Белінтэртранс – транспартна-лагістычны цэнтр», ААТ «Мінскі аўтамабільны завод», ТАА «Бел Фуд Сэрвіс», ТАА «Хэшрэйт», ТАА «Іванар Аўтаматыў», СТАА «Аўтанар».

Галіна ўжывання: транспартная палітыка Рэспублікі Беларусь і ЕАЭС, лагістычная дзейнасць кампаній, прагназаванне экспарту, ацэнка эфектаў цыфравізацыі, вучэбная і навуковая дзейнасць.

РЕЗЮМЕ

Королёва Анна Анатольевна

Концептуальное развитие математических методов и моделей анализа и прогнозирования систем транспортной логистики

Ключевые слова: транспортная логистика; сбалансированное развитие отрасли; отраслевой экономический рост; субмодулярность в экономике; цифровая транспортная логистика; единое транспортное пространства ЕАЭС.

Цель работы: развитие методического инструментария анализа систем и процессов транспортной логистики, разработка экономико-математических методов, моделей и построение прогнозов развития систем и процессов транспортной логистики Республики Беларусь и стран ЕАЭС.

Методы исследования: математическое моделирование, методы оптимизации транспортных задач, теория субмодулярности и дробно-дифференциального исчисления, методы отраслевого анализа.

Полученные результаты и их новизна: диссертация концептуально развивает актуальное научное направление «экономико-математические методы и модели транспортной логистики», а созданный экономико-математический инструментарий содержит следующие новые научные результаты: модели сбалансированного роста транспортной отрасли страны; методологический подход на основе понятия «субмодулярность» к построению сложных сетевых задач транспортной логистики; система моделей анализа конкурентных позиций на мировом рынке и прогнозирования экспорта транспортных услуг с новыми консенсус-методами агрегации разрешенных прогнозов; идейно новый подход и модели на его основе измерения эффективности цифровой трансформации транспортной логистики с использованием дробных производных, не требующих длинных исторических рядов данных; гибридно-инструментальный метод анализа барьеров и глубинных причин отставания в развитии транспортной логистики и генерирования инструментов организационно-экономического механизма интеграции белорусской и международной транспортной логистики в единое транспортное пространство ЕАЭС.

Степень использования: математический инструментарий, разработанный в диссертации, применим и для других отраслей экономики, выявления их сбалансированного развития, а модели оценки эффективности цифровизации – для национальной экономики в целом. Отдельные положения диссертации внедрены в практику Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, Евразийского Банка Развития, РТУП «Белинтертранс – транспортно-логистический центр», ОАО «Минский автомобильный завод», ООО «Креативная логистика», ООО «Бел Фуд Сервис», ООО «Хэшрейт», ООО «Иванар Автомотив», СООО «Автонар».

Область применения: транспортная политика Республики Беларусь и ЕАЭС, логистическая деятельность компаний, прогнозирование экспорта, оценка эффектов цифровизации, учебная и научная деятельность.

SUMMARY

Anna Anatolievna Koroleva

Conceptual development of mathematical methods and models for analysis and forecasting of transport logistics systems

Keywords: transport logistics; balanced development of the industry; industry economic growth; submodularity in the economy; digital transport logistics; common transport space of the EAEU.

Research objective: development of methodological tools for analysing transport logistics systems and processes, development of economic and mathematical methods, models and forecasts for the development of transport logistics systems and processes in the Republic of Belarus and the EAEU countries.

Research methods: mathematical modelling, methods of optimization of transport problems, theory of submodularity and fractional-differential calculus, methods of branch analysis.

Obtained results and their novelty: the thesis conceptually develops the actual scientific direction “economic-mathematical methods and models of transport logistics”, and the created economic-mathematical toolkit contains the following new scientific results: models of balanced growth of the transport industry of the country; methodological approach based on the concept of “submodularity” to the construction of complex network problems of transport logistics; a system of models for analysing competitive positions in the world market.

Recommendations for use: the mathematical tools developed in the thesis are applicable to other sectors of the economy, revealing their balanced development, and the models for assessing the effectiveness of digitalisation – for the national economy as a whole. Some provisions of the thesis have been implemented in the practice of the Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, the State Committee for Science and Technology of the Republic of Belarus, the Eurasian Development Bank, RTUP “Belintertrans – transport and logistics centre”, OJSC “Minsk Automobile Plant”, LLC “Creative Logistics”, LLC “Bel Food Service”, LLC “Hashreit”, LLC “Ivanar Automotive”, JLLC “Avtonar”.

Field of application: transport policy of the Republic of Belarus and EAEU, logistics activities of companies, export forecasting, assessment of digitalisation effects, educational and scientific activities.

