

Правительство Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

УДК 330.3; 341.655; 339.9; 519.2; 911.3:338.
Рег. № НИОКТР

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
СПбГУ

_____ С.В. Микушев
« » _____ 202 г.

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗРАБОТКА АДАПТАЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ ПОВЕДЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ
АГЕНТОВ В УСЛОВИЯХ АНТИРОССИЙСКИХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ САНКЦИЙ
(промежуточный)

Руководитель НИР,
профессор,
доктор экономических наук



С. А. Белозеров

Санкт-Петербург 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР, профессор,
д-р экон. наук

24.11.2025

подпись, дата

С.А. Белозёров
(введение, заключение,
раздел 1, п.п.1.1-1.2;
раздел 3, п.п.3-1-3.2, п.
3.4; раздел 4, п.4.3)

Исполнители:

Профессор, д-р физ.-мат. наук

24.11.2025

подпись, дата

А.Ю. Крылатов
(раздел 2, п.п.2.5-2.6;
Приложение В,
Приложение Г)

Доцент, канд. физ.-мат. наук

24.11.2025

подпись, дата

С.Ш. Кумачева
(раздел 2, п.п.2.1.-2.4;
Приложение Б)

Доцент, канд. геогр. наук

24.11.2025

подпись, дата

С.С. Лачининский
(раздел 3, п.п.3.3-3.4)

Доцент, канд. экон. наук

24.11.2025

подпись, дата

Е.В. Соколовская
(раздел 1, п.п.1.1-1.4;
раздел 3, п.п.3.2; раздел
4; Приложение А)

Доцент, канд. филол. наук

24.11.2025

подпись, дата

А.В. Городищев
(раздел 2, п.2.7)

Ассистент

24.11.2025

подпись, дата

Б.А. Аркадьев
(раздел 1, п.1.5; раздел 3,
п.3.1)

Нормоконтроль

подпись, дата

Место для ввода текста.

РЕФЕРАТ

Отчет 188 с., 1 кн., 39 рис., 15 табл., 127 источн., 4прил.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ САНКЦИИ, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АГЕНТЫ, ПОВЕДЕНИЕ, ОГРАНИЧЕННОСТЬ РЕСУРСОВ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, РЕСУРСОПОДОБНЫЙ РИСК, ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ, АДАПТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ

Цель работы: сформировать комплекс предложений и рекомендаций в сфере государственного регулирования, учитывающих модификацию стратегий целевых групп экономических агентов на внутреннем рынке в условиях санкций.

По итогам первого этапа реализации проекта исследована динамика внешнеторговых товарных операций России с отдельными странами и регионами мира; изучены особенности санкций, затрагивающих высокотехнологичные отрасли экономики; исследована сущность ресурсоподобного риска и особенности принятия инвестиционных решений экономическими агентами в условиях неопределенности и неполноты информации; рассмотрены различные типы задач оптимизации в условиях ограниченности ресурсов; изучено поведение отдельных групп экономических агентов: страховых компаний и государства как регулятора страхового рынка, с выявлением соответствующих адаптивных стратегий в условиях санкционных ограничений и неопределенности; застройщиков (девелоперов) на внутреннем рынке; проанализированы особенности уклонения от уплаты налогов различными типами экономических агентов как разновидности оппортунистического поведения, вызванного, в том числе, последствиями санкций.

Область применения результатов первого этапа исследования: фундаментальные исследования в сфере экономических и математических наук, экспертные заключения, деятельность институтов финансового рынка.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Раздел 1 Экономические санкции-2022 и оценка их влияния на отдельные сферы экономики	13
1.1 Экономические санкции-2022: общая характеристика	13
1.2 Анализ влияния санкций на внешнюю торговлю РФ	19
1.3 Особенности внешней торговли товарами России с отдельными экономическими субъектами: пример Республики Корея	28
1.4 Специфика антироссийских экономических санкций, применяемых к высокотехнологичным отраслям	34
1.5 Основные последствия санкций для сектора информационно-коммуникационных технологий в России	38
Выводы к разделу 1	40
Раздел 2 Математический инструментарий для решения задач оптимизации поведения экономических агентов в условиях неопределенности, неполноты информации и ограниченности ресурсов.....	43
2.1 Особенности управления ресурсо-подобным риском	43
2.1 Теоретико-игровая модель венчурного инвестирования	47
2.3 Эмпирическое исследование стратегии момента на российском рынке акций	58
2.4 Двухуровневая оптимизация в задачах управления стохастическими системами	68
2.5 Цена анархии в игре заполнения с ограничениями на поток	69
2.6 Достаточность в задаче оптимизации топологии сети	70
2.7 Адаптация алгоритмов машинного перевода к лингвоэтническим условиям восприятия текстов	73
Выводы к разделу 2	87
Раздел 3 Адаптационные стратегии поведения целевых групп экономических агентов в отдельных секторах экономики	91
3.1 Демографические трансформации как фактор развития страховых рынков стран БРИКС	92
3.2 Страхование как инструмент управления киберриска в современных условиях	102
3.3 Геоинформационный анализ жилищного строительства в период антироссийских санкций для крупной городской агломерации на основе данных ЕИСЖС ДОМ.РФ	108
3.4 Адаптация пространственных стратегий крупнейших застройщиков жилой недвижимости Санкт-Петербурга к антироссийским санкциям	119
Выводы к разделу 3	141
Раздел 4 Оппортунистическое поведение экономических агентов: уклонение от уплаты налогов в современных условиях	143
4.1 Налоговые льготы и риски экономической безопасности	143
4.2 Противодействие уклонению от уплаты НДС в международной торговле	146
4.3 Особенности противодействия уклонению от уплаты налогов физическими лицами	158
Выводы к разделу 4	170
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	172
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	177
ПРИЛОЖЕНИЯ	187

ВВЕДЕНИЕ

Ряд новых экономических санкций был введен в начале 2022 г. США, Европейским союзом, Великобританией, Японией и другими странами против России. Особенностями второй волны санкций стали чрезвычайно короткий период их установления, быстрый рост количества санкционных объектов, негативное влияние введенных санкций на национальную экономику США, Европейского союза, Великобритании и других стран-инициаторов.

Комплексный характер новых санкций обуславливает необходимость их всестороннего исследования и разработки рекомендаций, включающих оптимизацию взаимодействия экономических агентов на внутреннем рынке в условиях ограниченных ресурсов.

Взаимодействие экономических агентов, использующих одинаковые ресурсы и/или конкурирующих за потребителей со сходными предпочтениями, на внутреннем рынке связано с доступом, распределением и использованием двух ключевых типов ресурсов: финансовых ресурсов и технологий.

Оптимизация стратегий экономических агентов на внутреннем рынке в рамках горизонтального взаимодействия предполагается на основе исследования двух стандартных ключевых стратегий в условиях ограниченных ресурсов: 1) стратегии кооперации и формирования оптимальных взаимных стратегий; 2) стратегии конкуренции и формирования оптимальных индивидуальных стратегий.

В условиях неполноты информации и переменных экзогенных параметров поиск решений целесообразно осуществлять с применением инструментария теории игр для случаев конкуренции и кооперации, а также теории принятия решений, позволяющей вырабатывать стратегию в зависимости от возможных сценариев внешней среды. Задача поиска оптимальных стратегий развития внутреннего рынка может быть formalизована (или частично formalизована) в математические задачи оптимизации. Это, в свою очередь, включает использование элементов междисциплинарного подхода в части применения математического инструментария к оценке экономических рисков, связанных с возникшей политической и экономической ситуацией, и созданию математических моделей выбора стратегии в заданных условиях.

Научная значимость решения проблемы заключается в необходимости разработки подходов к формированию стратегий, в том числе, с элементами прикладной направленности, поведения экономических агентов на внутреннем рынке России в условиях ограниченности ресурсов, обусловленной внешними угрозами.

Научная новизна теоретической части исследования заключается в приросте междисциплинарных знаний по таким направлениям как 1) влияние санкций на экономику страны-мишени; 2) применение математического инструментария для формирования оптимальных стратегий поведения экономических агентов страны-мишени; 3) стратегии преодоления негативных последствий санкционных мер в стране-мишени – с учетом беспрецедентных особенностей антироссийских санкций 2022 года.

Научная новизна прикладной части исследования заключается в 1) апробации моделей, описывающих стратегии горизонтального взаимодействия экономических агентов в условиях ограниченности ресурсов и важности доступа к технологиям как децентрализованному ресурсу; 2) разработке стратегий поведения экономических агентов в условиях внешних угроз; 3) обосновании предложений и рекомендаций в сфере государственного регулирования, учитывающих модификацию стратегий целевых групп экономических агентов, для которых интенсификация горизонтального взаимодействия позволит смягчить негативное воздействие санкций в условиях ограниченности ресурсов и возможности использования децентрализованного ресурса (технологий).

Необходимость достижения указанных результатов определила целесообразность постановки и решения на первом этапе исследований следующих основных задач:

выявление основных последствий антироссийских санкций для внешней торговли России и отдельных секторов внутреннего рынка;

изучение совокупности свойств известных и новых компромиссных решений в теоретико-игровых моделях и задачах теории принятия решений, адаптируемых к условиям введенных против России санкций;

анализ стратегий поведения экономических агентов в условиях санкционного давления, неопределенности и ограниченности ресурсов.

Результаты исследования динамики основных индикаторов внешней торговли товарами России с отдельными странами и регионами мира, предполагается использовать в дальнейшем для определения интенсификации направлений международного торгового сотрудничества в условиях санкционных ограничений, с акцентом на кооперацию в сфере высокотехнологичных товаров и решений.

Исследованные на данном этапе реализации проекта свойства компромиссных решений в условиях неопределенности, неполноты информации, ограниченности ресурсов, а также различные типы задач оптимизации, позволяют сформировать на следующих этапах исследования комплекс теоретико-игровых моделей, описывающих взаимодействие целевых групп экономических агентов в условиях санкционных ограничений.

Результаты анализа стратегий поведения отдельных целевых групп экономических агентов, в том числе, оппортунистического, будут использованы на следующих этапах реализации проекта для определения стратегий кооперации и конкуренции экономических агентов в условиях ограниченности ресурсов.

Также на первом этапе проекта сформирован задел для уточнения результатов современных исследований применения математического инструментария для формирования стратегий поведения экономических агентов страны-объекта санкций.

По результатам исследований первого этапа проекта участниками авторского коллектива подготовлены и представлены доклады на международных научно-практических конференциях и конгрессах, в том числе:

IX Международный экономический симпозиум – 2025 (апрель 2025 г.);

Международный Евразийский конгресс экономико-географов (географов-обществоведов) (июнь 2025 г.);

XXIV международная конференция Mathematical Optimization Theory and Operations Research, MOTOR 2025 (июль 2025 г.);

XVIII международная конференция Game Theory and Management, GTM 2025 (июль 2025 г.);

XVII Международный налоговый симпозиум «Теория и практика налоговых реформ» (июль 2025 г.);

Международная научно-практическая конференция «Региональные проблемы развития Дальнего Востока и Арктики» (декабрь 2025 г.).

Отдельным направлением практического внедрения результатов исследований по проекту является их использование участниками авторского коллектива в учебном процессе в Санкт-Петербургском государственном университете.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Демографическая нагрузка – соотношение численности нетрудоспособного населения (дети и пенсионеры) к численности трудоспособного населения.

Демографический переход – это процесс перехода от высоких уровней рождаемости и смертности к низким, сопровождающийся старением населения и изменением возрастной структуры общества.

Искусственный интеллект – система технологий обработки текстов и речи, способная распознавать контекст, эмоции и семантику естественного языка. ИИ использует математические методы, принципиально отличающиеся от человеческого подхода к пониманию информации.

Киберинциденты – события в цифровом пространстве, связанные с нарушениями информационной безопасности, такие как атаки на сетевую инфраструктуру организаций, приводящие к утечке данных или нарушению функционирования систем.

Культурный контекст – совокупность культурных, исторических, социальных и этнических норм, традиций и кодов, определяющих восприятие и интерпретацию текстов конкретной аудиторией в конкретный период времени.

Лемматизация – процесс приведения языковой единицы (слова) к её начальной форме (лемме) для унификации и упрощения анализа текстов.

Машинный перевод – технология автоматизированного преобразования текста с одного языка на другой с использованием алгоритмов и нейронных сетей. Включает методы на основе правил (RBMT), статистического перевода (SMT) и нейронных сетей.

Механизм внимания (Attention Mechanism) – ключевой компонент архитектуры трансформеров, позволяющий модели определять, на какие части входной последовательности следует сосредоточиться при генерации каждого элемента выходной последовательности. Механизм оценивает влияние каждого слова независимо от его расположения в предложении.

Налоговые льготы – исключения из общих правил налогового законодательства, применяющиеся к отдельным категориям налогоплательщиков

Оппортунистическое поведение – поведение субъекта, который уклоняется от выполнения условий соглашения с целью увеличить собственный выигрыш за счет контрагентов.

Поведение экономического агента – действия экономического агента, связанные с созданием, использованием и обменом экономических благ для достижения своих целей.

Регуляторные «песочницы» – специальные правовые режимы, позволяющие тестируировать инновационные бизнес-модели, продукты и услуги в ограниченном пространстве под контролем регулятора.

Рисковый ландшафт – совокупность угроз и уязвимостей в определенной сфере (например, кибербезопасности), формирующая среду для потенциальных убытков.

Семантический анализ – метод обработки текстов, направленный на выявление смысловых связей и значений языковых единиц. Помимо буквального смысла, включает анализ культурного и эмоционального контекста.

Синтаксический анализ – метод определения грамматической структуры предложения, включая выявление частей речи, связей между словами и синтаксических конструкций.

Синхронный перевод – вид устного перевода, при котором переводчик осуществляет перевод в реальном времени одновременно с произнесением исходного текста, требующий глубокого контекстуального понимания и учёта интонации.

Стохастическое управление – раздел математической теории оптимального управления для динамических систем со случайными возмущениями, описываемыми стохастическими дифференциальными уравнениями, для максимизации ожидаемой полезности в условиях неопределенности.

Страхование – отношения по защите интересов физических и юридических лиц при наступлении определенных страховых случаев за счет денежных фондов, формируемых страховщиками из уплаченных страховых премий (страховых взносов), а также за счет иных средств страховщиков.

Страховой рынок – система экономических отношений, возникающих при купле-продаже специфического товара страховое покрытие в процессе удовлетворения общественных потребностей в страховой защите.

Технологическая блокада – комплекс ограничительных мер, включающий запрет на поставки высокотехнологичного оборудования (микрочипов, серверных компонентов) и блокировку доступа к лицензионному программному обеспечению.

Токенизация – процесс разделения текста на отдельные элементы (токены) – слова, фразы или символы – для дальнейшей обработки алгоритмами искусственного интеллекта.

Цифровая трансформация – процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты деятельности экономики и общества, направленный на повышение эффективности и создание новых возможностей.

Экономические санкции – преднамеренный отказ, инициированный правительством, или угроза отказа от обычных торговых или финансовых отношений.

Экономический агент – любое физическое лицо, юридическое лицо, домашнее хозяйство, правительство либо учреждение, которое принимает решения в экономике, тем самым влияя на экономическую деятельность за счет выбора в отношении производства, потребления и распределения ресурсов.

Этический контекст перевода – совокупность моральных, деонтологических и поведенческих норм, которые должны соблюдаться при переводе для обеспечения достоинства, деликатности и уважительного отношения к адресату в соответствии с принципами конкретной культуры.

Эффект момента – ценовая аномалия на финансовых рынках, при которой активы с высокой доходностью в прошлом продолжают расти, а с низкой – падать в последующем ближайшем периоде.

Большие данные (Big Data) – разнообразные данные, которые поступают с постоянно растущей скоростью и объем которых постоянно растет.

Большие данные (Big Data) как технология – сквозная технология, которая предназначена обрабатывать параллельно структурированные и слабо структурированные данные, поступающие с высокой скоростью и в больших объемах.

CVaR – Conditional Value-at-Risk (также известный как ожидаемый shortfall) – количественная мера финансового риска, измеряющая среднюю ожидаемую потерю портфеля при превышении уровня Value-at-Risk (VaR) на заданном уровне доверия, фокусируясь на рисках в хвосте распределения.

DBSCAN – алгоритм кластеризации, основанный на плотности, который группирует точки данных, находящиеся в областях с высокой плотностью, и помечает точки в разреженных областях как шум (выбросы).

HTML (HyperText Markup Language) – язык разметки, который используется для структурирования контента на веб-страницах.

Open Street Map (OSM) – проект по совместному созданию и свободному распространению детальных карт всего мира.

VaR – Value-at-risk – количественная мера финансового риска, представляющая собой максимальный ожидаемый убыток по позиции или портфелю при нормальных рыночных условиях за заданный временной горизонт и с заданным уровнем доверия.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

БРИКС – межгосударственное объединение следующих стран: России, Бразилии, Индии, Китая, Южно-Африканской Республики

ВВП – валовой внутренний продукт

ГИС.ЖКХ – государственная информационная система жилищного строительства

ЕИСЖС ДОМ.РФ – Единая информационная система жилищного строительства (ЕИСЖС) АО «ДОМ.РФ»

ИИ – искусственный интеллект

ИКТ – информационно-коммуникационные технологии

ИТ – информационные технологии

ЛПР – лицо, принимающее решение

МВФ – Международный валютный фонд

НДС – налог на добавленную стоимость

ОЕЯ – обработка естественных языков

ООН – Организация объединенных наций

ОПЖ – ожидаемая продолжительность жизни

ОС – операционная система

ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития

ПО – программное обеспечение

СКР – суммарный коэффициент рождаемости

ТНК – транснациональная корпорация (компания)

BERT – Bidirectional Encoder Representations from Transformers

BLEU – Bilingual Evaluation Understudy – метрика оценки качества перевода

BNE – Bayes Nash Equilibrium – равновесие Байеса-Нэша – концепция, используемая в теории игр и классе теоретико-игровых моделей.

DIKIW – Data, Information, Knowledge, Intelligence, Wisdom

GPT – Generative Pretrained Transformer

KITA – Korea International Trade Association – Внешнеторговая ассоциация Республики Корея

LDCs (Least Developed Countries) – наименее развитые страны (классификация ООН)

LLM – Large Language Models – большие языковые модели

NLP – Natural Language Processing – обработка естественных языков

OFAC – Office of Foreign Assets Control – Управление по контролю за иностранными активами Министерства финансов США

PPMI – Positive Pointwise Mutual Information – коэффициент положительной попарной взаимной информации

RBMT – Rule-Based Machine Translation – перевод по правилам

SAP – Systems, Applications & Products – компания-разработчик корпоративного ПО

SMT – Statistical Machine Translation – статистический машинный перевод

SWIFT – Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications – международная система межбанковских расчетов

UMD – Up Minus Down – фактор момента, используемый в финансовой эконометрике для объяснения доходности активов. Отражает разницу между доходностями акций с высокой доходностью за предыдущий период ("Up") и низкой доходностью ("Down")

UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development – Конференция ООН по торговле и развитию

Раздел 1 Экономические санкции-2022 и оценка их влияния на отдельные сферы экономики

Ряд новых экономических санкций был введен в начале 2022 г. США, Европейским союзом, Великобританией, Японией и другими странами против России. Значительное количество транснациональных компаний заявили об уходе с российского рынка. В целом, причины прекращения их деятельности можно разделить на несколько групп: влияние официальных санкций; прерывание логистических цепочек в рамках внутреннего рынка; общественное давление; индивидуальная позиция собственников компаний. Особенностями совокупности экономических санкций, введенных против РФ после 24 февраля 2022 г., стали чрезвычайно короткий период их установления, фактически ежедневный рост количества санкционных объектов, негативное влияние введенных санкций на национальную экономику США, Европейского союза, Великобритании и других стран-инициаторов.

Эти особенности новой волны санкций обусловливают необходимость их всестороннего исследования и разработки рекомендаций, включающих оптимизацию международного сотрудничества России в условиях переориентации внешнеторговых потоков.

Исходя из вышесказанного, для решения задачи проекта, связанной с выявлением основных последствий антироссийских санкций для внешней торговли России и отдельных секторов внутреннего рынка, авторами проведен анализ динамики внешнеторговых товарных операций России с регионами мира (Европа, Африка, Восточная Азия) и странами БРИКС, в разрезе двух основных товарных групп: сырьевые и промышленные товары. Особое внимание уделено изменениям 2022 года, как ключевому индикатору, позволяющему определить направления переориентации внешнеторговых потоков вследствие введения государствами Европы, США и некоторыми другими странами мира экономических санкций-2022 против России. Рассмотрение в проекте высокотехнологичных товаров и технологических решений, как дополнительного децентрализованного ресурса для экономических агентов на внутреннем рынке, обусловило отдельное исследование особенностей санкций, имеющих отношение к высокотехнологичным отраслям экономики.

1.1 Экономические санкции-2022: общая характеристика

Экономические санкции определяются как преднамеренный отказ, инициированный правительством, или угроза отказа от обычных торговых или финансовых отношений [1].

Политика санкций «недружественных»¹ стран в отношении России, подразумевает совокупность финансовых, торгово-экономических, визовых и иных ограничений, накладываемых на отдельные отрасли и сектора национальной экономики, против отдельных лиц и компаний в России, а также их партнеров и контрагентов за рубежом.

Ключевые отрасли реального сектора российской экономики, на которые направлены экономические санкции – это добывающая и нефтегазовая промышленность, металлургическая отрасль, продукция которых, в свою очередь, в значительной мере ориентирована на внешнюю торговлю. Применительно к внешнеторговым операциям санкции включают запрет на экспорт в Россию высокотехнологичной продукции, в том числе чипов и материалов для их производства; предметов роскоши; товаров и услуг, связанных с нефтепереработкой; ограничение экспорта товаров двойного назначения. Основные санкции, имеющие отношение к российскому экспорту, связаны с ограничениями импорта энергоносителей в страны ЕС и США [2].

Одной из базовых целей антироссийских экономических санкций-2022 стало нарушение ключевых экспортных потоков товаров и технологий. На первых этапах ЕС, США, Великобритания запретили продажу или аренду самолётов российским компаниям. Был запрещён весь экспорт оружия, продукции двойного назначения, оборудования, используемого для бурения нефтяных и газовых скважин, производства и распределения СПГ, а также машиностроения в энергетическом секторе и других областях. Впоследствии, с июня 2022 года, ЕС последовательно запретил услуги бухгалтерского учёта, аудита, услуги ИТ-консалтинга, юридические консультации, услуги по рекламе, маркетинговым исследованиям, опросам общественного мнения, испытаниям продукции и техническому осмотру. Подробнее хронология основных санкционных ограничений ЕС против России представлена в Приложении А.

Кроме того, запрещены любые работы по ремонту и обслуживанию ранее приобретенных машин и оборудования, включая гарантийный ремонт. Практически каждый последующий пакет санкций включал главу с перечнем дополнительных запрещенных товаров. Самый обширный список был в 10-м пакете, охватывающем товары около 200 таможенных кодов, с общей стоимостью импорта в 2021 году около 11,4 млрд евро, что составило треть от стоимости товаров, подпадающих под санкции во всех предыдущих раундах. При этом, прекращение поставок некоторых категорий товаров стало результатом самоограничений, введенных некоторыми западными производителями.

¹ Здесь и далее «недружественные» государства – иностранные государства и территории, совершающие в отношении Российской Федерации, российских юридических лиц и физических лиц недружественные действия

Анализ существующих исследований по антироссийским экономическим санкциям-2022 позволил определить следующие основные группы секторов и соответствующих санкций.

I. Финансовый сектор:

- ✓ санкции в отношении центрального банка РФ, затрагивающие, в том числе, и обслуживание государственного долга;
- ✓ отключение десяти российских банков от глобальной сети обмена финансовыми сообщениями SWIFT;
- ✓ запрет большинству международных рейтинговых агентств присваивать финансово-экономические рейтинги России и российским компаниям;
- ✓ ограничение доступа страны к ресурсам МВФ и Всемирного банка;

в том числе, страхование:

санкции стран ЕС при страховании и перестраховании транспортных средств (прежде всего, авиационных), а также товаров оборонного назначения (одновременно с запретом на их экспорт);

санкции Великобритании, связанные с ограничением предоставления услуг страхования и перестрахования для российских компаний авиационной и космической отрасли [3].

II. Международная торговля:

- ✓ отмена режима наибольшего благоприятствования (Most Favoured Nation regime, MFN);
- ✓ запрет на экспорт в Россию высокотехнологичной продукции, в том числе чипов и материалов для их производства;
- ✓ ограничения на экспорт товаров двойного назначения в Россию;
- ✓ запрет на экспорт в Россию предметов роскоши;
- ✓ запрет на импорт российского золота.

III. Энергетический сектор:

- ✓ запрет импорта в страны ЕС российского угля, нефтепродуктов, импорта нефти морским транспортом, а также товаров и услуг, связанных с нефтепереработкой;
- ✓ полный запрет импорта российского ископаемого топлива в США;
- ✓ установление странами G7 «потолка цен» на сырую нефть и нефтепродукты;
- ✓ приостановка Германией сертификации газопровода «Северный поток-2».

IV. Транспортный сектор и туризм:

- ✓ запрет странами Западной Европы полетов российских самолетов в своем воздушном пространстве;

- ✓ прекращение перевозки и перевалки российских грузов европейскими контейнерными компаниями и портами;
- ✓ ограничение выдачи виз и «золотых паспортов»² гражданам РФ со стороны государств ЕС.

V. Адресные санкции против физических лиц и компаний:

- ✓ замораживание активов и инвестиций;
- ✓ запрет на поездки для физических лиц;
- ✓ запрет вещания государственных телевизионных каналов RT и Sputnik.

VI. Культура и спорт:

- ✓ запрет на участие и проведение культурных и спортивных мероприятий, в том числе, мероприятий ФИФА/УЕФА, Уимблдонского турнира, Евровидения.

Более подробно экономические санкции-2022 против России в разрезе стран-инициаторов представлены в таблице 1.

² Механизм получения гражданства инвестора («золотого паспорта») позволяет физическому лицу получить гражданство страны как результат инвестиций в экономику данной страны при отсутствии реальной связи со страной натурализации.

Таблица 1 – Антироссийские экономические санкции-2022 в разрезе отдельных ограничений и стран-инициаторов

	Австралия	Канада	ЕС+	Япония	Швейцария	Великобритания	США
Ограничения на импорт нефти из РФ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ограничения на импорт газа из РФ	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ограничения на импорт угля из РФ			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ограничения на импорт металлов из РФ			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Ограничения на экспорт металлов в РФ	<input type="checkbox"/>						
Ограничения на экспорт товаров роскоши в РФ	<input type="checkbox"/>						
Ограничения на импорт товаров роскоши из РФ		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ограничения на экспорт технологий в РФ		<input type="checkbox"/>					
Ограничения на вещание российских государственных СМИ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ограничения на экспорт профессиональных услуг, оказываемых в РФ		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ограничение доступа РФ к финансированию проектов из средств МВФ и Всемирного банка		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Отзыв режима наибольшего благоприятствования (MFN) в торговле	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ограничение государственного долга	<input type="checkbox"/>						
Ограничения на открытие и ведение корреспондентских банковских счетов						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ограничение доступа российских банков к SWIFT	<input type="checkbox"/>						

Источник: составлено авторами по данным Statista, European Commission, OFAC

Примечания:

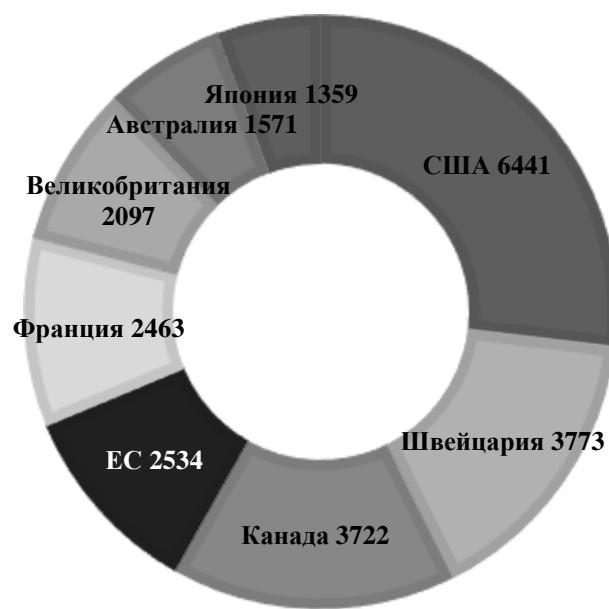
*ЕС+ – включает все страны ЕС, а также Албанию, Боснию и Герцеговину, Исландию, Косово, Лихтенштейн, Монако, Норвегию, Северную Македонию, Украину, Черногорию, присоединившихся полностью или частично к санctionям стран ЕС.

**Новая Зеландия закрыла воздушное пространство только для правительственные и военных самолетов из РФ.

Как видно из таблицы 1, адресные санкции против физических лиц и торговые ограничения являются наиболее распространенными видами новых экономических санкций-2022. Основные причины заключаются, во-первых, в простоте их введения – исторически торговый бойкот является самой ранней разновидностью экономических санкций, во-вторых, в соблюдении принципа целевой направленности санкций – их введение против лиц, непосредственно ответственных за внутреннюю и внешнюю политику страны-мишени [4].

Далее представлено общее количество санкций, введенных с 2022 года, ключевыми странами-инициаторами. ЕС представлен без Франции, Франция выделена отдельно, как страна ЕС, не присоединившаяся к максимально большому числу наднациональных санкций Европейского Союза.

При этом, санкции США и Великобритании разрабатываются в тесном сотрудничестве с европейскими странами; списки подсанкционных товаров, услуг, предприятий и компаний отличаются незначительно.

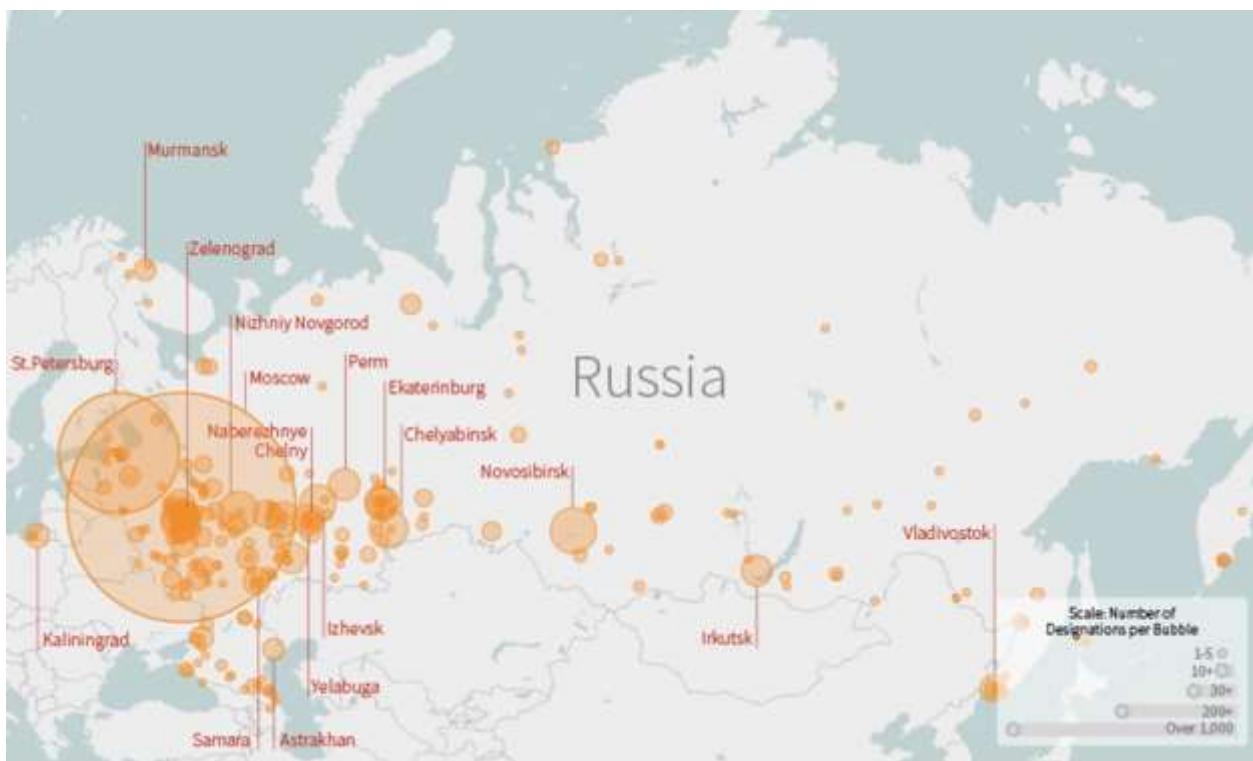


Источник: составлено автором по данным European Institute for Export Compliance

Рисунок 1 – Количество антироссийских санкций (2022-2025), ед.

Что касается США, то одним из ключевых документов, которыми регламентируются санкции, является Указ 14024 (E.O. 14024), в соответствии с которым могут быть введены санкции в отношении лиц и организаций РФ.

На рисунке 2 представлена инфографика по регионам и городам РФ, по санкциям против компаний РФ, которые введены/вводятся в соответствии с этим Указом.



Источник: составлено авторами по данным OFAC

Рисунок 2 – Российские компании, подпадающие под Указ OFAC 14024

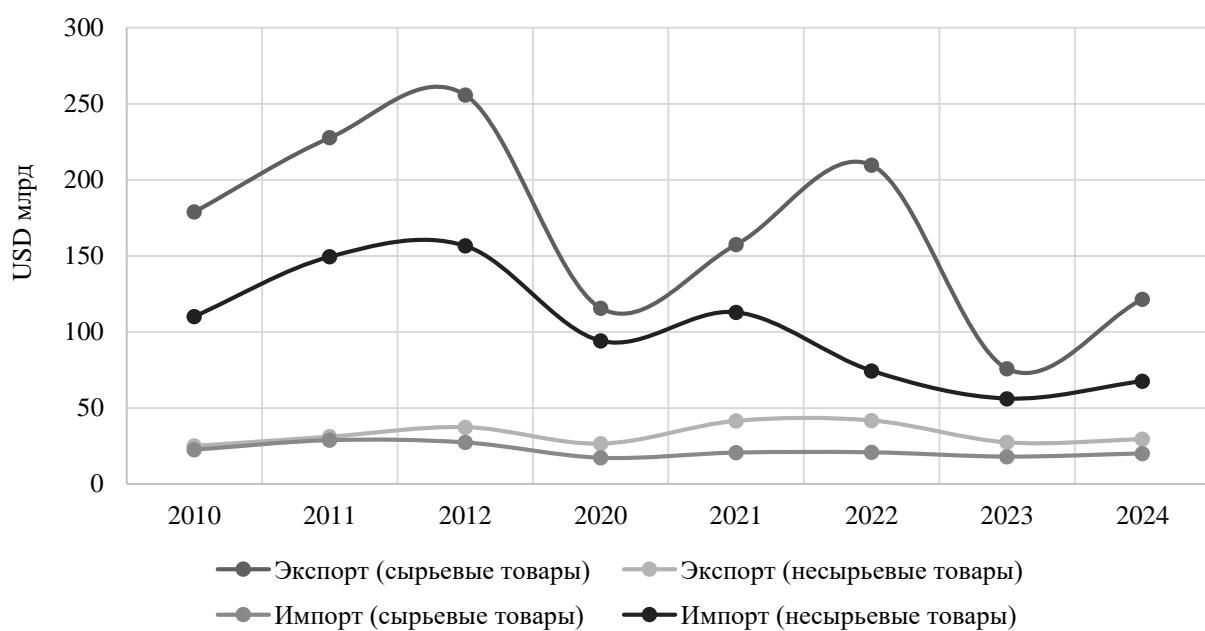
Указ издан Управлением по контролю за иностранными активами (OFAC) Министерства финансов США, которое занимается вопросами финансовой разведки, планированием и применением экономических санкций в целях поддержки американской национальной безопасности и внешней политики. Соответственно, именно это Управление и реализует этот указ, занимается мониторингом.

1.2 Анализ влияния санкций на внешнюю торговлю РФ

В данной части исследования представлен анализ основных изменений внешней торговли товарами России с регионами мира (Европа, Африка, Восточная Азия) и странами БРИКС. Методология исследования включает сравнительный и графический анализ, логическое обобщение результатов. Проанализированы показатели экспорта и импорта товаров за 2010-2024 гг. (последние доступные данные) в разрезе двух основных товарных групп: сырьевые и промышленные товары.

Отдельным фактором, негативно влияющим на объемы внешней торговли, является отмена странами G7 для России режима наибольшего благоприятствования (most favoured nation, MFN), что на практике трансформируется в рост ставок импортных таможенных пошлин и/или введение импортных квот при ввозе товаров на рынки соответствующих стран [5].

Россия является одним из ключевых поставщиков продовольственного сырья, энергоносителей, удобрений, а также полноценным участником цепочек создания стоимости промышленных товаров. Топливо (fuels) традиционно составляет свыше половины российского экспорта в страны Европы: в течение анализируемого периода удельный вес этого показателя колебался с 76,2% в 2012 г. до 44,7% в 2020 и 2022 гг.; в среднем за исследуемый период его значение составило 63%. Изменения в выручке от экспорта, главным образом, были обусловлены колебанием цен на топливо, скорее чем изменением объемов экспорта. Экспорт топлива в период 2010-2021 составил в среднем около 75% всего российского экспорта сырьевых товаров в Европу (рисунок 3). За 2022-2024 гг. его доля составила в среднем 64%.



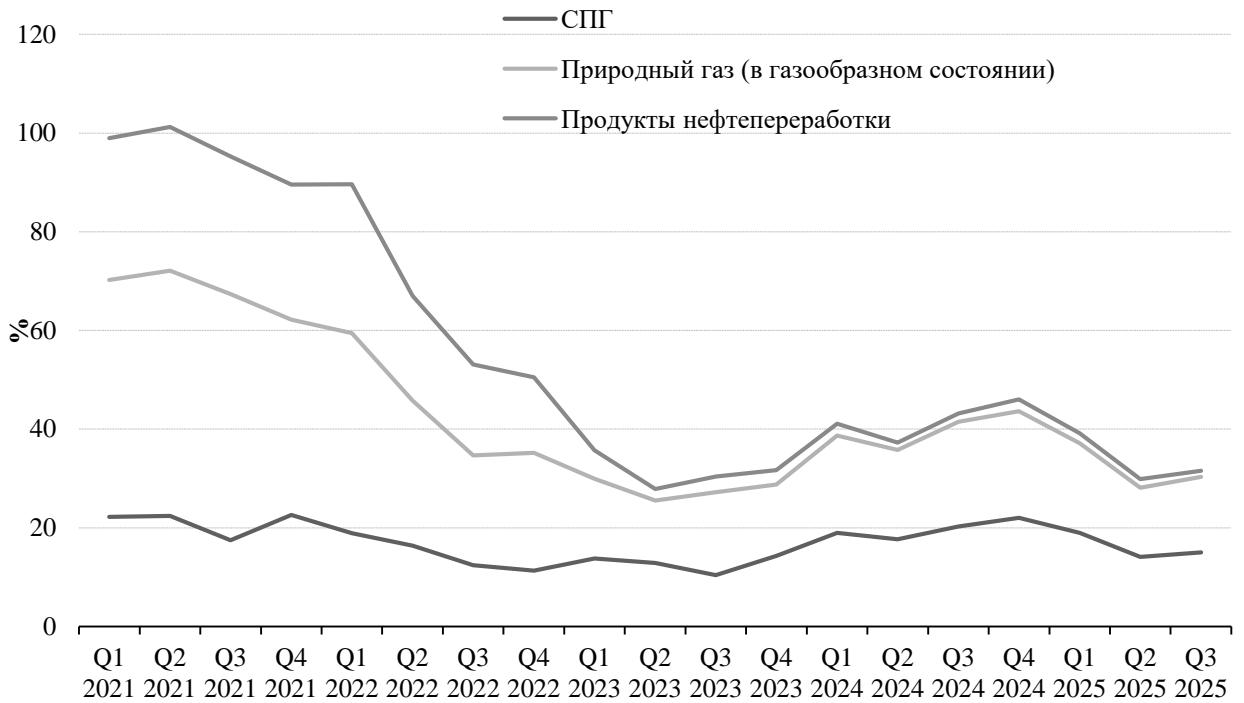
Примечание: Здесь и далее результаты графического анализа представлены в стоимостном выражении в разрезе экспорта и импорта товаров России и стран соответствующего региона, и двух укрупненных товарных групп: сырьевые товары, включая драгоценные камни и немонетарное золото (primary commodities, precious stones and non-monetary gold) и промышленные товары (товары с добавленной стоимостью, не являющиеся сырьевыми, manufactured goods) [6].

Источник: составлено автором по данным UNCTAD

Рисунок 3 – Внешняя торговля товарами России и стран ЕС, 2010-2024 гг.

Рассмотрим более подробно динамику импорта топлива из РФ в страны ЕС в современных условиях.

На рисунке 4 представлены данные о динамике доли российского импорта энергоносителей в страны ЕС в общем объеме европейского импорта энергоносителей соответствующей товарной группы

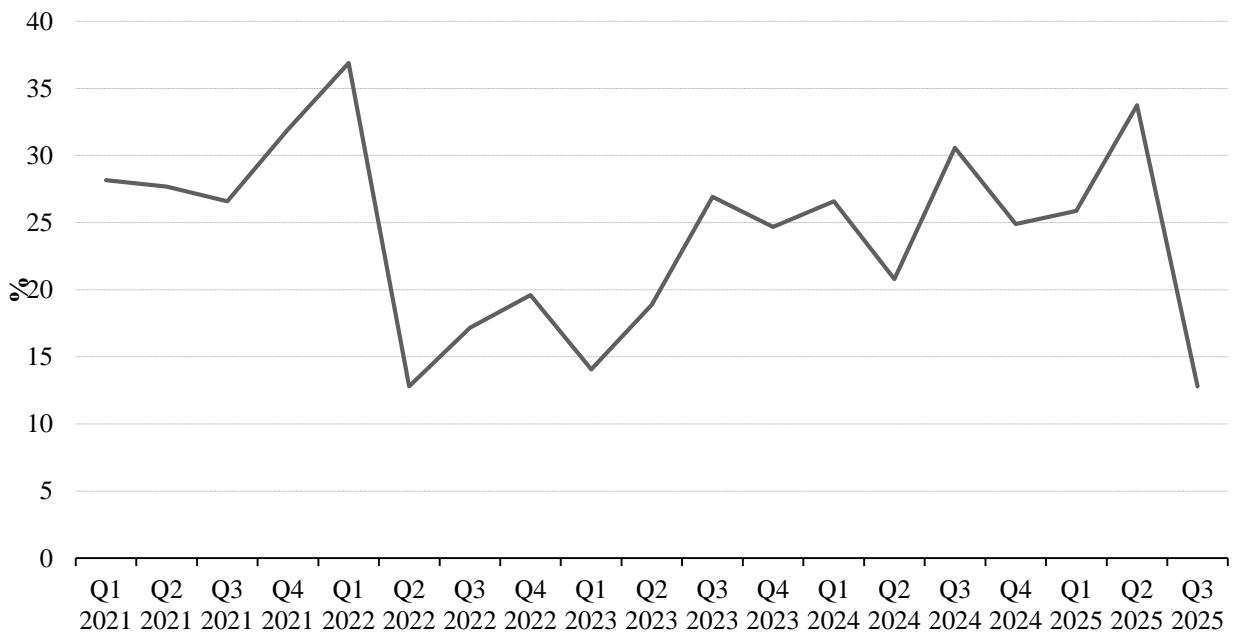


Источник: составлено автором по данным Eurostat

Рисунок 54 – Доля России в общем объеме импорта энергоносителей стран ЕС, Q1 2021-Q3-2025

Как можно увидеть на рисунке 4, доля российского импорта энергоносителей значительно сократилась для рассматриваемых товарных групп. Наибольшее сокращение продемонстрировали продукты нефтепереработки: с 28,7% в первом квартале 2021 до 1,5% в третьем квартале 2025 года. Доля импортируемого природного газа (в газообразном состоянии) сократилась за рассматриваемый период в три раза: на начало 2021 года этот показатель составил 48%, тогда как на третий квартал 2025 года – 15,3%. В целом, именно на импорт российского природного газа в газообразном состоянии приходилась максимальная доля импорта ЕС по этой товарной группе. Наименьшее сокращение российского импорта среди рассматриваемых типов энергоносителей отмечалось для сжиженного природного газа (СПГ): на протяжении 2021-3 квартала 2025 гг., его доля сократилась с 22,2% до 15% в общем объеме европейского импорта СПГ.

Отдельно следует рассмотреть динамику импорта российских удобрений, который традиционно являются стратегически значимым товаром для стран ЕС. На рисунке 5 представлены данные о динамике доли российского импорта удобрений в страны ЕС в общем объеме европейского импорта удобрений.



Источник: составлено автором по данным Eurostat

Рисунок 5 – Доля России в общем объеме импорта удобрений стран ЕС, Q1 2021-Q3-2025

На рисунке 5 можно отметить два резких сокращения: сокращение по итогам 2 квартала 2022 года (более чем на треть, в сравнении с первым кварталом 2022 года) обусловлено положениями пятого пакета санкций ЕС от 08.04.2022 года, который вводит секторальные санкции, в том числе, связанные с запретом импорта минеральных удобрений [7]. Резкое сокращение показателя во второй половине 2025 года обусловлено повышением импортных пошлин на удобрения и сельскохозяйственную продукцию из России и Республики Беларусь. Начиная с июля 2025 года предполагается поэтапное повышение импортных тарифов на удобрения: к действующему адвалорному компоненту пошлин в размере 6,5% будет добавлен специфический в виде фиксированной минимальной суммы. С этого времени специфический компонент составляет €40 за тонну для азотных удобрений и €45 за тонну для смешанных, содержащих азот. С июля 2028 года этот показатель достигнет €315 для азотных удобрений и €430 за тонну сложных.

После 2022 года в структуре товарного экспорта России в страны Европы существенно изменилось соотношение сырьевых и промышленных товаров – 84,8% и 15,2% соответственно. Показатели 2022 г. приблизились к показателям 2013 г., когда это соотношение составило 87% и 13%, и, вплоть до 2022 г. отмечался рост удельного веса товаров с добавленной стоимостью в страны Европы. Основную долю российского экспорта промышленных товаров в Европу в течение 2010-2021 гг. (в среднем около 40%)

составляли чугун и сталь. В 2022-2024 гг. этот показатель сократился до 25%. Начиная с 2012 года постепенно увеличивалась доля машин и транспортного оборудования, экспортируемого в страны Европы: в среднем, за анализируемый период, это значение составило 2,5% всего товарного экспорта (тогда как для чугуна и стали – 4,1%).

Для импорта товаров из стран Европы в Россию соотношение сырьевых и промышленных товаров противоположно экспортному товарному потоку: в течение 2010-2024 гг. это соотношение в среднем составило 17% и 83% соответственно. При этом, начиная с 2022 года, удельный вес сырьевых товаров существенно превышает среднее значение за период: 22% – в 2002 году, 24% – в 2023 году, 23% – в 2024 году. При этом, удельных весов промышленных товаров сократился по большинству ключевых товарных групп (машины и транспортное оборудование, электронная аппаратура, комплектующие к электронной аппаратуре). Удельный вес импортируемой из стран Европы в Россию продукции химической промышленности, в течение 2022 г. вырос, в сравнении с предыдущим годом: с 24,8% до 31% соответственно. Восьмой пакет санкций ЕС (октябрь 2022 года) касается запрета на экспорт и импорт продукции химической промышленности [8]. По итогам 2023 года отмечалось сокращение стоимости импорта продукции химической промышленности в общем объеме российского импорта из стран ЕС на 19%, тогда как доля этой товарной группы выросла на 2,6%. Это объясняется сокращением импорта других товарных групп в 2023 году.

В 2021 г. для стран ЕС импорт российских энергоресурсов составил 45% импорта газа, 25% импорта нефти, 45% импорта угля. Германия была основным импортером этих видов топлива по объему и стоимости; при этом, ее зависимость от импорта российских энергоносителей была меньше, чем у ряда стран ЕС. Так, по состоянию на 2019 г., около 50% газа в Германию было ввезено из России, тогда как для Чехии, Латвии и Словакии этот показатель приближался к 100%[9].

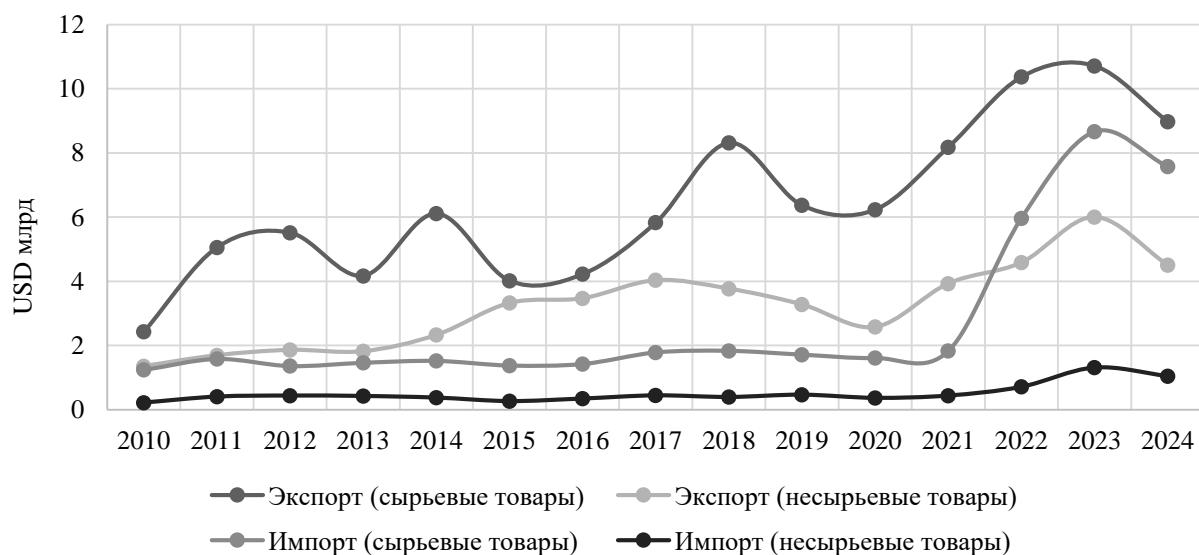
Тем менее, введенные ограничения уже сейчас требуют от государств Европы поиска альтернативных источников для обеспечения непрерывности цепочек поставок. В этой связи следует отметить заинтересованность некоторых стран мира в извлечении выгоды из сложившейся ситуации в виде возможности наращивания импорта в Европу товаров, для российских «аналогов» которых введены санкции. Это касается, прежде всего, Саудовской Аравии (нефть и газ), Бразилии (сталь, чугун, прокат, полуфабрикаты), Аргентины (пшеница и кукуруза).

Отдельно следует остановиться на внешней торговле сельскохозяйственным сырьем (пшеница, кукуруза, ячмень, подсолнечник). После нарушения логистических цепочек возникли проблемы со снабжением зерновыми культурами стран Африки и Ближнего

Востока, значительная доля которого покрывалась за счет импорта из России. Непосредственное негативное воздействие нарушения цепочек поставок в большей степени связано с сельскохозяйственным сырьем и энергоресурсами, в меньшей степени – с несыревыми товарами. Кроме того, продовольственная безопасность непосредственно связана с поставками удобрений, которые влияют на урожайность сельскохозяйственных культур.

Анализ изменения объемов экспорта сельскохозяйственного сырья в стоимостном выражении после введения санкций в 2022 г., позволил выявить максимальный (среди анализируемых регионов) рост этого показателя для стран Африки – в 1,5 раза в 2023 году в сравнении с 2022 г. Доля экспорта сельскохозяйственного сырья и продуктов питания в страны Африки в общем объеме товарного экспорта также выросла с 37,9% в 2022 году до 40% в 2023 году.

В целом, в структуре российского экспорта в страны Африки на протяжении 2010–2024 гг. преобладают сырьевые товары (рисунок 6).



Источник: составлено автором по данным UNCTAD

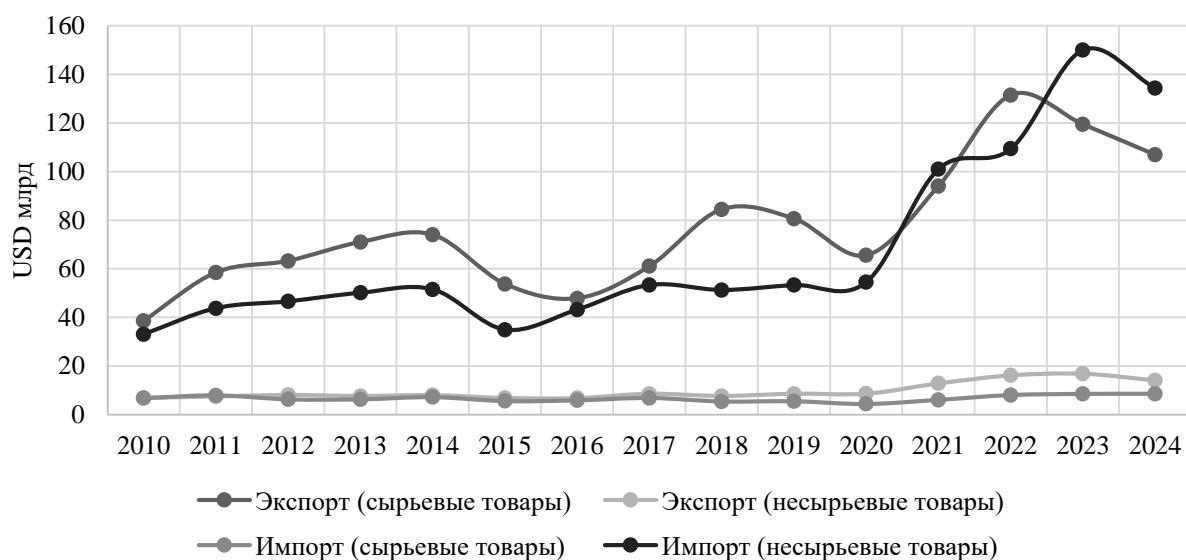
Рисунок 6 – Внешняя торговля товарами России и стран Африки, 2010-20224 гг.

Соотношение российского экспорта сырьевых и несыревых товаров в страны Африки (рисунок 6) остается практически неизменным в течение анализируемого периода – около 1/3 приходится на промышленные товары, 2/3 – на сырьевые товары. При этом, начиная с 2022 года, удельный вес сырьевых товаров превышает среднее значение за период (66%), что обусловлено увеличением объемов поставок и ростом мировых цен на зерновые культуры.

Структура российского товарного импорта из стран Африки также существенно не изменялась в течение 2010-2024 гг. В 2022 г. удельный вес сырьевых товаров в российском импорте из стран Африки составил 89%, что на 8% превышает показатель предыдущего года и на 7% – среднее значение за рассматриваемый период. Начиная с 2021 года, доля промышленных товаров в общем объеме товарного импорта последовательно сокращалась с 19% в 2021 году до 12% в 2024 году. Традиционно, основной статьей товарного импорта остаются продовольственные товары. Также, следует отметить, что в стоимостном выражении объемы товарного импорта из стран Африки минимальны, в сравнении с другими анализируемыми регионами мира.

Экономические санкции-2022 против России активизировали переориентацию внешнеторговых потоков на другие экономики, которые не присоединились к ограничениям.

Восточная Азия стала регионом-лидером по приросту объемов внешней торговли с Россией за 2022 г. Российский товарный экспорт в страны региона в стоимостном выражении вырос в 1,33 раза (рисунок 7).



Источник: составлено автором по данным UNCTAD

Рисунок 7 – Внешняя торговля товарами России и стран Восточной Азии, 2010-2024 гг.

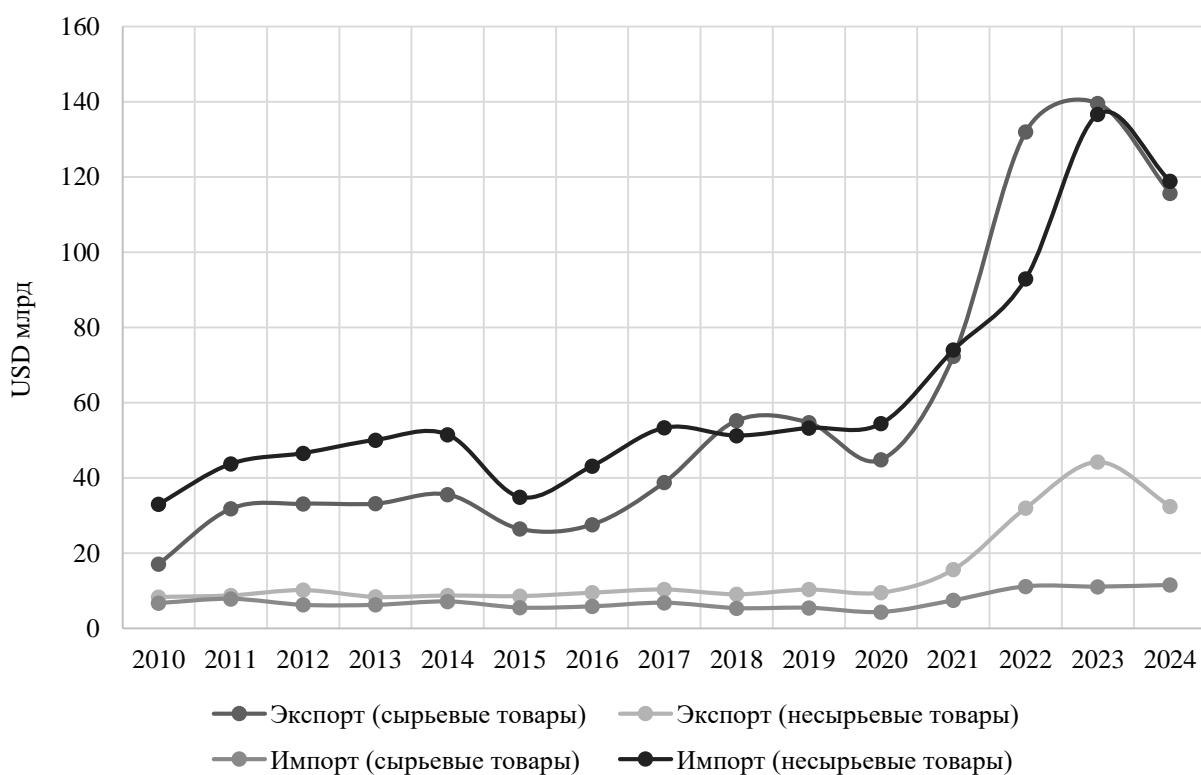
Как можно отметить из данных рисунка 7, наибольшим приростом в 2022 г. в стоимостном выражении характеризовался экспорт топлива – в 1,5 раза, в сравнении с 2021 г. Прирост 2024 года в сравнении с 2021 г. составил 1,24 раза. При анализе следует также учитывать продажи топлива в КНР с дисконтом. В целом, топливо традиционно занимает значительную долю российского экспорта в страны региона – в среднем, около 70% от

общего объема товарного экспорта в течение 2010-2024 гг. В 2022 г. отмечался существенный рост этого показателя – до 76%, в сравнении с 65% в 2021 г. Тогда как доля второй по значимости товарной группы российского экспорта – сырьевых товаров, за исключением топлива – резко сократилась с 22% в 2021 г. до 14% в 2022 г. В целом, среднее значение этой товарной группе в общем объеме товарного экспорта РФ в страны Восточной Азии за рассматриваемый период составило 18%.

Структура импорта России из стран Восточной Азии за 2010-2024 г. существенно не изменилась: в среднем 90% пришлось на импорт несырьевых товаров. Общий объем импорта в стоимостном выражении в 2024 г. вырос в 1,33 раза в сравнении с 2021 годом; свыше 80% этих изменений обусловлено ростом импорта промышленных товаров.

При анализе внешней торговли России и стран Восточной Азии в современных условиях необходимо отметить следующее. Ряд стран региона – Республика Корея, Япония, Тайвань – ввели санкции на экспорт в Россию и импорт из России определенных групп товаров, хотя и не в таком объеме как США и страны Западной Европы. В значительной степени этим, а также опасением введения вторичных санкций, обусловлено сокращение в 2022 г. экспорта в Россию отдельных групп товаров, а именно, машин и транспортного оборудования, электронной аппаратуры, комплектующих к электронной аппаратуре. Несмотря на то, что сокращение в количественном выражении незначительное – 1-3% по каждой товарной группе, в стоимостном выражении на эти товарные группы приходится свыше 60% всего товарного экспорта региона в Россию. Кроме того, Китай не в состоянии обеспечить Россию многими видами высокотехнологичной продукции (прежде всего, полупроводниками), которые ранее импортировались из США и Тайваня. Также в 2022 г. наблюдалось значительное сокращение российского экспорта отдельных групп промышленных товаров – машин и транспортного оборудования (до 40%), электронной аппаратуры (на 24%), в сравнении с 2021 г. Однако удельный вес этих групп в стоимости российского товарного экспорта не превышает 3%.

БРИКС как региональное объединение показывает наибольшие темпы прироста показателей внешней торговли (рисунок 8).



Источник: составлено автором по данным UNCTAD

Рисунок 8 – Внешняя торговля товарами России и стран БРИКС, 2010-2024 гг.

В стоимостном выражении в 2022 г. товарный экспорт вырос в 1,86 раза, в сравнении с 2021 г. (рисунок 8); соотношение этих показателей 2024/2022 гг. составило 1,68. В экспорте преобладают сырьевые товары – 79% от общего объема в среднем за рассматриваемый период. Основой динамики экспорта сырьевых товаров в страны БРИКС служит изменение экспорта топлива. Топливо традиционно составляет большую часть экспорта сырья; за рассматриваемый период удельный вес этой товарной группы составляет 74% в общем объеме экспорта сырьевых товаров в страны БРИКС.

Экономические санкции-2022 в отношении российской сырой нефти привели к перенаправлению этих экспортных потоков в Китай и Индию – страны, не присоединившиеся к санкциям, с которыми отложены логистические цепочки.

Также, начиная с 2010 г. отмечается постепенное сокращение доли экспорта сельскохозяйственного сырья – с 11,9% в 2010 г. до 3,6% в 2024 г. Основным потребителем среди стран объединения является ЮАР, для которой Россия выступает крупнейшим поставщиком зерновых культур. Максимальные объемы экспортных поставок промышленных товаров приходятся на продукцию химической промышленности – в среднем, около 10% общего объема товарного экспорта.

Товарный импорт из стран БРИКС в 2022 г. вырос в 1,28 раза в сравнении с 2021 г.; соотношение этих показателей 2024/2022 гг. составило 1,6. При этом, доля импорта несырьевых товаров, начиная с 2010 года, постепенно увеличивалась, начиная с 83% в 2010 г. до 91% в 2024 г. Основная статья российского импорта из стран БРИКС – машины и транспортное оборудование; удельных вес этих товаров составил, в среднем, около 60% всего объема товарного импорта за рассматриваемый период.

1.3 Особенности внешней торговли товарами России с отдельными экономиками: пример Республики Корея

Выбор для исследования Республики Корея обусловлен тем, что на сегодняшний день страна считается наиболее «дружественной» из современных «недружественных» экономик, и имеет наибольший потенциал восстановления экономических отношений с Россией. При этом, особую важность приобретает восстановление торговли товарами с высокой добавленной стоимостью.

Тем не менее, Республика Корея является инициатором ряда антироссийских экономических санкций. Наиболее значимые из них рассмотрены далее.

1. В марте 2022 года были введены в отношении семи российских банков и их дочерних компаний. Также введен запрет на торговлю новыми российскими гособлигациями. Тем не менее, Южная Корея сохранила некоторые исключения, отметив, что банкам разрешено торговать на тех же основаниях, что и сельскохозяйственной продукцией, медицинской помощью COVID-19, операциями в секторе энергетики и других секторах, где США выдали общие разрешения и разрешили транзакции по исключительным основаниям.

2. Установлен контроль над экспортом программного обеспечения, оборудования и технологий. Следует отметить косвенные эффекты, связанные с аналогичными ограничительными мерами со стороны США. Соединенные Штаты ввели экспортные ограничения на поставку высокотехнологичной продукции, содержащей американские технологии. Иностранные производители, использующие их, обязаны получать лицензию на экспорт своей продукции в Россию. Учитывая, что Республика Корея использует значительное количество технологий США в производстве высокотехнологичных товаров, данная мера могла значительно ограничить их поставки в Россию. Тем не менее, США и Республике Корея удалось договориться об исключении своих производителей из-под экспортных санкций Соединенных Штатов, однако Южная Корея обязалась ввести собственные меры в области экспортного контроля. Вскоре после этого решения Корея ввела запрет на поставки стратегических товаров, а позднее расширила его и на ряд

нестратегических, которые включают в себя, например, низкопроизводительные полупроводники, а также компьютерную технику. Данная мера предусматривает получение отдельного разрешения от корейских государственных ведомств на экспорт товаров из списков, если компания все же решит продолжить поставки в Россию.

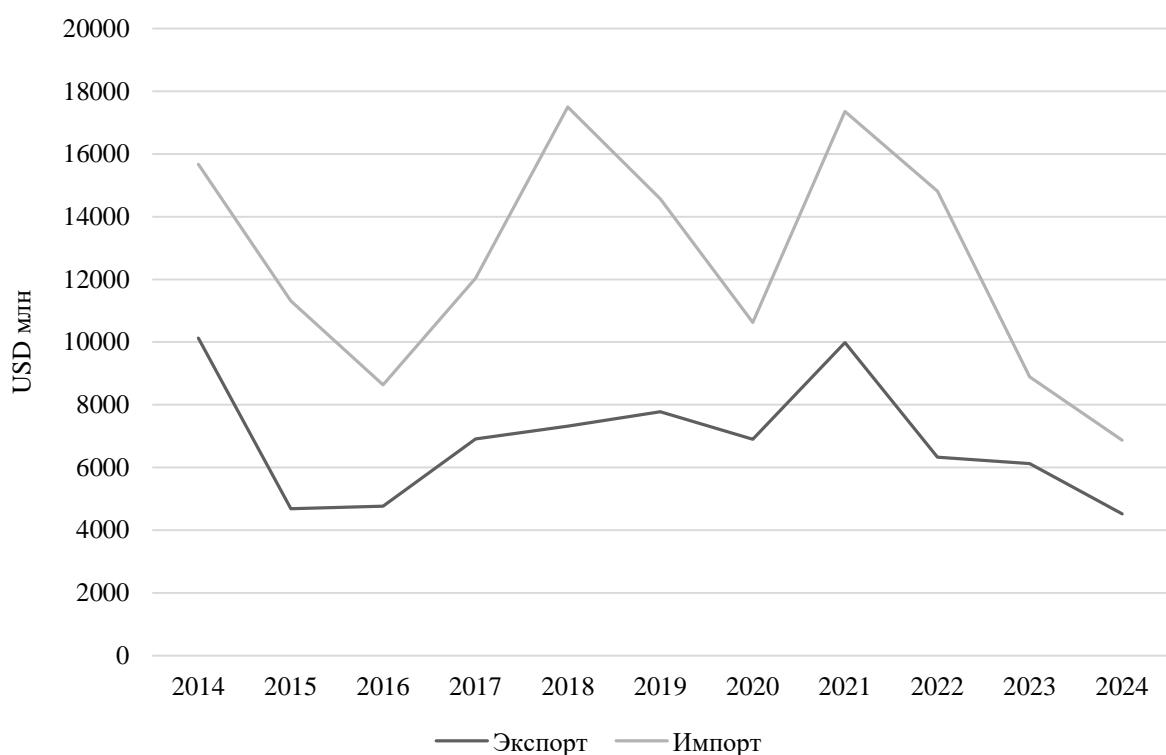
Тем не менее, после февраля 2022 года экспорт полупроводников из Кореи в Россию упал фактически до нуля, хотя до этого исчислялся миллионами долларов (свыше 20 млн долларов за 2021 год).

3. В феврале 2023 года правительство Южной Кореи запретило экспорт еще 741 товара в Россию, включая машины, автомобили и продукцию химической промышленности, которые были классифицированы как товары двойного назначения, для экспорта которых в эти страны требуются правительственные разрешения с 57 до 798.

4. В марте 2024 года Республика Корея ввела санкции в отношении двух российских судов, перевозящих военные грузы между Россией и Северной Кореей; и против семи северокорейских граждан, касающихся различной деятельности, связанной с оказанием помощи России со стороны Северной Кореи. Аналогично, в этот же период Япония вводит санкции в отношении девяти российских юридических лиц и одного российского физического лица, а также двух кипрских компаний в связи с закупками Россией оружия в Северной Корее. По сути, впервые правительство Республики Корея объявило о независимых санкциях, направленных только против судов, организаций и частных лиц под российским флагом. Совет Безопасности ООН запрещает всем государствам-членам ООН участвовать в военном сотрудничестве с Северной Кореей, включая сделки по оружию, и требует от них депатриировать всех северокорейских рабочих в свои страны.

6. В сентябре 2025 года на фоне обсуждения нового пакета европейских санкций прозвучало заявление министра иностранных дел Республика Корея Че Хён о том, что правительство страны не планирует вводить дополнительные санкции против России.

На рисунке 9 представлены агрегированные данные о внешней торговле товарами России и Республики Корея за 2014-2024 гг. (последние доступные данные).



Примечание: Здесь и далее источниками данных послужила информация Korea International Trade Association (KITA) и UNCTAD. На сегодняшний день детализированные данные о внешней торговле России с отдельными странами закрыты. Данные UNCTAD по России предоставлены с пометкой estimated, то есть, оценочные данные. Однако методология этой оценки детально не представлена, сделать вывод о ее точности не представляется возможным. В силу этих причин здесь и далее показатели экспорта характеризуют экспорт Республики Корея, а импорта, соответственно, импорт из страны-партнера – Российской Федерации.

Источник: составлено автором по данным KITA, UNCTAD

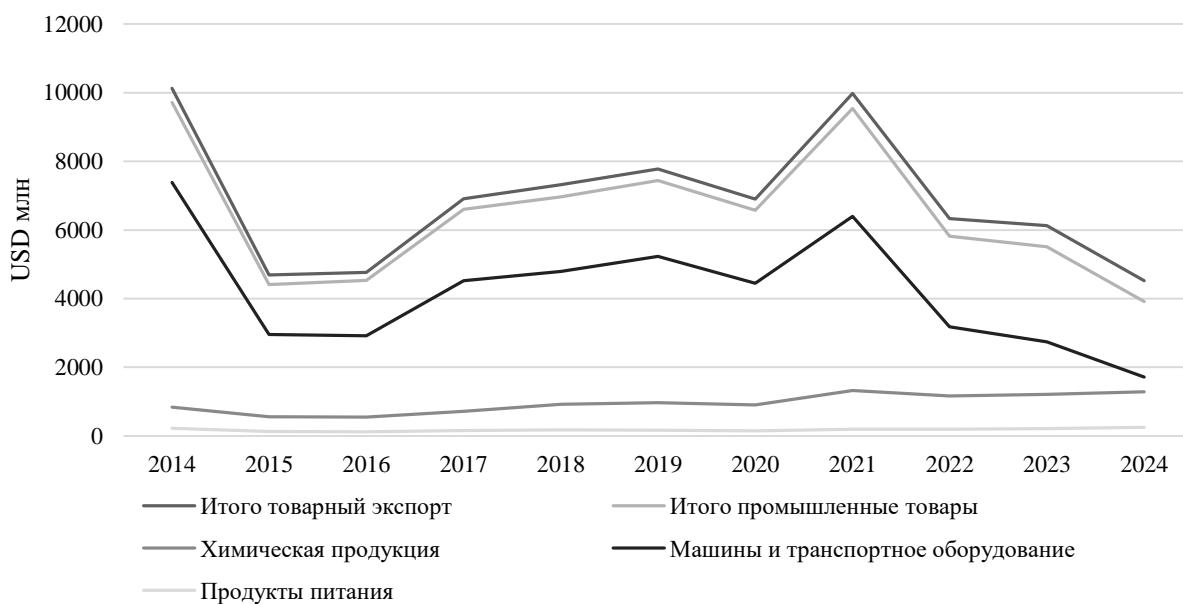
Рисунок 9 – Внешняя торговля товарами России и Республики Корея, 2014-2024 гг.

Исходя из данных рисунка 10, можно отметить, что на протяжении всего рассматриваемого периода наблюдается дефицит торгового баланса: импорт превышает экспорт, что обусловлено, прежде всего, существенными объемами импорта энергоносителей из России.

Антироссийские экономические санкции первой волны 2014 года, несмотря на то, что они были введены США, ЕС и некоторыми другими странами, нашли свое отражение и в сокращении показателей внешней торговли России и Республики Корея. Это отчасти явилось следствием тесных взаимосвязей Республики Корея и США, особенно, в сфере технологий.

Проведенный анализ санкционных ограничений Республики Корея позволил выявить, что основной рестрикционной мерой, влияющей на внешнюю торговлю, является экспортный контроль, применяемый, прежде всего, к товарам стратегического назначения, товарам двойного назначения, высокотехнологичного оборудования.

Это, безусловно, отразилось на структуре южнокорейского экспорта в Россию. На рисунке 10 представлены данные об общем экспорте товаров и ключевых товарных позициях.



Источник: составлено автором по данным

Рисунок 10 – Товарный экспорт из Республики Корея в Россию, 2014-2024 гг.

На рисунке 10 четко прослеживается падение экспорта товаров с высокой добавленной стоимостью. Свыше 90% общего экспорта в течение 2014-2023 годов занимали промышленные товары, из которых, в свою очередь, свыше 60% – машины и транспортное оборудование. 2024 год стал первым годом, начиная с 2014, когда доля промышленных товаров в экспорте из Кореи в Россию составила менее 90% (86,6%). Можно отметить, что промышленные товары обеспечивают большую часть вариабельности всего товарного экспорта из Кореи в Россию.

Сокращение экспорта продукции машиностроения, а, соответственно, и экспорта в целом, в 2020 году обусловлено глобальным влиянием пандемии COVID-19, которая нарушила логистические цепочки и привела к общему замедлению мировой торговли, включая машиностроение. Это снижение отразилось на общем объеме торговли между двумя странами. После 2022 года наблюдается существенный спад в торговле промышленными товарами.

В таблице 2 дополнительно приведены более подробные данные о товарных группах, экспорт которых из Кореи в РФ значимо не изменился – продукция химической промышленности и продукты питания.

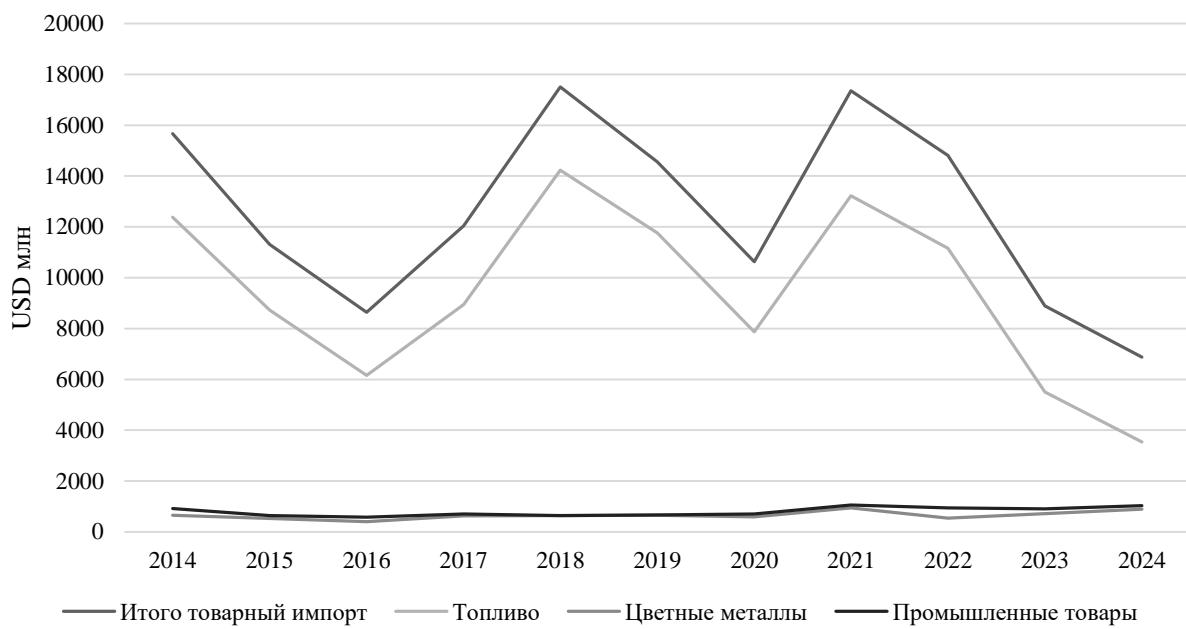
Таблица 2 – Динамика экспорта продукции химической промышленности и продуктов питания из Республики Корея в Россию

	Совокупный экспорт	Продукция химической промышленности		Продукты питания	
	USD млн	USD млн	Доля в совокупном экспорте, %	USD млн	Доля в совокупном экспорте, %
2014	10131,6	838,8	2,16	219,2	8,3
2015	4685,7	553,3	2,77	129,9	11,8
2016	4768,8	548,2	2,56	122,0	11,5
2017	6906,6	715,6	2,29	158,1	10,4
2018	7320,9	923,2	2,35	172,3	12,6
2019	7774,0	966,8	2,11	163,8	12,4
2020	6900,0	900,9	2,19	151,3	13,1
2021	9979,5	1325,3	1,97	197,0	13,3
2022	6328,2	1163,0	3,05	192,8	18,4
2023	6122,4	1212,5	3,39	207,8	19,8
2024	4523,9	1286,7	5,57	251,8	28,4

Источник: составлено автором по данным KITA, UNCTAD

Из данных таблицы 2 можно отметить, что экспорт этих товарных групп в стоимостном выражении вырос в 2024 году в сравнении с 2023 годом: рост экспорта продукции химической отрасли составил 6%, продуктов питания – 21%. И в целом, выросла доля этих товарных групп в общем объеме южнокорейского экспорта, но это произошло за счет значимого сокращения экспорта основной товарной группы – продукции машиностроения. Поэтому существенного улучшения общей картины не наблюдается, но это фактически единственные агрегированные товарные группы, которые продемонстрировали рост после 2022 года.

На рисунке 11 представлена динамика импорта товаров в стоимостном выражении, ввозимых из России в Республику Корея за период 2014-2024 гг.



Источник: составлено автором по данным KITA, UNCTAD

Рисунок 11 – Товарный импорт Республики Корея из России, 2014-2024

Как можно отметить из данных рисунка 11, около 80% российского экспорта в Корею занимает топливо. При этом, основное место занимает минеральное топливо, прежде всего, нефть и природный газ. Динамика импорта топлива полностью повторяет динамику импорта всех товаров из России в Республику Корея; соответственно, большая часть вариабельности общего импорта связана с изменчивостью импорта топлива.

Второй по значимости товарной группой являются руды (8,3% в среднем от общего объема экспорта за период 2014-2024). При этом, 67% в среднем всех руд составляют руды цветных металлов. Начиная с 2020 года, доля руд цветных металлов в общем объеме корейского импорта руд из России, постепенно росла, достигнув в 2024 году 85,5%. Доля еще одной товарной группы – продуктов питания также выросла с 5,5% в 2014 году до 14,5% в 2024 году. Однако этот рост произошел на фоне сокращения экспорта основной товарной позиции – топлива. В целом, руды, промышленные товары, продукты питания, занимают примерно одинаковые доли в товарном импорте Республики Корея из РФ.

Применительно к динамике показателей следует отметить сокращение импорта после первой волны санкций 2014 года, затем наращивание поставок топлива до 2020 года. Падение в 2020 году произошло в первую очередь из-за резкого падения цен на сырую нефть, что значительно снизило стоимость торговли. Начиная с 2022 года отмечается падение, связанное со второй волной санкций.

Результаты количественной оценки изменений современного этапа двусторонней торговли России и Республики Корея представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Количественная оценка изменений двусторонней торговли товарами России и Республики Корея в 2021-2024 гг.

	Экспорт (из Республики Корея в Россию)		Импорт (из России в Республику Корея)	
	% изменение 2023/2021	% изменение 2024/2021	% изменение 2023/2021	% изменение 2024/2021
Изменение товарных потоков в целом	-38,7	-54,7	-48,8	-60,4
Топливо			-58,4	-73,3
Промышленные товары, в т.ч.	-42,2	-58,9		
машины и транспортное оборудование	-73,3	-57,1		
Продукты питания	+5,5	+27,8		

Источник: рассчитано авторами на основе данных KITA, UNCTAD

Как можно отметить из данных таблицы 3, падение в 2024 году стало более существенным, чем в 2023 году (в обоих случаях базой сравнения послужил 2021 год): экспорт из Республики Корея в Россию сократился на почти 55%, падение импорта из России в Корею превысило 60%.

1.4 Специфика антироссийских экономических санкций, применяемых к высокотехнологичным отраслям

Задачи данного проекта обусловили необходимость подробного изучения санкций, направленных против высокотехнологичных отраслей экономики России.

Далее рассмотрены современные изменения в санкционной политике ключевых государств-инициаторов применительно к высокотехнологичному сектору России.

Европейский союз

19 пакет санкций ЕС (конец октября 2025 г.) включает следующие положения.

- ✓ Новые экспортные ограничения, распространяющиеся на искусственный интеллект и компоненты, используемые в производстве вооружений.
- ✓ Усилений ограничений на получение услуг. Теперь получение предварительного разрешения является обязательным для всех услуг, предоставляемых российскому правительству.

- ✓ Дополнительные ограничения на экспорт высокотехнологичной продукции и услуг, в т.ч. на экспорт электронных компонентов, дальномеров, различных химикатов и металлов, используемых в системах вооружений, а также строительных материалов и других товаров военного назначения
- ✓ Введение санкций против организаций, в том числе, в третьих странах, за содействие обходу экспортных ограничений на высокотехнологичную продукцию.
- ✓ Введение ограничения на предоставление российским организациям услуг в области искусственного интеллекта, высокопроизводительных вычислений и коммерческих космических услуг.

США

Введены санкции против российских компаний и компаний из третьих стран, производящих высокотехнологичное оборудование для российской оборонной промышленности и компаний сектора финансовых технологий.

Значимые изменения в санкционной политике США применительно к высокотехнологичным отраслям экономики РФ произошли в 2024 году и включали следующие ограничения.

- ✓ В сентябре 2024 года введен запрет на предоставление определенных ИТ-услуг, в т.ч. консалтинга, проектирования, поддержки и облачных сервисов для управления предприятием и разработки/производства программного обеспечения.
- ✓ В октябре 2024 года введены санкции против 400 компаний и физических лиц, включая компании из Китая, Индии и Турции, за поставки в Россию передовых технологий, в т.ч. финансовых. Включение в санкционные списки российских ИТ-компаний, в т.ч. Разработчиков ПО и операторов ЦОД.

В целом, на сегодняшний день, американским технологическим компаниям запрещено:

- предоставлять услуги ИТ-консалтинга и проектирования;
- предоставлять ИТ-поддержку и облачные сервисы для программного обеспечения для управления предприятием и для проектирования и производства.

Великобритания в феврале 2025 года ввела санкции против юридических и физических лиц, участвующих в поставках станков и электроники для российского ОПК.

Япония также ввела санкции против высокотехнологичных отраслей совместно со своими союзниками по санкционной политике. Они касались, прежде всего, ограничений на экспорт товаров двойного назначения, в том числе, и компаниям в третьих странах. Так, начиная с января 2025 года запрещается экспорт 335 наименований товарной продукции, включая акустическое оборудование, некоторые станки и двигатели. В список

контролируемых товаров включены товары и услуги технологий двойного назначения, в т.ч. квантовые вычисления и квантовые компьютеры. В сентябре 2025 года был введен запрет на экспорт высокотехнологичной продукции 9 компаниям импортерам, в т.ч. из Китая и Турции.

В целом, анализ характера санкционных ограничений позволил выявить, что ключевым направлением санкций в отношении высоких технологий и ИИ является экспортный контроль.

Экономические санкции против компаний, занимающихся разработкой ИИ, обусловлены, прежде всего, соображениями национальной безопасности: США и ЕС ограничивают экспорт и использование передовых технологий в отношении иностранных «недружественных» государств.

Ключевым наднациональным законом ЕС, регулирующим данную сферу, является Закон ЕС «Об искусственном интеллекте» (The Artificial Intelligence Act, AI Act) [10].

Помимо экспортного контроля, Закон ЕС «Об искусственном интеллекте» предусматривает высокие штрафы для компаний, не соблюдающих правила разработки и использования ИИ.

Правительство США ведет всеобъемлющий контроль за экспортом товаров, программного обеспечения и технологий, связанных с ИИ, в такие страны, как Китай, Россия и Иран. Важным элементом этой политики является ограничение экспорта чипов: в КНР экспорт чипов из США ограничен, в Россию и КНДР запрещен.

Кроме того, Министерство торговли США ведет консолидированный контрольный список (Consolidated Screening List CSL) – список лиц, в отношении которых правительство США сохраняет ограничения на определённые виды экспорта, реэкспорта или передачи товаров. Он постоянно обновляется на основе данных Министерства торговли США, Государственного департамента и Министерства финансов США.

На сегодняшний день американским экспортёрам настоятельно рекомендуется проводить комплексные проверки всех сделок, связанных с Россией и российскими юридическими и физическими лицами.

В свою очередь, экспортный контроль товаров и услуг, связанных с использованием искусственного интеллекта, сталкивается с рядом трудностей.

1. Сложность классификации

Программное обеспечение ИИ, как и программное обеспечение в целом, сложно классифицировать в соответствии с санкциями и правилами экспортного контроля. В отличие от физических товаров, программное обеспечение не имеет четкой и последовательной системы классификации, поскольку его можно легко модифицировать,

распространять в цифровом формате и использовать в различных приложениях, некоторые из которых, возможно, не были предусмотрены первоначальными разработчиками. Это затрудняет применение традиционных санкций и процедур экспортного контроля к программному обеспечению ИИ, поскольку эти процедуры разрабатывались для физических товаров.

Как правило, в санкциях и правилах экспортного контроля используются коды ТН ВЭД (ГС) – международный стандартизованный цифровой код, используемый для классификации продаваемых товаров, для идентификации товаров, подпадающих под ограничения.

Однако программное обеспечение ИИ (а также программное обеспечение, предоставляемое посредством скачивания или лицензирования) не всегда подпадает под таксономию Гармонизированной системы. Для того, чтобы определить, подпадает ли конкретный тип программного обеспечения ИИ под ограничения, требуется тщательный анализ технических характеристик и описания технологии на основе списка товаров и/или технологий, подпадающих под ограничения. Этот анализ должен включать такие элементы, как функциональность программного обеспечения, его алгоритмы, возможности обработки данных и потенциальное применение в секторах двойного назначения.

2. Отсутствие унифицированных стандартов в странах-инициаторах, прежде всего, в ЕС, США и Великобритании.

В каждой стране/группе стран ограничения зависят от спецификаций и функциональности таких продуктов, в зависимости от того, предоставляются/используются ли они подсанкционными организациями и физическими лицами либо предоставляются в юрисдикциях, подпадающих под действие всеобъемлющих и/или секторальных санкций. Это особенно сложно, когда программное обеспечение обладает характеристиками, соответствующими контролируемым товарам или технологиям «двойного назначения».

3. Проблемы определения контролируемых лиц/непреднамеренного доступа

Также на сегодняшний день нерешенной является проблема использования искусственного интеллекта в случаях, когда непреднамеренный доступ может быть предоставлен организациям или физическим лицам, находящимся под санкциями. Даже если пользователь не находится под санкциями, существует риск того, что инструменты ИИ могут быть использованы способами, прямо или косвенно способствующими деятельности, нарушающей санкционные правила.

В целом, текущий *modus operandi* введения санкций против России сопряжен с целым рядом проблем для стран-инициаторов. Эти проблемы касаются как общих вопросов, присущих санкциям как инструменту политики, так и особенностям

антироссийских санкций, в том числе, направленных против высокотехнологичных отраслей.

Во-первых, высокая степень произвольности. Многие из санкционных положений, особенно, применительно к товарам двойного назначения, позволяют государствам в одностороннем порядке определять, что является нарушением, и давать соответствующую правовую квалификацию. Зачастую это обходится без устоявшихся судебных механизмов.

Во-вторых, обоснование применения санкций зачастую расплывчато, особенно в отношении взаимосвязи между субъектами санкций и политикой России. Это позволяет произвольно вводить, продлевать или отменять санкции, опять же часто без контроля со стороны судебного или законодательного органов.

В-третьих, на фоне классической правовой системы, санкции фактически выступают в качестве формы квазиуголовной ответственности без надлежащей правовой процедуры или применения уголовно-правовых гарантий, таких как презумпция невиновности и стандарты доказывания. Более того, в Европейском союзе влияние отдельных государств вызывает обеспокоенность по поводу исключений и приоритетов в политике санкций.

1.5 Основные последствия санкций для сектора информационно-коммуникационных технологий в России

Проведенный в рамках проекта анализ позволил выявить основные последствия санкций для цифровой экономики и сектора ИКТ, и их влияние на различные группы экономических агентов (государство, образовательные институты, бизнес, домохозяйства):

1. Технологическая блокада, которая включает в себя как запрет на поставки микрочипов и серверного оборудования (Intel, AMD, NVIDIA), что приводит к замедлению развития данных центров и суперкомпьютеров, так и блокировка лицензионного ПО (Microsoft, Oracle, Adobe), которая повлекла за собой рост киберинцидентов и увеличила рисковый ландшафт в сфере кибербезопасности. Так, постоянные атаки на российскую сетевую инфраструктуру организаций, образовательных и государственных институтов заставило их срочно искать безопасные аналоги или разрабатывать собственные решения. Это подтверждает тот факт, что число кибератак за 2024 год выросло в 2,5 раза по сравнению с предыдущим годом.

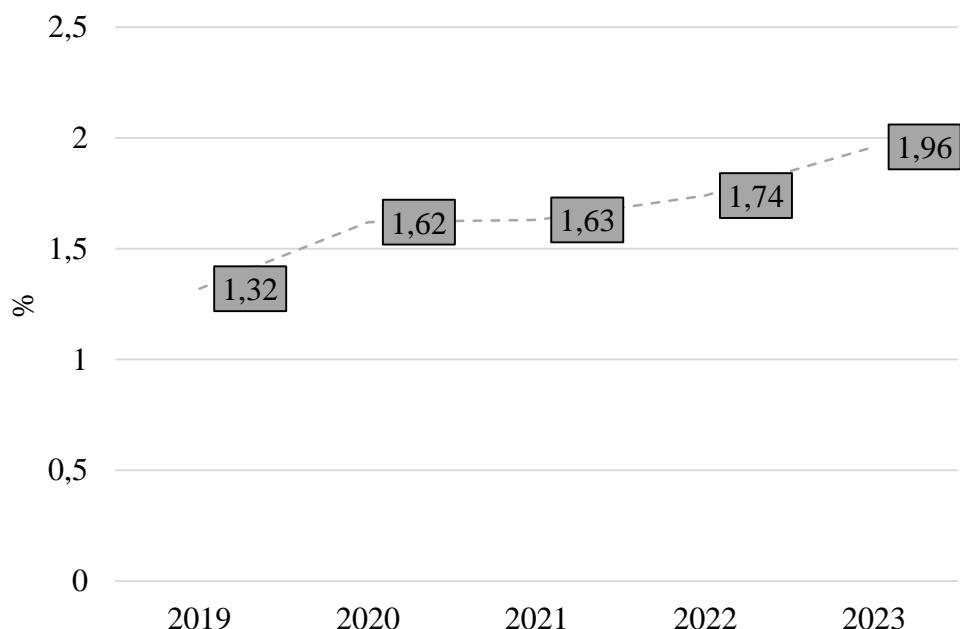
2. Уход международных ИТ-компаний, закрытие облачных (Meta, Google Ads) и рекламных (AWS, Google Cloud) сервисов, финансовые ограничения (отключение SWIFT) усложнило работу бизнеса и вынудило компании искать новые платформы и решения.

3. Отток квалифицированных кадров из ИТ-сектора.

Несмотря на серьезные ограничения ИКТ сектор продолжает демонстрировать рост по ключевым показателям – вкладу в ВВП и объему реализации продукции и услуг собственной разработки. Этому способствовали увеличивающийся внутренний спрос на цифровые технологии со стороны населения, бизнеса и государства, активное импортозамещение в сегментах ПО и ИТ-оборудования. Доля сектора ИКТ в общем объеме реализации товаров, работ, услуг выросла в 2023 году на 19,6% достигнув отметки в 6478,9 млрд.руб. Вместе с тем, его доля в ВВП в 2023 году составила 3,5% [11].

Важную роль в этом сыграли ИТ-отрасль (ключевой сегмент сектора ИКТ; ее годовой прирост достиг 30,9%) и производство ИКТ-продукции (16,9%). Стоит отметить, что по оценкам экспертов, до санкций, 70% валовой добавленной стоимости ИТ-сектора приходилось на импорт товаров и услуг (базовый и прикладной софт), что свидетельствовало о серьезной зависимости сектора от импорта [12].

Динамика роста доли ИТ-сектора в ВВП представлена на рисунке 12.



Источник: составлено автором по данным НИУ ВШЭ, Минцифры.

Рисунок 12 – Доля ИТ-отрасли в ВВП, %

Сектор ИКТ и ИТ, в частности, в России растет быстрее экономики в целом, но отстает от глобальных лидеров (США, Китай). Можно было бы возразить, что эти страны не сталкиваются с таким санкционным давлением, но есть пример Ирана, на который также наложены всевозможные санкции, особенно в области технологий и инноваций. Так, ИТ-сектор Ирана, несмотря на ограничения, демонстрирует устойчивый рост и играет ключевую роль в цифровой трансформации страны. С 2016 года ИТ-сектор Ирана был объявлен приоритетом государства, выросли расходы на образование, профильные

компании получили значительные преференции, что позволило разработать аналоги недействующих в стране известных мировых сервисов, организовать сервис бесконтактных платежей и т.п. Сейчас доля иранского ИТ в ВВП оценивается в 7%.

Принимая во внимание сложившуюся ситуацию, в которой России приходится искать новые выходы и пути преодоления введенных ограничений, определены перспективные возможности по адаптации цифровой отрасли, а также первоочередные меры поддержки.

1. Импортозамещение в ИТ. Российские операционные системы (Astra Linux, Ред ОС) и офисные пакеты (Р7-Офис) еще не вполне закрывают лакуну в этом секторе, ввиду имеющихся внутренних ограничений, тем не менее, развитие и поддержка собственных систем должна быть под пристальным вниманием государственных институтов.

2. Развитие облачных и кибербезопасных решений (VK Cloud Solutions и СберОблако, Kaspersky, Ростелеком-Solar) усиливают защиту данных. За цифровизацию бизнеса и госсектора отвечают 1С и Мегаплан, которые частично нарастили долю присутствия за счет ушедших с рынка SAP и Oracle.

3. Государственная поддержка. Подготовка ИТ-кадров и поддержка стартапов, льготы для ИТ-компаний (налоговые каникулы, преференции и другие экономические стимулы). Помимо этого, требуются существенные инвестиции в производство чипов и микропроцессоров.

4. Взаимовыгодное сотрудничество с другими странами, ведущими дружественную (или нейтральную) политику в отношении России. Сейчас есть хорошая возможность выстроить или углубить долгосрочные партнёрские отношения с Китаем, Ираном и другими странами, которые будут заинтересованы в паритетном обмене опытом и технологиями. При этом, требуется соблюдать политику рационального протекционизма.

Выводы к разделу 1

Анализ основных последствий антироссийских санкций для внешней торговли России и отдельных секторов внутреннего рынка позволил прийти к следующим основным выводам.

1. С использованием методов сравнительного и графического анализа определены основные изменения внешней торговли товарами России с отдельными регионами мира и странами БРИКС на основе анализа показателей внешней торговли за 2010-2024 гг.

2. Выявлено, что в результате введения санкций произошли сдвиги в цепочках стоимости, связанные с переориентацией стран Европы на других поставщиков сырья, энергоресурсов, стали и чугуна, которые удалены географически. При этом, необходимо

учитывать, что ориентация на новых поставщиков требует необходимости формирования новых логистических цепочек и готовности нести возросшие транспортные издержки, что может привести к росту конечных цен товаров на рынках страны-импортера.

3. Определено, что перестройка логистических цепочек по энергоносителям и сельскохозяйственному сырью затронула как смежные отрасли (производство чипов, для которого нужен алюминий и никель, экспортруемый Россией; сельское хозяйство в целом из-за сокращения экспорта российских удобрений), так и третьи страны, непосредственно не задействованные в санкционных эпизодах.

4. Выявлено, что Восточная Азия стала регионом-лидером по приросту объемов внешней торговли с Россией после 2022 г.

5. Анализ внешней торговли товарами России и стран ЕС выявил сокращение внешнеторговых потоков по всем крупным товарным группам. При этом, определены различные темпы сокращения импорта российских энергоносителей в ЕС за 2021-2025 гг.: наиболее существенно (в 28 раз) сократился импорт продуктов нефтеперарботки; более, чем в раза – импорт природного газа (в газообразном состоянии), и менее, чем в 1,5 раза – импорт сжиженного природного газа.

6. Определено, что падение цен на природный газ с пиковых значений 2022-2023 гг., которые наблюдались после введения ограничений европейскими импортерами российского газа, а также ответных действий РФ, связано главным образом с переориентацией стран Европы на импорт сжиженного природного газа, прежде всего, из США. Этот процесс связан с негативными последствиями для некоторых развивающихся стран, таких как Бангладеш и Пакистан, где наблюдаются негативные сдвиги в цепочках поставок сжиженного газа, от которых зависит их экономика. Также обнаружено, что, несмотря на падение цен в сравнении с показателями 2022 г., они по-прежнему превышают средние уровни в течение пяти лет, предшествовавших пандемии COVID-19. Это представляет собой серьезную проблему для развивающихся стран, которые критически зависят от импорта энергоносителей. В глобальном масштабе рост цен на продовольственные товары и энергоносители может привести к снижению реальных доходов, а также сокращению общемирового импорта.

7. Анализ характера санкционных ограничений позволил выявить, что ключевым направлением санкций в отношении высоких технологий и искусственного интеллекта является экспортный контроль.

8. Определены основные вызовы, с которыми сталкивается экспортный контроль товаров и услуг, связанных с использованием искусственного интеллекта: сложность классификации; отсутствие унифицированных стандартов в странах-инициаторах, прежде

всего, в ЕС, США и Великобритании; проблемы определения контролируемых лиц/непреднамеренного доступа.

9. Выявлены ключевые проблемы, с которыми сталкиваются страны-инициаторы, при введении санкций против России. Эти проблемы касаются как общих вопросов, присущих санкциям как инструменту политики, так и особенностям антироссийских санкций. В числе последних: высокая степень произвольности; неточность обоснования вводимых санкций, прежде всего, в отношении взаимосвязи между субъектами санкций и политикой России; существование санкций в качестве формы квалифицированной ответственности без надлежащей правовой процедуры или применения уголовно-правовых гарантий, таких как презумпция невиновности.

10. Результаты анализа влияния санкций на отрасль ИКТ в России позволили определить перспективные возможности по адаптации цифровой отрасли, а также первоочередные меры поддержки, в числе которых, импортозамещение в IT, развитие облачных и кибербезопасных решений, необходимость государственной поддержки, взаимовыгодное сотрудничество с «дружественными» странами, с условием соблюдения политики рационального протекционизма.

Раздел 2 Математический инструментарий для решения задач оптимизации поведения экономических агентов в условиях неопределенности, неполноты информации и ограниченности ресурсов

Задача поиска оптимальных стратегий развития внутреннего рынка и торгово-экономического сотрудничества с новыми партнерами в условиях новых экономических и геополитических ограничений может быть формализована (или частично формализована) в математические задачи оптимизации.

Соответственно, для решения задачи проекта, связанной с изучением совокупности свойств известных и новых компромиссных решений в теоретико-игровых моделях и задачах теории принятия решений, адаптируемых к условиям введенных против России санкций, исследованы возможности применения игр с неполной информацией, игр заполнения, элементов теории оптимального управления, а также инструментария задачи оптимизации топологии сети.

Теоретической основой данной части исследования послужили 1) концепция ресурсно-подобного риска, которая рассматривает риски не только как потенциальные угрозы, но и как возможности для роста, инноваций и развития, в том числе, в условиях ограниченности ресурсов; 2) концепция цены анархии, определяющей сокращение эффективности системы вследствие эгоистичного поведения экономических агентов; 3) отдельные инструменты теории игр, в частности, игра Штакельберга, учитывающая иерархические отношения экономических агентов, при исследовании задачи оптимизации топологии сети, и игра Байеса-Нэша, учитывающая неполноту информации при необходимости принятия стратегических решений.

2.1 Особенности управления ресурсо-подобным риском

Управление рисками – это процесс идентификации, анализа, оценки и приоритизации рисков, а также разработка стратегий и мер по их минимизации или устранению. Этот процесс важен в деятельности любой организации и при реализации любого проекта, поскольку позволяет снизить вероятность негативных последствий или их эффект в виде убытков и повысить шансы на достижение целей.

Понятие «риск» многогранно и требует учета множества факторов. На понимание и интерпретацию риска влияют контекст (риск может восприниматься по-разному в зависимости от конкретной ситуации), специфика области (финансы, здравоохранение, экология, технологии и т.д. имеют свои собственные критерии и методы оценки рисков), степень информированности (уровень знаний и понимания ситуации у лиц, принимающих решения, напрямую влияет на восприятие риска), субъективность восприятия (отношение

к риску может сильно варьироваться у разных людей и организаций). Эффективное управление рисками должно опираться на глубокое понимание этих аспектов для того, чтобы принимать обоснованные решения и минимизировать негативные последствия. Также при выборе метода и процедуры риск-менеджмента важен тот факт, на какую именно концепцию управления рисками опирается лицо, принимающее решение (ЛПР). Важнейшими в современном риск-менеджменте являются следующие концепции: минимизации риска, приемлемого риска и риска как ресурса. Рассмотрим последнюю более подробно.

Концепция ресурсно-подобного риска, или риска как ресурса, представляет собой подход, при котором риски рассматриваются не только как потенциальные угрозы, но и как возможности для роста, инноваций и развития. Являясь самой молодой из упомянутых концепций, она, с одной стороны, послужила разрешением классического для данной теории парадокса «доходность – риск» («Risk – return paradox»), обнародованного еще в классической постанове Г. Марковитца [13], а, с другой стороны, сформировала абсолютно новый взгляд на риск, отличающийся от традиционного подхода, который сосредоточен на минимизации потерь и предотвращении негативных последствий.

Ресурсно-подобный риск обладает следующими признаками. Во-первых, данный риск должен обладать позитивными факторами. Из этого следует, что увеличение уровня риска в потенциале может привести к дополнительным выгодам; иначе он бы не являлся ресурсом в глазах ЛПР. Во-вторых, безусловно положительным моментом, сохраняющим за риск-менеджером определенную свободу действий, является то, что данная концепция управления риском допускает возможность уклонения от его принятия. Однако, наряду с первым и вторым, стоит принимать во внимание также и третий признак ресурсно-подобного риска: увеличение его уровня может быть эффективным только до определенного предела, т.е. существует некоторый оптимальный уровень риска, который характеризуется тем, что на его результаты уже воздействуют все возможные позитивные факторы риска и его дальнейшее увеличение может лишь снизить эффективность применения данной концепции. Из анализа перечисленных признаков следует, что управление ресурсно-подобным риском связано с нахождением некоторого уровня насыщения и поддержании его оптимальных значений.

В качестве практических примеров подхода к риску как к ресурсу можно назвать инновационные стартапы, инвестиции в новые технологии, а также процесс глобализации, сопряженный с выходом на международные рынки. В [14] был исследован феномен венчурных инвестиций, сочетающих в себе свойства всех приведенных выше примеров, и

показано, что данный вид деятельности по всем признакам соответствует концепции ресурсно-подобного риска.

Говоря о методологии управления риском, следует учесть, что важнейшими аспектами, позволяющими эффективно справляться с неопределенностью и потенциальными угрозами, являются трансформация и финансирование риска.

Трансформация риска включает в себя процессы, направленные на изменение характера или уровня риска, чтобы снизить его или сделать приемлемым. Методы данной группы представляют процедуры уклонения от риска, сокращения риска, его передачи или приятия. Говоря о трансформации применительно к риску как ресурсу, следует понимать, что данный процесс связан с изменением восприятия, управления и использования ресурсов в контексте рисков, связанных с их доступностью, эффективностью и устойчивостью.

Возвращаясь к изучению венчурного инвестирования, следует уточнить, о рисках какой из сторон идет речь. Если мы исследуем риски стороны, реализующей, к примеру, инновационный проект, то здесь возможен разговор о традиционном управлении рисками, связанными с реализацией проекта. В таком случае один из методов трансформации – передача риска – будет тесно связан с источником, из которого данный проект финансируется, т.е., со взаимодействием стороны, реализующей проект и передающей (хотя бы частично) связанные с ним риски, и стороны, финансирующей (также, хотя бы частично) данный проект, т.е. принимающей на себя риски по его реализации. Если, детализируя модель подобных отношений, считать, что второй стороной в таком случае является венчурный инвестор, то для него в данном контексте уже a priori заложена идеология трансформации риска в форме его приятия в соответствии с принятым инвестиционным решением. Таким образом, трансформация риска является одной из основных компонент данного механизма, а двумя главным образом изучаемыми классами рисков – инвестиционные и инновационные, причем реализация вторых иногда влечет возникновение первых на катастрофическом уровне. Учитывая то, насколько сильна связь первых со вторыми, следует сконцентрироваться на исследовании инновационных рисков.

Согласно классификации, представленной в [15], наиболее характерными рисками, которые могут возникнуть в процессе инновационной деятельности, являются ошибочный выбор инновационного проекта, необеспеченность инновационного проекта достаточным уровнем финансирования, невозможность сбыта результата инновационного проекта, необеспеченность ресурсами, необходимыми для реализации инновационного проекта.

Поговорим теперь о применимости к приведенному примеру методах финансирования риска. Степень вовлеченности венчурного инвестора и его финансов в проект – от «ангельских инвестиций» на «предпосевных» и «посевных» стадиях до

капиталовложений непосредственно перед IPO – была подробно описана в [14]. Средства венчурного капиталиста, кто бы им ни был – розничный инвестор, госкорпорация или частный инвестфонд, – являются источником финансирования рисков, непосредственно связанных с запуском и реализацией проекта. Вместе с этим аспектом возникает вопрос, насколько может быть использовано финансирование рисков самого инвестора?

Анализируя методы управления инновационными рисками, в [15] автор отмечает следующие: резервирование (формирование резервного фонда), страхование, распределение рисков между исполнителями и проектами, диверсификация рисков по не связанным друг с другом проектам, хеджирование, лимитирование, передача (трансфер) риска другому лицу в случае превышения им предельной приемлемой для предприятия величины. Первые два пункта относятся к финансированию, последующие – к трансформации рисков. Говоря об инновационных проектах именно в контексте венчурного инвестирования, стоит отметить, что для инвестора из перечисленных методов трансформации наиболее подходящими являются диверсификация (преследуя цель получения высокой прибыли, при данном типе вложений инвестору необходимо финансировать одновременно целый ряд проектов) и лимитирование (инвестор сам устанавливает допустимые для себя объемы инвестиций в проект), а из методов финансирования наиболее приемлемым является страхование.

Перспективы страхования инновационных рисков в России изучались с теоретической и практической точек зрения довольно давно [16]. Авторы исследования относят страхование этого типа рисков к «одним из самых эффективных инструментов обеспечения гарантий компенсации убытков». В качестве примеров страхования инновационных рисков в России в работе приведены страхование ядерных рисков, космических рисков, интеллектуальной собственности и научного персонала. В качестве наиболее перспективных инновационных отраслей, которым может быть оказана страховая поддержка в России, в работе выделены оборонно-промышленный комплекс, атомная промышленность и космическая отрасль. Наряду с этими видами инновационной деятельности, в последние десятилетия активно развиваются технопарки, наукограды (такие как Технополис в Подмосковном Жуковском), ИНТЦ (такие как Сколково) и другие проекты, направленные на развитие инновационных технологий и привлечение инвестиций.

Анализируя различные типы страхования, применимые к инновационной деятельности, в [15] выделены следующие виды страхования: страхование жизни (и здоровья сотрудников научно-исследовательских организаций), страхование имущества (экспортных кредитов, инновационной нанопродукции, различных новых аппаратов и

технологий, возможных убытков компаний на начальных стадиях их развития от осуществления технологических инвестиций, финансовых результатов деятельности инновационной фирмы, потери прибыли вследствие вынужденного перерыва в производстве, авиационных и космических рисков, интеллектуальной собственности, информационных рисков, страхование от электронных и компьютерных преступлений, от политических рисков и др.), страхование ответственности (экологических рисков, в т.ч. риска возникновения гражданской ответственности за ущерб, наносимый окружающей среде, ответственности производителя новой технологии за качество продукции и т.д.).

Таким образом, мы видим, что страхование инновационных рисков является чуть ли не основным инструментом финансирования рисков для руководителей инновационного проекта. В то время как для венчурного инвестора, вложившегося в этот проект, приемлемыми методами являются диверсификация и лимитирование, заложенные уже в саму сущность применяемой концепции ресурсно-подобного риска.

Начиная с 2022 года, рынок венчурного инвестирования в России пребывает в сложном и неоднозначном состоянии [14]. При этом развитие инновационных технологий, запуск и поддержка соответствующих проектов не могут стоять на месте. Развивается и страховой рынок, серьезные инструменты которого призваны сопровождать, в частности, инновационную и инвестиционную деятельность.

Актуальность данных вопросов не вызывала сомнений еще десятилетие назад [16] и продолжает стремительно нарастать в течение последних лет.

В качестве одного из ключевых выводов ряда исследований, посвященных этой проблеме [15; 16], сформулировано, что значимость страхования заключается не только в том, что оно является методом контроля и снижения инновационных рисков, но и способствует также повышению инновационной активности экономики России в целом.

2.1 Теоретико-игровая модель венчурного инвестирования

В современной жизни трудно переоценить важность такого понятия, как информация. В зависимости от полноты информации, которой может обладать индивидуум, он принимает те или иные решения. Оказываются ли они эффективными или нет, напрямую зависит от того, насколько знания, на которые он опирался при их принятии, соответствуют действительности. Отсюда в прикладных науках появляются модели описания и прогнозирования различных процессов, динамики общественного мнения, распространения информации и многих проблем теории принятия решений. В свою очередь, теоретико-игровые модели также учитывают полноту или неполноту информации о свойствах и ходах противника.

Одним из наиболее известных классов задач, связанных с принятием решений на основе имеющейся информации, являются задачи, связанные с инвестициями. Выбор эффективной инвестиционной стратегии зависит от того, насколько подробной и качественной информацией располагает инвестор о рынке, его тенденциях и динамике, а также о поведении других участников этого рынка. Количественное оценивание рисков, результаты которого основаны на предшествующей статистике, а также качественный анализ, основанный, в частности, на экспертном мнении опытных аналитиков, помогают грамотно оценивать финансовые риски и строить прогнозные модели.

Однако в ситуации, когда речь идет о совершенно новом проекте, затрагивающем область, которая еще недостаточно исследована, могут отсутствовать как статистические данные, так и качественная информация. К таким проектам относятся различные стартапы, ИТ-проекты, инновационная деятельность в различных сферах, а инвестиции в них принято относить к венчурному капиталу. Венчурный капитал – это форма прямого финансирования, предоставляемая инвесторами или фондами начинающим компаниям, находящимся на ранних стадиях развития, а также развивающимся компаниям, которые, как считается, обладают высоким потенциалом роста. Наиболее востребованными секторами для такого рода инвестиций являются информационные технологии, включая кибербезопасность и искусственный интеллект, биотехнологии, энергетика, транспорт, космические технологии, совершенно новые и развивающиеся отрасли и сегменты экономики. Если рациональные экономические агенты принимают решение инвестировать в такой проект, то это, безусловно, инвестиция в будущую перспективу, в возможность получения высокого дохода в будущем, а не в реальные гарантии. Вкладываясь в такие компании, инвесторы обеспечивают их финансирование. В то же время, учитывая особенности таких компаний, венчурные инвестиции обладают высокой степенью риска и, по сути, являются долгосрочными вложениями в высокорисковые ценные бумаги.

Одной из важнейших концепций современного управления рисками является концепция риска как ресурса. Появление последней стало важным шагом в развитии теории управления рисками и, в частности, в разрешении классического для этой теории парадокса «доходность – риск» [13], изучаемого как в классических работах, так и в современных исследованиях, связанных с управлением финансовыми рисками [17]. Эта концепция, впервые сформулированная в 1998 году М.А. Гринфилдом [18], основана на идее о том, что управление рисками во многом аналогично управлению ресурсами. Если под затратами понимать затраты на управление рисками, а под выгодами – предотвращенные потери, то задача сводится к оптимизации затрат путем сравнения предельных издержек и выгод.

Принято выделять следующие основные признаки ресурсоподобного риска. Во-первых, риск должен иметь положительные факторы. Это означает, что повышение уровня риска потенциально может привести к дополнительным выгодам. В противном случае он не был бы ресурсом для лица, принимающего решение. Во-вторых, безусловно, положительным моментом является то, что ресурсоподобного риска можно избежать. Однако, наряду с первым и вторым, стоит также учитывать третью особенность ресурсоподобного риска: повышение уровня риска может быть эффективным только до определенного предела. На основе анализа перечисленных особенностей можно сделать вывод, что управление ресурсоподобным риском должно заключаться в нахождении определенного уровня насыщения и поддержании его оптимальных значений.

Таким образом, когда мы говорим о венчурных инвестициях, мы сталкиваемся с примером ресурсоподобного риска. Венчурные инвестиции отличаются от классических более высоким риском, определяемым гораздо меньшей вероятностью возврата, но часто гораздо более высокой доходностью.

Принимая на себя такой высокий риск, инвесторам необходимо исходить из понимания, каким типом обладает компания или проект, с которым им предстоит работать. Этот тип определяется не столько характеристиками самого проекта (или компании), сколько внешними рыночными условиями.

Венчурными инвесторами могут быть физические лица (розничные инвесторы, лично или через представителей) или организации различного уровня – от государственных корпораций или государственных инвестиционных фондов до частных инвестиционных фондов или компаний. Каждый из них определяет степень их участия в проекте, размер капитала, выделенных на финансирование его, на каком этапе финансирование осуществляется, и точка, в которой должно быть прекращено или приостановлено.

Таким образом, мы имеем теоретико-игровую модель, в которой есть два игрока – Инвестор и Проект. Кроме того, мы должны учитывать влияние внешнего рынка, который играет роль среды. Формализуя эту модель, мы получаем задачу принятия решений с неполной информацией, которая математически наиболее близка к байесовским играм, которые были описаны и изучены впервые в [19].

В данном исследовании предполагается рассмотреть игру инвестора с одним проектом, но в будущем она может быть расширена на случай n проектов. Игрок-инвестор решает, вкладывать или не вкладывать определенную сумму денег в конкретный венчурный проект, основываясь на убеждениях (мнениях) о типе проекта игрока. При этом также учитывается совокупность состояний природы (в нашем случае рынка). Исходя из этого, формируются функции получения прибыли обоими игроками и набор их стратегий.

Далее задача решается в классической формулировке байесовской игры [20]: рассматривая набор природных состояний, анализируются возможные сценарии и оцениваются их апостериорные вероятности, на основе которых игроки принимают решения и выбирают свои стратегии. Каждый игрок стремится максимизировать свой выигрыш, основываясь на своих представлениях о типе соперника.

Чтобы изучить концепцию ресурсоподобного риска на примере венчурных инвестиций, рассмотрим модель с двумя контрагентами: Инвестором и Проектом. Не вдаваясь в подробности их природы и свойств, следует учитывать, что на их решения и взаимодействие влияют внешние рыночные условия [21]. Поэтому мы можем сказать, что в нашей модели внешний рынок играет роль среды. Таким образом, мы сталкиваемся с конвергенцией двух подходов: теории игр и теории принятия решений. Это сближение приводит к изучению игры с неполной информацией, или байесовской игры [19; 20; 22].

Чтобы сформулировать постановку модели, сначала построим простую базовую инвестиционную игру в обычной форме [23; 24]. Затем распространим эту базовую модель на игру с неполной информацией [19; 20] и получаем ее в расширенном виде [25].

Пример игры инвестирования

Сначала рассмотрим неантагонистическую игру [24], в которой игроками являются Инвестор и Проект. Формально, поведение инвестора может быть представлено стратегиями A (инвестировать) и \bar{A} (не инвестировать). Стратегиями проекта являются B (быть прибыльным) и \bar{B} (быть убыточным).

Как формируется выигрыш инвестора? Он состоит из двух компонент: стоимости инвестиций в размере I (сумма, которую инвестор вкладывает в проект) и прибыли в размере R от реализации проекта. В рассматриваемом примере мы будем предполагать, что сумма инвестиций составляет условный 1 доллар. Полученная выгода от проекта может составлять 0 долларов или 2 доллара. Стоит учитывать, что проект может быть запущен только после получения первоначального одобрения инвестора и инвестирования первоначального капитала.

Предположим, Инвестор обоснованно решил вложить деньги в проект, и проект успешно реализован. Эта ситуация соответствует ситуации, или профилю стратегии (A, B) , который дает игрокам выплаты (3, 1): проект получает финансирование в размере 1 и генерирует прибыль в размере 2, инвестор тратит 1 (выигрыш равен -1) и зарабатывает 2. В случае инвестирования в проект, стоимость которого не подлежит возмещению (ситуация (A, \bar{B})), Проект (поскольку он не реализован) выигрывает -1, а Инвестор теряет 3 (выигрывает -1). В противоположном случае (ситуация (\bar{A}, B)) проект выигрывает 0, поскольку ему не удалось привлечь средства и он не был реализован ($I = 0, R = 0$). В то же

время Инвестор экономит свои деньги (не вкладывает 1 доллар), но не получает той прибыли, которую мог бы принести Проект. Его выигрыш похож на сожаление о недополученной прибыли в случае прибыльного проекта. Таким образом, в данном случае, при заданных значениях I и R , игроки получают выплаты $(0; -1)$. Когда оба игрока ничего не делают (ситуация (\bar{A}, \bar{B})), оба игрока получают 0.

Таким образом, расширенная форма этой игры представлена на рисунке 1.

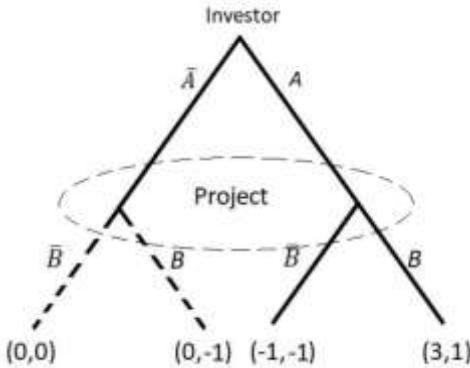


Рисунок 1 – Пример инвестиционной игры в развернутом виде
и имеет следующую платежную матрицу:

	A	\bar{A}
B	$(3, 1)$	$(0, -1)$
\bar{B}	$(-1, -1)$	$(0, 0)$

Анализируя полученные ситуации в игре, получается, что в ней существует два равновесия Нэша: профили (A, B) и (\bar{A}, \bar{B}) .

Рассматривая этот пример, мы должны заметить, что основной вопрос, который определяет, начнется игра или нет, заключается в том, выберет ли инвестор стратегию A или \bar{A} . Это зависит от различных факторов, которые необходимо изучить. Чтобы приблизить эту игровую модель к реальности, которую мы пытаемся с ее помощью моделировать, нужно понимать, что данная ситуация на самом деле предполагает принятие решений в условиях неопределенности. Построим теперь модель, учитывая этот факт.

Прежде всего, ограничимся рассмотрением игры инвестора с одним венчурным проектом (далее это предположение можно распространить на случай n проектов).

Основная игра

Как уже было рассмотрено ранее, в данной модели игроки – это Инвестор и Проект, и их стратегии в целом не изменятся по сравнению с приведенным примером. Чтобы обобщить это, нам нужно проанализировать функции выигрышей игроков, принимая во внимание, что целью обоих является их максимизация. Для этого вернемся к сделанным ранее обозначениям: I – первоначальный объем инвестиций; R – доходность проекта (как это было обозначено ранее); β – доля инвестора в проекте, $\beta \in (0, 1)$.

Продолжаем обобщать игру с полной информацией, отдельный пример которой был рассмотрен ранее в 2.1. Его развернутая форма представлена на рисунке. На практике, если Инвестор выбирает \bar{A} , игра заканчивается. Правильнее сказать, она и не начиналась: Проект не поддерживается финансированием, следовательно, он не запущен. Итак, мы должны рассматривать только ветку, когда Инвестор выбирает стратегию A , а Проект может отреагировать на нее стратегией B или \bar{B} .

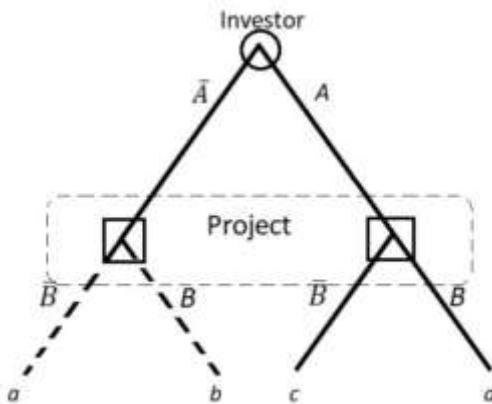


Рисунок 2 – Игра инвестиций в развернутой форме

Но гипотетически игра могла бы продолжиться, даже если бы Инвестор выбрал стратегию \bar{A} (на рисунке эти ветви показаны пунктирными линиями). Если мы будем развивать эту идею, то необходимо также учитывать упущенную выгоду Инвестора в случае успешной реализации проекта при его финансировании.

Когда мы рассматривали предыдущий пример, мы предполагали, что стратегии игрока Проект – это набор состояний *{быть прибыльным, быть убыточным}*, и предполагали, что выбор стратегии – это рациональное действие игрока. В то же время, в экономической реальности прибыльность проекта зависит от ряда внешних факторов, а не только от внутреннего выбора самого игрока. На этом этапе необходимо определить стратегию игрока Проект (ее можно интерпретировать как разумные действия руководства проекта) и то, может ли проект быть прибыльным или нет при данных внешних условиях. Первое будем относить к стратегиям игрока Проект *{будет реализован}* (B) или *{не будет реализован}* (\bar{B}).

Если Инвестор решил вложиться в Проект (выбирает стратегию A), то, получив финансирование, Проект реализуется (стратегия B) и приносит прибыль. Если, наоборот, он не реализуется, Инвестор только теряет свои деньги I . Но если Инвестор выберет A , он теряет незаработанный доход (но сохраняет инвестиции I) в случае, если Проект реализуется (аналогично концепции сожаления в смысле критерия Сэвиджа), и выигрывает 0, когда второй игрок выбирает \bar{B} . Такое представление игры соответствует следующей матрице прибыли

	A	\bar{A}
B	$(I + (1 - \beta)R, -I + \beta R)$	$(0, I - \beta R)$
\bar{B}	$(I, -I)$	$(0, 0)$

В данном случае мы учитывали только то, реализован Проект (приносит прибыль R) или нет (приносит прибыль 0), и не учитывали степень окупаемости. Возвращаясь к разговору о прибыльности и убыточности проекта, стоит отметить, что Инвестор не знает точно, насколько окупятся его инвестиции в будущем. Более того, поскольку рассматривается игра венчурного инвестирования, мы предполагаем, что отсутствие прогнозной статистики усугубляет эту неопределенность. Следовательно, возникает фактор неопределенности, который приводит нас к необходимости скорректировать постановку задачи.

На самом деле прибыльность проекта зависит от состояния природы (среды). В рамках рассматриваемой модели набор состояний природы (сценариев) может определяться следующими факторами: рыночной средой, конкурентоспособностью, внешнеэкономическими условиями и многими другими. Согласно классической постановке задачи принятия решений, Случайность (Природа) определяет набор типов, которыми может обладать игровой проект. Принимая во внимание такие условия, мы сталкиваемся с игрой с неполной информацией [19; 20], или байесовской игрой, в которой мы рассматриваем множество естественных состояний и двух рациональных противников.

Игра с неполной информацией

В классической литературе, посвященной байесовским играм [19; 20; 22], игра с неполной информацией в обычной форме обычно определяется как набор

$$\langle N, S, T, p, u \rangle \quad (1)$$

который состоит из следующих элементов:

1. N – набор игроков;
2. S – набор стратегий: $S = s_1 \times \dots \times s_N$, где s_i – набор возможных стратегий для игрока i ;
3. T – набор типов: $T = t_1 \times \dots \times t_N$, где t_i – (конечный) набор возможных типов для игрока i ;
4. Предварительное значение p : совместное распределение вероятностей $p(t_1, \dots, t_N)$ по всем возможным типам игрока: вероятность того, что игрок i имеет тип t_i , где $i = \overline{1, N}$;

5. Функция выигрыша $u_i: S \times T \rightarrow R$ ставит выигрыш игрока в соответствие с его типом и стратегией.

Мы продолжаем изучать основную игру, рассмотренную в разделе 2.2, в которой игроки – Инвестор и Проект, и наборы их стратегий одинаковы. Но, согласно классической формулировке байесовской игры [19; 25], игроки могут принадлежать к разным типам.

Например, поведение Инвестора зависит от стадии проекта: ранняя стадия (предварительный и посевной раунды), средняя стадия (запуск) и поздняя стадия (наращивание). Различные стадии определяют доступность информации о проекте, которая влияет на решение Инвестора. Более того, Инвестор может быть экономическим агентом с различными склонностями к риску: избегающим риска, нейтральным к риску или любящим риск. В текущем исследовании мы примем ограничения и упростим модель, рассматривая только нейтральный к риску (рациональный) тип инвестора со стратегиями A (инвестировать) и \bar{A} (не инвестировать).

Тип игрока Проект определяется тем, является ли Проект прибыльным (тип t_1) или убыточным (t_2). Тип Проекта влияет на величину дохода R .

Замечание. Вообще говоря, доход от Проекта может быть представлен его распределением на отрезке $[\underline{R}, \bar{R}]$ с помощью функции плотности вероятности $f_R(r)$. Но для дальнейшего изучения байесовской игры будет сделан ряд упрощающих допущений.

Во-первых, откажемся от идеи непрерывного распределения прибыли в пользу дискретного, т.е. будем считать, что R принимает только значения из множества $\{\underline{R}, \bar{R}\}$.

Во-вторых, говоря, что проект имеет только два типа t_1 и t_2 , мы будем иметь в виду, что в первом случае доход может быть равен $\bar{R} = R$, если проект реализован, и 0, если он не реализован; во втором случае, когда проект имеет тип t_2 , он может генерировать только убытки $\underline{R} = -R$ для самого проекта, если он реализован, и ничего не генерировать (0), если он не реализован. В обоих случаях Инвестор не получает прибыли от Проекта.

В-третьих, игрок Инвестор принимает решение, основываясь на своих убеждениях (мнениях) о типе проекта игрока, а не на точных знаниях, которых у него нет априори: будет ли проект прибыльным или нет, если говорить о будущей перспективе? Предположим, что p – это вера Инвестора в то, что проект прибыльный, и, соответственно, $1-p$ относится к вере в то, что он убыточен (общее априорное распределение вероятностей $(p; 1-p)$).

Игра в развернутой форме

Если мы примем во внимание неполноту информации, то получим новую форму игры. Вместе со стратегиями игроков, Инвестора и Проекта, нам также необходимо учитывать ход природы (среды), который определяет предварительное распределение

типов игроков. В нашей модели этот шаг определит предварительное распределение типа проекта. Будем предполагать, что это распределение соответствует представлениям Инвестора о типе второго игрока. Дерево игры [24], представляющее игру в развернутом виде с учетом хода природы [гибонс], показано на рисунке 3.

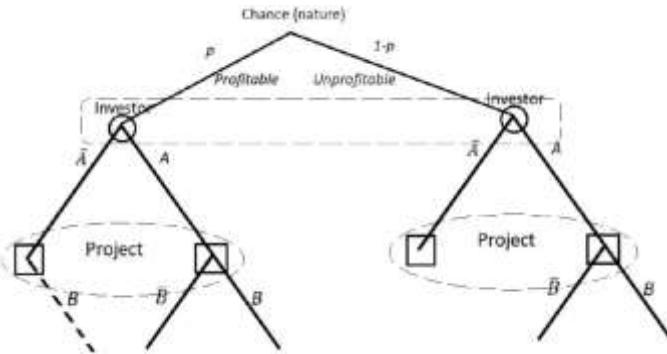


Рисунок 3 – Дерево игры с неполной информацией

Чтобы проанализировать эту биматричную игру, нужно изучить два типа Проекта и, соответственно, убеждения Инвестора.

Сначала рассмотрим случай, когда проект прибыльный (имеет тип t_1). Это соответствует положительному сценарию, который реализуется с вероятностью p , представленному левой ветвью игрового дерева на рисунке 3, и следующей матрицей прибыли (аналогичной матрице игры с полной информацией, рассмотренной ранее):

	A	\bar{A}
B	$(I + (1 - \beta)R, -I + \beta R)$	$(0, I - \beta R)$
\bar{B}	$(I, -I)$	$(0, 0)$

Если проанализировать эту игру, в соответствии со структурой байесовской игры [5, 10], мы получим, что доминирующей стратегией Проекта будет B .

Второй случай (правая ветвь дерева решений) – это негативный сценарий, когда природа делает ход с вероятностью $1 - p$, определяя проект как убыточный (имеет тип t_2). В этом случае правильным решением для Инвестора будет остановить игру, выбрав \bar{A} . Если Инвестор ошибочно выберет стратегию A , реализация любой стратегии игроком Проект приведет только к убыткам для Инвестора. Анализ игры показывает, что доминирующей стратегией проекта является \bar{B} .

	A	\bar{A}
B	$(I - (1 - \beta)R, -I)$	$(0, I)$
\bar{B}	$(I, -I)$	$(0, 0)$

Окончательное представление игры в развернутом виде можно увидеть на рисунке 4.

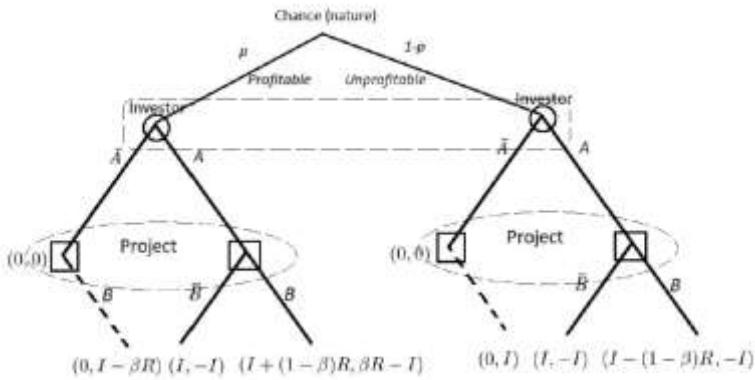


Рисунок 4 – Игра с неполной информацией в развернутой форме

Результаты

Чтобы сформулировать результаты, полученные для изучаемой игры, нам необходимо найти равновесие Байеса-Нэша (BNE) [20]. Прежде всего, нам нужно проанализировать, как Инвестор принимает решение, когда проект выбирает доминирующие стратегии различных типов.

Анализ игры венчурного инвестирования

Ранее, в разделе 2.4, были определены доминирующие стратегии игрока Проект для обоих типов игроков; таким образом, альтернативная стратегия с жестким доминированием может быть исключена. Учитывая это, если Инвестор выбирает A , его прибыль составляет

$$u_I(A) = p(\beta R - I) + (1 - p)(-I) = p\beta R - I.$$

Если он выберет \bar{A} , то

$$u_I(\bar{A}) = p(I - \beta R) + (1 - p)(0) = pI - p\beta R.$$

Поскольку в настоящем исследовании мы ограничились рассмотрением только нейтральных к риску (рациональных) факторов, Инвестор предпочтет стратегию *инвестировать*, когда $u_I(A) \geq u_I(\bar{A})$. Таким образом, условием принятия решения об инвестировании:

$$p \geq \frac{I}{2\beta R - I}. \quad (2)$$

Принимая во внимание математический смысл вероятности (2), мы получаем, что должно выполняться следующее двойное неравенство:

$$0 \leq \frac{I}{2\beta R - I} \leq 1. \quad (3)$$

Таким образом, мы получаем, что сумма инвестиций и доходность проекта должны удовлетворять: $I \leq \beta R$. Последнее неравенство соответствует требованию рентабельности инвестиций.

Но какова связь между R и I ? Чтобы ответить на этот вопрос, можно предположить, что рациональный экономический агент инвестирует в фонды, рассчитывая получить определенную прибыль от проекта в будущем. Другими словами, первоначальная сумма инвестиций в размере I может быть определена как дисконтированная прибыль инвестора в текущем инвестиционном периоде:

$$I = \beta R e^{-r\tau}, \quad (4)$$

где τ – период инвестирования, r – процентная ставка. Таким образом, в соответствии с (3), мы получаем следующие ограничения коэффициента дисконтирования:

$$e^{-r\tau} \leq 1. \quad (5)$$

Последнее неравенство эквивалентно условию $r\tau \geq 0$, которое может быть достигнуто при любой неотрицательной процентной ставке r .

Обобщая все предыдущие соображения и анализ игры, мы можем сформулировать утверждение, которое состоит из следующих пунктов.

Утверждение 1. В рассматриваемой игре (1) венчурного инвестирования с неполной информацией

1. Равновесие Байеса-Нэша (BNE) достигается в ситуации (A, B) для Проекта типа t_1 с вероятностью p и (\bar{A}, \bar{B}) – для Проекта типа t_2 с вероятностью $1 - p$;
2. Инвестиции запускаются, когда априорная вероятность p удовлетворяет (2);
3. Не требуется устанавливать никаких дополнительных ограничений на срок инвестирования τ и процентную ставку r , кроме требования прибыльности инвестиций ($r \geq 0$).

Дальнейшее развитие модели

Принимая во внимание специфику венчурного инвестирования, следует понимать, что рассматриваемая игра является лишь этапом моделирования большого сложного динамического процесса. Более того, в рамках байесовского подхода сыгранная игра должна восприниматься не только как завершенный этап взаимодействия Инвестора и Проекта, но и как способ получения новой информации о сопернике и, следовательно, актуализации своих убеждений [20] и параметров модели.

Какие параметры и значения могут быть повторно оценены после прохождения описанной игры?

Прежде всего, становится ясно, что реальный срок окупаемости T может быть длиннее или короче, чем предполагалось изначально τ . Здесь необходимо учитывать жизненные циклы и срок окупаемости конкретного проекта [17]. В то же время, в конце первого этапа выясняется реальное значение стоимости проекта \hat{R} вместо ожидаемого R . Инвестор также получает новую информацию о прибыльности данного проекта и вносит корректизы в свои убеждения, таким образом, значение апостериорной вероятности \hat{p} также должно измениться. Принимая во внимание эти новые знания, Инвестор также может скорректировать процентную ставку r и, следовательно, коэффициент дисконтирования β .

2.3 Эмпирическое исследование стратегии моментума на российском рынке акций

Для изучения особенностей поведения экономических агентов в условиях неопределенности использован пример российского фондового рынка. В частности, предложены методы исследования реакций рынка на изменение стоимости ценных бумаг вследствие изменения информационного поля.

Динамика современных финансовых рынков характеризуется ускорением информационных потоков, глобализацией торговых платформ и внедрением сложных финансовых инструментов, что обостряет необходимость адаптации традиционных теоретических моделей. В связи с этим поведенческие аномалии, влияющие на динамику цен и доходность активов, становятся наиболее актуальными объектами исследований.

Классическая гипотеза эффективного рынка, сформулированная Ю. Фамой [26], предполагает, что рыночные цены в каждый момент времени полностью отражают всю доступную информацию. Однако эмпирические данные свидетельствуют о существовании систематических отклонений от этой модели. Одной из наиболее стабильных и воспроизводимых аномалий является эффект моментума, основная идея которого заключается в том, что акции, демонстрировавшие лучшую доходность в прошлом, и в будущем будут показывать лучшую доходность. Дальнейшие работы [27; 28] подтвердили, что стратегии, основанные на покупке прошлых лидеров «победителей» и продаже аутсайдеров «проигравших», предоставляют собой статистически и экономически значимые избыточные доходности³.

Исследования [27; 28] и последующие работы [29; 30] заложили методологическую основу для анализа моментум-эффекта на развитых рынках. В работе [31] исследователи провели всесторонний анализ стратегии моментума на американском рынке фьючерсных

³ Избыточная доходность (Excess return) – под формулировкой понимается доходность инвестиционного портфеля, превышающая доходность рыночного индекса, то есть альфа, отражающая способность стратегии генерировать прибыль сверх рыночной.

контрактов, включавшем 58 инструментов с разными классами активов: акциями, облигациями, валютами и сырьевыми товарами за период 1960–2010 гг. В рамках исследования применялась стратегия построения равно взвешенных портфелей: ценные бумаги с положительной накопленной доходностью за предшествующие 12 месяцев включались в длинные позиции, тогда как из бумаг с отрицательной накопленной доходностью формировался портфель коротких позиций. Дополнительно в своей работе авторы исследуют подверженность стратегии транзакционным издержкам, показав, что даже после учета комиссий, премия моментум-эффекта⁴ колеблется в диапазоне 0.5–1.0% в месяц. Кроме того, было отмечено, что эффект сохраняется как в условиях низкой, так и высокой волатильности, однако в периоды экстремальных рыночных потрясений доходность стратегий временно снижается, что потребовало включения динамической адаптации объемов позиций. Улучшая методологию применения моментум-стратегий, исследователи в работе [29] проводят анализ того, насколько хорошо моментум способен объяснять кросс-секционные доходности на американском фондовом рынке в период с 1927 по 2011 гг.. Авторы оценивают доходность моментум-стратегий, формируя портфели путем ранжирования всех акций по их совокупной доходности за последние 12 месяцев и последующего деления выборки на десять равных групп (квантилей). Из ценных бумаг, входящих в верхний квентиль, формируется равновзвешенный портфель длинных позиций, а из нижнего квентиля – портфель коротких позиций. Для обеспечения стабильности получаемых результатов, исследователи формируют выборку, используя ежемесячные данные по более чем 5 000 эмитентов, торгуемых на биржах NYSE, AMEX и NASDAQ. Ключевым новшеством методологии стало применение адаптивных инструментов управления риском. При формировании портфеля авторы учитывают данные реализованной волатильности⁵ рыночного индекса. При превышении заранее установленного порогового значения стратегия предполагает применение более консервативного распределения активов, уменьшая долю портфеля, направленную для формирования длинных и коротких позиций, распределяя оставшуюся часть в безрисковых активах для минимизации потенциальных потерь. Также авторы исследуют целесообразность применения динамической корректировки горизонта удержания актива K, варьируя его в диапазоне от 3 до 9 месяцев. Авторы приходят к выводу, что стратегия кросс-секционного момента генерирует устойчивую избыточную доходность в

⁴ Премия моментум-эффекта - в данном случае под моментум-эффектом понимается ценовая аномалия, при которой акции, показавшие высокую доходность в прошлом, продолжают демонстрировать опережающую динамику в будущем.

⁵ Реализованная волатильность - это эмпирически наблюдаемое измерение изменчивости доходности актива за определённый период, рассчитанное на основе исторических данных.

большинстве подвыборок исследуемого периода. Вместе с тем, выявлена высокая чувствительность результатов к макроэкономическим потрясениям - в кризисные периоды доходность портфелей заметно снижается и может становиться отрицательной. Предложенная методология в области риск-менеджмента позволяет смягчить падения доходности в экстремальных условиях, сохраняя при этом избыточную доходность портфелей в периоды отсутствия макроэкономических шоков.

Стратегия моментум, получившая широкое применение на международных рынках, также привлекла внимание российских исследователей. Существующие эмпирические работы показывают, что адаптация классических моментум-стратегий к специфике отечественного рынка сопровождается устойчивой избыточной доходностью и требует учёта специфических локальных факторов — ликвидности и транзакционных издержек. Одним из наиболее ранних исследований в данном направлении выступает работа [32], в которой авторы ставят перед собой задачу эмпирически проверить наличие и устойчивость моментум-эффекта на российском фондовом рынке. Для тестирования гипотезы об эффективности моментум-стратегий использовалась выборка из 166 российских акций за период с января 2004 по декабрь 2012 года. В выборку включались как активно торгуемые бумаги, так и бумаги компаний, прошедших делистинг, что позволило минимизировать «эффект выживших»⁶. Методология данной работы, в отличие от описанных выше работ, предполагает анализ стратегии с нулевыми транзакционными издержками. При этом авторы используют классическую методологию построения моментум-стратегий – формирование портфелей, состоящих из длинных и коротких позиций с различными сроками формирования и удержания активов. Исследование показало наличие статистически значимого краткосрочного моментум-эффекта на российском фондовом рынке. Максимальная средняя месячная избыточная доходность (около 1,5%) была зафиксирована для стратегии с периодом формирования и удержания в 3 месяца. При этом эффект исчезает и даже становится отрицательным при увеличении инвестиционного горизонта более чем на 9 месяцев. Это говорит о сравнительно раннем развороте ценовых трендов на российском рынке. Авторы также приходят к выводу, что в кризисные периоды, такие как 2008–2009 гг., стратегии дают отрицательные результаты, что совпадет с выводами, полученными в работе [29] относительно поведения стратегии моментум на Американском рынке. Полученные выводы также соответствуют результатам

⁶«Эффект выживших» - систематическая ошибка в выборке, возникающая из-за исключения объектов, которые прекратили своё существование до момента анализа. Это приводит к завышенной оценке эффективности стратегий, поскольку в выборке остаются только те объекты, которые «выжили» и продолжают существовать.

поведенческих моделей, объясняющим провалы моментум-стратегий в условиях высокой волатильности.

Более современным исследованием моментум-стратегий на Российском рынке выступает работа [33], которая рассматривает более поздний временной период в сравнении с работой [32]. В качестве цели исследования авторы формулируют выявление наличия моментум-эффекта на российском фондовом рынке, а также оценку доходности и рисков моментум-стратегий при торговле высоколиквидными акциями в период 2019–2021 гг.. В работе проверяются три гипотезы: генерирует ли моментум-стратегия положительную доходность, превосходит ли она индекс МосБиржи по коэффициенту Шарпа⁷ и несет ли более высокий хвостовой риск⁸ по сравнению с индексом ИМОЕХ. В качестве эмпирической базы использованы дневные цены закрытия акций крупнейших российских компаний, входивших в индекс ИМОЕХ. Отбор акций основывался на критериях ликвидности и капитализации. Методологически работа опирается на классическую модель, за исключением возможности коротких продаж. Результаты исследования совпадают с выводами, полученными в работе [32], большинство из 16 протестированных стратегий демонстрировали положительную доходность даже с учетом транзакционных издержек. Особенно эффективно показали себя краткосрочные стратегии с периодом формирования и удержания от 3 до 6 месяцев. Коэффициент Шарпа для некоторых стратегий оказался выше, чем у рыночного индекса, что подтверждает их относительную привлекательность. Вместе с тем, гипотеза о более высоком хвостовом риске не подтвердилась: значения VaR⁹ и ES¹⁰ для большинства стратегий оказались ниже аналогичных показателей ИМОЕХ. Долгосрочный анализ показал, что эффект моментума в российских условиях ярко выражен в краткосрочной перспективе, но существенно ослабевает на длинных временных отрезках. Наибольшую чувствительность к рыночной турбулентности продемонстрировали портфели «проигравших», особенно в периоды кризисов.

Учитывая широкую эмпирическую подтвержденность эффективности моментум-стратегий на международных рынках, настоящее исследование направлено на построение

⁷ Коэффициент Шарпа – мера, оценивающая эффективность инвестиционной стратегии с учётом её риска. Показывает, насколько большую избыточную доходность (сверх безрисковой ставки) приносит стратегия на единицу принятых рисков, измеряемых как стандартное отклонение доходности.

⁸ Хвостовой риск – в данном исследование понимается риск возникновения крайне редких, но очень серьёзных убытков, которые лежат в «хвостах» распределения доходности, то есть далеко от среднего значения.

⁹ VaR – количественная мера финансового риска, представляющая собой максимальный ожидаемый убыток по позиции или портфелью при нормальных рыночных условиях за заданный временной горизонт и с заданным уровнем доверия.

¹⁰ ES – понимается среднее значение убытков в тех случаях, когда убытки превышают заданный уровень риска.

и адаптацию стратегии в условиях современного российского фондового рынка. В отличие от развитых рынков, российский рынок характеризуется меньшей ликвидностью, высокой волатильностью и большей частотой макроэкономических и геополитических шоков. Эти особенности требуют адаптации классических моделей к локальным условиям и дополнительной оценки их устойчивости. Методологической основой исследования выступает стратегия, предложенная в [34], с последующей адаптацией параметров к российскому контексту. Основное внимание уделяется анализу премии моментума (фактора UMD), определяемой как разность средних доходностей портфелей акций с наилучшей и наихудшей реализованной доходностью. Особый интерес представляет исследование влияния различных комбинаций периодов формирования J и удержания K портфелей, а также эффект от введения временного лага между этими этапами. В рамках исследования выдвигаются следующие гипотезы:

H_1 : Моментум-стратегии, реализуемые на основе исторической доходности, обеспечивают статистически значимую положительную премию на российском фондовом рынке в период 2015–2020 гг.

H_2 : Введение фиксированного недельного лага между этапами отбора и удержания положительно влияет на величину фактора моментум.

Исследование охватывает период с января 2015 по декабрь 2020 года. В качестве исходных данных используются месячные значения цен закрытия акций, торгующихся на Московской бирже. По окончании каждого периода удержания осуществляется пересмотр выборки: из всего пула торгуемых бумаг отбираются 50 крупнейших компаний по рыночной капитализации. Такой динамический подход к формированию портфелей обеспечивает высокую ликвидность и сопоставимость акций, включаемых в анализ, а также отражает актуальное состояние рынка на каждом этапе. Выбор данного интервала обусловлен стремлением обеспечить относительную макроэкономическую и рыночную однородность анализируемых данных. Исследуемый исторический промежуток позволяет избежать влияния наиболее значительных структурных шоков, включая пандемию COVID-19 и резкое обострение геополитической напряжённости, начавшееся в 2022 году. Таким образом, сохраняется стабильность условий, необходимых для корректного выявления эффекта моментума без искажающего воздействия экзогенных факторов. Для обеспечения надёжности полученных результатов и оценки устойчивости эффекта моментума при изменении рыночных условий в исследовании применяется процедура временной кросс-валидации. Общий временной интервал с декабря 2014 по декабрь 2020 года разбивается на три непересекающихся выборки с равными временными промежутками: 2015–2016, 2017–2018 и 2019–2020 гг. Для каждой выборки применяется один и тот же алгоритм построения

моментум-портфелей с фиксированными параметрами, заранее идентифицированными как оптимальные на обучающем множестве. Это позволяет протестировать воспроизводимость стратегии вне основной выборки и оценить её эффективность в различных фазах рыночного цикла. Для каждой выборки рассчитывается среднее значение фактора моментум и соответствующие t-статистики, на основании которых проверяется гипотеза о статистической значимости моментум-эффекта. Используемая формула для расчета t-статистики:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где, \bar{X} – выборочное среднее; μ_0 – значение параметра, проверяемое по нулевой гипотезе (например, 0 в случае проверки наличия избыточной доходности); s – выборочное стандартное отклонение; n – размер выборки;

Для каждой акции, входящей в выборку, рассчитывается совокупная доходность за период формирования длиной J месяцев, предшествующих моменту отбора. Затем все акции ранжируются по убыванию доходности, что позволяет выделить бумаги, демонстрировавшие наилучшую и наихудшую динамику в прошлом. Полученный список разбивается на равные квантильные группы. Для расчета фактора моментум используются крайние децильные портфели: верхние 10% бумаг с максимальной доходностью образуют так называемый портфель «победителей», тогда как нижние 10% с минимальной доходностью формируют портфель «проигравших». В случае недостаточного количества бумаг для точного квантильного деления применяется округление к ближайшему целому числу, обеспечивая при этом сохранение пропорции между группами. Затем, в зависимости от тестируемой стратегии, портфели формируются либо по ценам закрытия текущего дня, либо с использованием недельной задержки. На основе сформированных портфелей рассчитывается значение фактора моментум, более известного как фактор UMD, представляющий собой разницу между средней доходностью группы «победителей» и средней доходностью группы «проигравших» в течение периода удержания, формула расчета фактора имеет следующий вид:

$$UMD = \bar{R}_{\text{победители}} - \bar{R}_{\text{проигравшие}}, \quad (7)$$

где $\bar{R}_{\text{победители}}$ — средняя доходность портфеля акций, входящих в верхний дециль по доходности за период формирования (J месяцев); $\bar{R}_{\text{проигравшие}}$ — средняя доходность портфеля акций, входящих в нижний дециль по тем же критериям.

Интерпретация формулы (4): формализованное представление данного фактора, в которой моментум был использован как дополнительный фактор для улучшения объяснительной силы модели. Интерпретация данного фактора носит следующий характер - положительное значение UMD представленного в формуле (7), указывает на то, что стратегии, основанные на инерции цен, действительно приносят избыточную доходность, что нарушает принцип эффективного рынка. Чем выше значение UMD, тем сильнее выражен эффект момента.

Для оценки статистической значимости эффекта используется t -критерий Стьюдента, формула (6). Проверка первой исследовательской гипотезы (H_1) осуществлялась путём оценки среднего значения фактора UMD по каждой из тестируемых конфигураций J и K и последующего расчёта t -статистики. Нулевая гипотеза формулируется как отсутствие премии момента ($H_0: \mu_{UMD} = 0$), альтернативная — наличие статистически значимой положительной премии ($H_a: \mu_{UMD} > 0$). Значения t -статистики сравнивались с критическими уровнями, соответствующими 5%-му уровню значимости. Вторая гипотеза (H_2), касающаяся влияния недельного лага, тестиировалась сравнением средних значений фактора UMD и соответствующих t -статистик для стратегий с и без задержки между формированием и удержанием портфеля. Повышение средней доходности и рост значимости при наличии лага интерпретировались как эмпирическая поддержка гипотезы H_2 . Для обеспечения объективности сравнения все остальные параметры стратегии, такие как значения J и K , частота ребалансировки, оставались неизменными.

Эмпирический анализ охватывает следующие комбинации параметров формирования J и удержания K портфелей из множества $\{3, 6, 9, 12\}$ месяцев, при двух режимах реализации: с наличием недельного лага между фазами J и K ($\text{skip} = 1$) и без него ($\text{skip} = 0$). Всего было проанализировано 32 комбинации портфелей, что позволило комплексно оценить как общую устойчивость эффекта момента, так и его чувствительность к изменениям параметров стратегии. Во всех протестированных конфигурациях премия момента (фактор UMD) имела положительное значение, что свидетельствует о наличии устойчивого эффекта инерционности в динамике цен. Максимальные значения UMD были зафиксированы в конфигурациях со среднесрочными параметрами. Так, при $J = 6$, $K = 6$ и $\text{skip} = 1$ средняя месячная доходность достигала 2.15%

при t-статистике 4,69. Даже в отсутствии временного лага ($\text{skip} = 0$), данная конфигурация демонстрировала сопоставимый уровень значимости при доходности 1,98%.

Таблица 1 – Среднемесячная доходность портфелей победителей (Buy) и проигравших (Sell), премия моментума (UMD) и соответствующие значения t-статистики, рассчитанные для различных сочетаний параметров формирования (J) и удержания (K), при наличии и отсутствии недельного лага ($\text{skip} = 1/0$).

		Panel A ($\text{skip} = 0$)				Panel B ($\text{skip} = 1$)				
		J/ K =	3	6	9	12	3	6	9	12
3	Sell	0,93%	0,84%	0,86%	0,86%		1,03%	0,59%	0,63%	0,63%
3	Buy	2,08%	1,78%	1,80%	1,80%		2,12%	1,53%	2,10%	1,84%
3	UMD	1,16%	0,94%	0,94%	0,94%		1,09%	0,94%	1,47%	1,21%
		(2,18)	(2,34)	(2,57)	(2,57)		(2,20)	(2,34)	(3,50)	(3,56)
6	Sell	0,46%	0,57%	0,63%	0,50%		0,52%	0,43%	0,46%	0,46%
6	Buy	2,39%	2,55%	2,58%	1,54%		2,57%	2,58%	1,79%	1,49%
6	UMD	1,93%	1,98%	1,95%	1,05%		2,05%	2,15%	1,33%	1,03%
		(4,34)	(4,69)	(4,49)	(3,42)		(4,55)	(4,69)	(4,49)	(3,64)
9	Sell	0,42%	0,26%	0,33%	0,33%		0,63%	0,28%	0,34%	0,34%
9	Buy	2,31%	2,16%	1,42%	1,42%		2,01%	1,93%	1,32%	1,32%
9	UMD	1,90%	1,90	1,09%	1,09%		1,38%	1,65%	0,98%	0,98%
		(3,35)	(3,28)	(3,06)	(3,06)		(2,41)	(3,28)	(2,64)	(2,64)
12	Sell	-0,06%	-0,10%	-0,02%	-0,02%		0,08%	-0,06%	-0,03%	-0,03%
12	Buy	1,75%	1,27%	1,02%	1,02%		1,62%	1,11%	0,77%	0,77%
12	UMD	1,81%	1,37%	1,04%	1,04%		1,53%	1,17%	0,80%	0,80%
		(3,69)	(4,06)	(3,42)	(3,42)		(3,37)	(4,22)	(3,03)	(3,03)

Анализ построенных портфелей показал, что наибольшая величина и устойчивость премии моментума достигаются при использовании среднесрочных и краткосрочных горизонтов, в частности, при $J = 6$ и K от 3 до 6 месяцев. Эти параметры обеспечивают оптимальный баланс между достаточной длиной периода накопления информации о прошлой доходности и сохранением актуальности ценового сигнала в момент удержания позиции. В таких конфигурациях фиксируются одновременно высокие значения средней

доходности и значимые t-статистики, что свидетельствует о статистически достоверном присутствии эффекта момента. Наблюдаемая эффективность более коротких горизонтов формирования и удержания портфелей (по сравнению с аналогичными стратегиями, применяемыми на развитых рынках, таких как США) согласуется с выводами российских исследователей, представленных в работах [32; 33]. Отмечается, что для российского фондового рынка характерна высокая краткосрочная волатильность, что снижает эффективность долгосрочного накопления информации и делает более предпочтительными стратегии с коротким инвестиционным горизонтом.

Сравнительный анализ показал, что введение недельного временного лага между этапами формирования и удержания портфелей оказывает положительное влияние на эффективность моментум-стратегий. В большинстве протестированных конфигураций данный элемент способствовал увеличению как средней доходности, так и соответствующих t-статистик, что указывает на рост как экономической, так и статистической значимости премии момента. Данный эффект может быть интерпретирован как результат частичной нейтрализации краткосрочных рыночных шумов, в том числе, обратных ценовых движений и кратковременного давления на котировки, возникающего вследствие скоординированных рыночных действий в конце периода формирования портфеля. Таким образом, лаг выполняет функцию операционного сглаживания, повышая надёжность идентификации устойчивых ценовых трендов.



Рисунок 5 – Схема временной кросс-валидации по методу rolling origin для оценки устойчивости моментум-стратегий в 2015–2020 гг.

В целях эмпирической проверки устойчивости моментум-эффекта и оценки его воспроизводимости в различных фазах рыночного цикла в настоящем исследовании была реализована процедура временной кросс-валидации. Анализируемый период с декабря 2014 по декабрь 2020 года был разбит на три непересекающихся временных подвыборки продолжительностью по два года: 2015–2016, 2017–2018 и 2019–2020 годы. На каждом

этапе тестирования использовался подход с увеличивающейся границей обучающей выборки (rolling origin)¹¹. Стратегии тестировались на каждой выборке, при этом предварительное обучение осуществлялось на совокупности всех предыдущих данных. В каждой из трёх тестовых подвыборок проводилось независимое тестирование полного набора конфигураций параметров стратегии, включающего все возможные сочетания значений J и K из множества {3, 6, 9, 12}, с реализацией как безлаговой модели ($skip = 0$), так и модели с недельной задержкой ($skip = 1$).

Результаты кросс-валидации (рисунок 6) продемонстрировали наличие положительной премии UMD во всём множестве протестированных параметров. Наиболее высокую среднюю доходность и максимальную стабильность премии продемонстрировала конфигурация $J = 6, K = 3$ при наличии недельного лага ($skip = 1$). При этом следует отметить, что некоторые конфигурации, демонстрировавшие высокую эффективность на совокупной выборке (Таблица 1), демонстрируют ухудшение результатов в рамках временного разбиения, что может говорить об определенных всплесках доходности в результате изменения конъектуры рынка, рост или снижение волатильности.

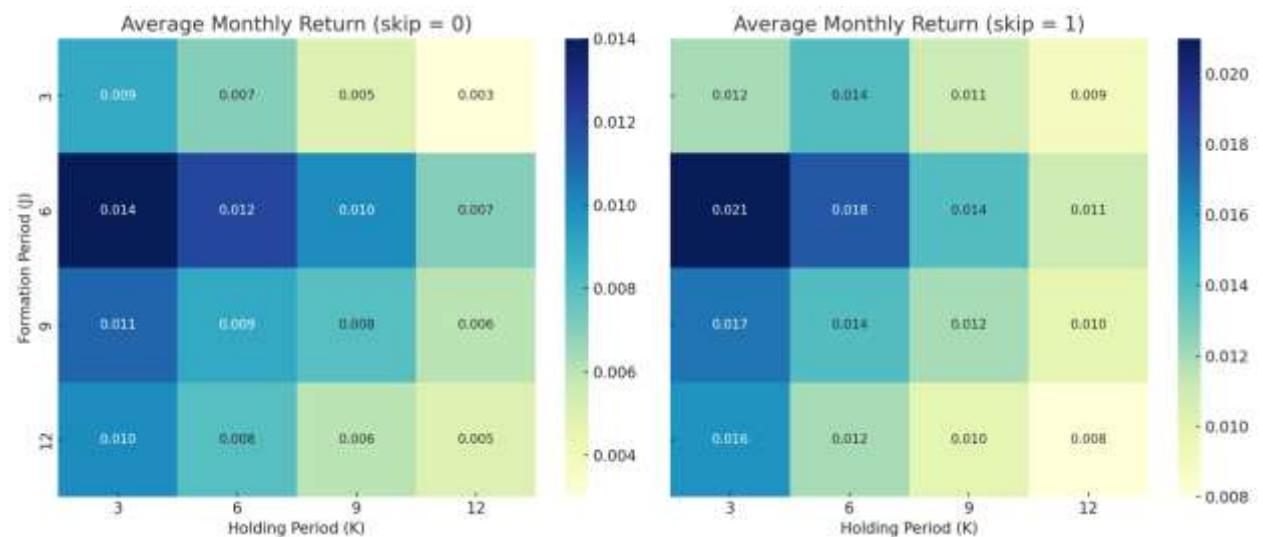


Рисунок 6 – Тепловые карты среднемесячной премии UMD по различным конфигурациям параметров J и K по результатам кросс-валидации.

Можно предположить, что данные результаты подтверждаются результатами работы [29], в которой исследователи показывают, что, в зависимости от состояния рынка, могут

¹¹ Rolling origin – метод валидации моделей временных рядов, при котором обучающая выборка последовательно расширяется, а тестирование проводится на последующих временных интервалах при сохранении хронологии.

происходить изменения в оптимальных комбинациях параметрах J и K . В частности, комбинация $J = 6, K = 6$, показавшая максимальные значения премии момента на полной выборке, в ходе кросс-валидации демонстрировала стабильно высокие, но не наивысшие результаты. Это свидетельствует о несколько меньшей равномерности доходности данной конфигурации по подвыборкам и подчёркивает преимущество более устойчивой конфигурации $J = 6, K = 3$, демонстрирующей высокие значения премии момента в каждом временном интервале. Такая стабильность делает данную параметризацию предпочтительной с точки зрения исторической воспроизводимости и надёжности применяемой стратегии. Дополнительный анализ результатов кросс-валидации позволяет выделить стратегии с краткосрочными и среднесрочными горизонтами формирования и удержания ($J, K \in \{3, 6\}$) как наиболее устойчивые и эффективные в условиях российского фондового рынка. Наиболее выраженные значения премии момента фиксируются именно в данном диапазоне параметров. Наблюдаемая стабильность и относительная однородность результатов для различных временных периодов указывает на высокую воспроизводимость эффектов в рамках этих конфигураций. Это дополнительно подтверждает сделанные ранее выводы о преимуществе стратегий с укороченными инвестиционными горизонтами, особенно при использовании недельного лага, и усиливает доверие к гипотезе H_2 о его положительном влиянии.

2.4 Двухуровневая оптимизация в задачах управления стохастическими системами

Для моделирования действий экономических агентов, связанных с поиском оптимальных стратегий, например, стратегий управления портфелем, минимизирующих риск или максимизирующих благосостояние, в условиях ограниченности ресурсов, исследован потенциал методологии оптимального управления стохастическими системами.

Данная часть исследования посвящена развитию заложенной в [35] методологии решения стохастических задач оптимального управления, содержащих экстремальные меры. Решается задача [36] стохастического оптимального управления с несогласованностью во времени методом двухуровневой оптимизации, которая возникает из-за того, что функционал качества содержит экстремальную меру [35] вида:

$$\rho(\xi) := \inf_{y \in R^m} \mathbb{E} f(\xi, y). \quad (7)$$

В качестве такой экстремальной меры можно использовать некоторые широко известные меры риска, например, условную стоимость под риском (Conditional Value-at-Risk (CVaR)) из [37].

Принципиальное отличие данного исследования от [35] заключается в том, что в нашей постановке функционал качества состоит из дисконтированной суммы функционала качества, полученного из классической формулировки, и экстремальной меры, а не только из экстремальной меры, а управляемая динамика является процессом диффузии со скачками [38].

Основная часть данного подраздела представлена в Приложении Б.

2.5 Цена анархии в игре заполнения с ограничениями на поток

Игра заполнения впервые была сформулирована в 1973 году на примере моделирования конкурентного поведения большого числа пользователей улично-дорожной сети [39]. В этом смысле, можно сказать, что игры заполнения предназначены для описания ситуаций, в которых множество агентов конкурируют за общий ресурс при условии, что стоимость (costs) ресурса для каждого агента увеличивается с ростом числа конкурирующих агентов. Другими словами, в таких играх предполагается, что чем выше уровень заполнения, тем более затратным становится ресурс для агента. Таким образом, в общей постановке в игре заполнения постулируется наличие определенного набора альтернатив для выбора (ресурсов), а функция выигрыша для каждой альтернативы зависит от того, сколько игроков её выбрали. Известно, что игра заполнения имеет равновесие Нэша в чистых стратегиях [39]. Более того, были получены достаточные условия, при которых в игре заполнения существует сильное равновесие Нэша.

На сегодняшний день исследователями изучены различные ситуации, моделирование которых возможно на основе игры заполнения с разными уточнениями и дополнениями. В частности, если предполагать, что стоимость использования альтернативы зависит не от числа игроков, а от суммы их весов, то можно сформулировать, так называемую, взвешенную игру заполнения. Существование равновесия Нэша в таких играх изучалось в ряде работ [40-42]. Рассматривался также класс игр, в которых стоимость альтернатив зависела как от количества игроков, так и от их стратегий [43]. Применительно к распределению транспортных потоков, исследовался потенциал в игре заполнения с разными типами транспорта [44]. Помимо прочего, в научной литературе встречаются работы, посвященные кооперативным играм заполнения [45]. Такие исследования крайне актуальны, поскольку достижение социально оптимального распределения в игре заполнения обычно требует как раз некоторой формы внешнего вмешательства или коопeração.

С точки зрения общественного благосостояния, наиболее эффективное использование ресурсов происходит тогда, когда минимизируется их совокупная стоимость. При этом, технически, максимизация общественного благосостояния в играх

заполнения может происходить, например, за счёт перераспределения избытка, получаемого некоторыми игроками в случае социально оптимального распределения игроков между альтернативами. Однако, бывает, что равновесие по Нэшу в игре заполнения оказывается близким к социальному оптимуму, и никаких механизмов перераспределения в этом случае продумывать не требуется. Выявление таких ситуаций может происходить благодаря вычислению цены анархии, то есть отношения совокупной стоимости используемых ресурсов в случае равновесного по Нэшу распределения игроков к той же стоимости, но в случае социально оптимального распределения.

В исследовании рассматривается игра заполнения с ограничениями на поток. Мы формулируем соответствующую игру и исследуем закономерности в изменениях значений цены анархии при варьировании величины совокупного числа игроков. Если обычно в игре заполнения задано совокупное число игроков, а поток игроков, распределяемый на каждую из альтернатив, вообще говоря, ничем не ограничен, то в рассматриваемой постановке поток игроков может быть ограничен сверху как для каждой из доступных альтернатив, так и в совокупности. Таким образом, варьируя величину совокупного числа игроков, мы стремимся установить, в каких случаях равновесное распределение игроков в рассматриваемой игре близко к социальному оптимуму, а в каких может существенно отклоняться от него; мы получаем как аналитические, так и числовые оценки. Помимо общей формулировки игры заполнения с ограничениями на поток и исследования пространства её решений также приведены примеры реальных практических ситуаций, которые могут быть описаны и смоделированы при помощи такой игры.

Основная часть данного подраздела представлена в Приложении В.

2.6 Достаточность в задаче оптимизации топологии сети

В общем случае, задача оптимизации топологии сети состоит в том, чтобы для заданного множества вершин и соединяющих их рёбер найти такие изменения сети, которые приведут к улучшению её характеристик в некотором заранее определенном смысле. Данная часть исследования концентрируется на одной из первых постановок задачи оптимизации топологии сети, формулируемой в виде игры Штакельберга [46]. В рамках такой постановки, лидер инвестирует в пропускные способности элементов сети, стремясь минимизировать среднее время движения, при условии равновесного распределения потоков на нижнем уровне. Возникновение соответствующей модели связано с тем, что во многих транспортных сетях пользователи ведут себя независимо и конкурентно.

Действительно, участники движения в улично-дорожных сетях конкурируют за

лучшие маршруты, потоки грузов оказывают взаимное влияние на издержки друг друга при движении через единую транспортно-логистическую сеть, даже распределение потоков сигналов в беспроводных сетях можно рассматривать как потенциальную игру. Таким образом, поскольку менеджеры сложных сетей, зачастую, не могут непосредственно влиять на поведение конкурирующих между собой пользователей (единиц потока), им приходится добиваться улучшений в функционировании сети через воздействие на её топологию, в частности, на пропускные способности её элементов.

Актуальность задачи оптимизации топологии сети для области транспортного планирования обусловлена продолжающимся ростом спроса на транспортные сети при ограниченности ресурсов, которые могут быть вложены в их улучшение. Исторически, задача формулировалась двумя способами: как дискретная, то есть позволяющая работать с добавлением новых дуг к существующей сети, и непрерывная, то есть направленная на поиск оптимальных действий на пропускные способности существующих дуг. В любой из двух формулировок целью решения задачи является оптимизация заданной меры эффективности сети, например, минимизация общих временных затрат в условиях конкурентного поведение пользователей сети при выборе маршрутов движения. При такой постановке, естественным образом возникает двухуровневая задача оптимизации, поскольку решения, принимаемые менеджерами сети в условиях ограниченности ресурсов, влияют на поведение пользователей сети, которое обычно описывается моделью равновесного распределения потоков в виде задачи условной нелинейной оптимизации. В силу своей иерархической структуры, задача оптимизация топологии сети была признана исследователями одной из самых сложных, но в то же время наиболее захватывающих задач в области транспортного планирования. Последние 40 лет большое количество ученых подходили к исследованию задачи и разработке методов её решения с разных сторон [47-49].

Согласно литературе, на сегодняшний момент, большинство исследований в данной области сконцентрированы на непрерывной задаче оптимизации топологии сети. При этом, насколько нам известно, впервые непрерывная задача оптимизации топологии сети была сформулирована в виде задачи двухуровневой оптимизации на рубеже 1960-1970-х годов. Как правило, задачи двухуровневой оптимизации сложны для решения и требуют разработки специальных методов и подходов. Среди первых подходов к решению непрерывной задачи оптимизации топологии сети выделяется подход, основанный на сведении двухуровневой задачи к одноуровневой, что позволяет решать изначальную задачу существующими сходящимися методами. Действительно, задача равновесного распределения потоков нижнего уровня, например, может быть сведена к набору

ограничений на переменные величины потоков по маршрута. В таком случае, непрерывная задача оптимизации топологии сети может быть решена методами решения задач условной минимизации. Однако, количество возможных маршрутов движения между каждой парой узлов отправления-прибытия в реальных сетях огромно, а значит задача построения требуемого набора ограничений на переменные величины потоков по маршрутам сама по себе является трудно реализуемой вычислительной задачей, что делает предложенный подход пригодным только лишь для небольших гипотетических сетей.

Существуют подходы к решению непрерывной задачи оптимизации топологии сети путём сведения её к одноуровневой задаче за счёт представления модели равновесного распределения потоков через вариационные неравенства. Такой подход срабатывает для небольших сетей, но уже для умеренно больших набор ограничений может стать огромным и неразрешимым. Другой подход позволяет представить задачу нижнего уровня одним ограничением, благодаря так называемой маржинальной функции, но, к сожалению, это единственное ограничение оказывается невыпуклым, что затрудняет поиск глобального оптимума в исходной задаче. Исследователями также представлены подходы сведения задачи оптимизации топологии сети к задаче выпуклого программирования с помощью неявного задания связи между целевыми функциями верхнего и нижнего уровней, но работоспособность алгоритмов для решения полученной задачи продемонстрирована только на очень малых сетях, а оптимум ищется приближено. Многие исследователи подходили к этой задаче с использованием приближенных представлений реакции нижнего уровня на воздействия верхнего. Наиболее распространенной среди таких представлений является аппроксимация первого порядка, полученная изначально для целей анализа чувствительности равновесного распределения потоков к незначительным изменениям пропускных способностей [50; 51].

Идея аппроксимация реакции нижнего уровня на воздействия верхнего оказалась востребованной, поскольку на ее основе можно разрабатывать различные проекционные методы решения. Действительно, приближение первого порядка позволяет эффективно находить точки локального оптимума за счет применения градиентного спуска. Подобные методы продемонстрировали хорошую сходимость к локальным оптимумам, но не смогли справиться с поиском глобального. Исследователи полагали, что множественные локальные оптимумы возникают вследствие невыпуклости задачи оптимизации топологии сети. В то же время, недавние результаты показали, что, по крайней мере, на малых сетях получаемые проекционными методами локальные оптимумы довольно близки к глобальному. Среди свежих идей по поиску глобального оптимума в задаче оптимизации топологии сети можно отметить идею применения обобщенного геометрического

программирования. Однако, вновь работоспособность такого подхода продемонстрирована только на малых гипотетических сетях. При этом, в 2017 году вышла работа, в рамках которой наконец была исследована вычислительная сложность непрерывной задачи оптимизации топологии сети и было показано, что задача является строго NP-полной и APX-трудной [52]. Более того, было доказано, что в случае одного истока решение задачи может быть получено за полиномиальное время.

Несмотря на многочисленные исследования непрерывной задачи оптимизации топологии сети, до сих пор существуют открытые вопросы. В частности, мало изучен вопрос об условиях оптимальности, которым с необходимостью или достаточностью должны удовлетворять решения задачи оптимизации топологии сети. Действительно, подавляющее большинство исследований в данной области сосредоточено на поиске алгоритмов решения исходной двухуровневой задачи с опорой на необходимые условия оптимальности, например, для преобразованной одноуровневой задачи оптимизации. Однако, как показали недавние результаты, существуют условия, которым с необходимостью должны удовлетворять решения самой исходной двухуровневой задачи оптимизации, полученные для специального вида сетей [53]. При этом, условий достаточности для рассматриваемой задачи, насколько нам известно, в литературе вовсе не представлено.

Основная часть данного исследования представлена в Приложении Г.

2.7 Адаптация алгоритмов машинного перевода к лингвистическим условиям восприятия текстов

В сфере перевода текстов ИИ стал необходимым инструментом, который открыл новые возможности работы с текстом. Последовательно, в течение последних десятилетий совершенствовались технологии адаптации алгоритмов машинного перевода, ИИ выявил новые актуальные потребности в переводе не только научно-технической литературы, но и распознаванию семантики текстов в художественном переводе. Оказалось, что математические методы, успешно применяемые в машинном переводе, принципиально отличаются от технологии перевода человеком и, при переводе художественных текстов или синхронном переводе часто существенным образом искажают содержание текста. Модели ИИ токенизация, лемматизация, удаление стоп-слов, синтаксический анализ, семантический анализ, принципиально отличаются в технологии распознавания и понимания смысла. Усложнение моделей позволило расширить возможности перевода, улучшить точность и повысить способность систем улавливать культурную и эмоциональную целостность текстов. Модели seq2seq и transformer позволили реагировать

на сложные лингвистические структуры, грамматики, синтаксис и обрабатывать большие словарные базы данных. Всё чаще модели машинного обучения стали обучать не только на моделях лингвистических данных, но и учитывать культурно-специфические особенности.

Системы ИИ научились распознавать эмоции и контекст исходного текста в языках, в которых удалось запрограммировать элементы тональности текста. Однако если использовать полученные алгоритмы и модели применительно к текстам на других языках, которые отличаются грамматическим строем, то контексты не улавливаются. Более того, даже в исходных языках (англ., нем.). Не удается распознавание силы эмоций. Например, даже если в английском языке несколько раз в предложении употребляется слово нет, то это не показатель отрицательного или агрессивного контента. Профессиональные синхронисты отмечают, что даже интонация, а не частотность или слово, могут стать ведущими в понимании контекста. В работе [54] показано, как улучшались техники перевода и отмечено, что ошибок избежать не удается. Ошибки в дословном переводе, идиомы и метафоры, переведенные без контекста, все основываются на неучете культурного контекста. Глубокое обучение может решить данную проблему.

Особый случай, который стал особенно актуален в связи с расширением применения ИИ это не столько культурный, сколько этический контекст перевода. Грубость и хамство в текстах, составленных ИИ стали мемами в сети. Адаптация для работы в конкретных условиях требует специализированных баз данных, учитывающих не только культурный контекст, но и прецедентные тексты, юридическую и религиозную контекстную базу данных, основы тона переводов к печатному виде, которые могут быть получены как из печатных, так и видео материалов определенных культур. Контекстные зависимости в этическом контексте могут быть получены при учете обстоятельств, в которых формируются текст. В качестве обстоятельств для этики учитываются культурные коды эпохи, времени и места, которые различаются у поколений, у социальных групп, у профессиональных сообществ, у групп в социальных сетях, у СМИ и т. п. Чтобы учесть все обстоятельства модель ИИ должна обладать возможностью внесения исходных ограничений в модель достаточно простым способом и возможностью находить необходимые для обучения примеры по заданному образцу.

Однако существует опасность применения в моделях предвзятого или навязанного автором модели детонации и коннотации как знакам, так и текстам в целом. Пример тому автоматическое изменение текста в поисковой строке википедии по политическим мотивам, переиндексация контента на «вольный» перевод владельца программы, прецедентное изменение контекста фразеологизма, а также зависимость перевода от стиля

и тематики исходного текста. В таком случае проблема «новой» этики проявляется в невозможности прямого смыслового перевода и требовании «сгладить» шершавости в угоду правилам «хорошего тона» или дипломатического этикета. В данном случае можно предложить механизм совершенствования модели «Attention is all you need», где механизм внимания направить не на части входной последовательности, на которых нужно сосредоточиться для генерации каждого слова выходной последовательности, а на принципиально новых форматах лексикографических данных electronic lexicography и их применения и взаимодействия со смежными ресурсами.

Практика функционирования естественных языков за последние десятилетия наполнилась новыми пространствами. Виртуальная и дополненная реальность сформировали новые условия для бытия культуры и заложили основы для появления новых типов коммуникации, которые стали генерировать новые смыслы в, казалось бы, устойчивых, традиционных ситуациях. Ситуации общения, которые в понимании психологов и социологов должны происходить только при прямом взаимодействии людей, стали сопровождаться не только техническими посредниками в виде экранов мониторов и телефонов, но и акторы общения стали заменяться на виртуальных аватаров [55], а тексты для коммуникации стал составлять искусственный интеллект. Система построения алгоритма составления текстов ИИ имеет в своем основании закономерности, полученные в процессе совершенствования систем машинного перевода текстов и систем распознавания речи, поэтому при синтезировании речи предполагается, что система ИИ учитывает когнитивно-коммуникативные особенности естественного языка, связанные с национальными и культурными традициями общения, эмоциональными и конвенциональными правилами отражения отношения к предмету общения через лексику и грамматику. При этом языковая картина мира постоянно претерпевает изменения под воздействием как межкультурной коммуникации, так и под давлением информационных технологий. Это воздействие сдвигает конвенциональные правила в сторону технологичности и во многих случаях убирает «навигационные» знаки культуры в языке. Понятие адекватности текста становится зависимым не от качества воссоздания эмоционально-смысловых доминант текста, а от виртуозности математического аппарата, передающего семантическое поле естественного языка. В текстах ИИ появляются и становятся устойчивыми выражения, наиболее часто встречающиеся в информационном поле исходного естественного языка [56], но не соответствующие экспрессивно-оценочной ситуации времени и места воздействия языка на коммуникантов. В данном аспекте, актуальным становится поиск возможности изменения или адаптации алгоритмов машинного перевода ИИ к этническим и культурным нормам, в целом к этике времени для

адекватного восприятия текстов коммуникантами. Целью работы является выявить взаимное влияние машинного перевода и искусственного интеллекта на передачу лингвистических характеристик текста и их адаптации к этическим нормам восприятия текстов. Достичь данной цели возможно в процессе решения задач определения необходимых граничных условий для обучения нейронных сетей этике и традициям определенного естественного языка, а также задачи синхронизации изменений данных правил в алгоритме ИИ с динамикой изменений естественного языка.

История машинного перевода и отработки алгоритмов перевода «с» и «на» разные языки привлекает большое количество исследователей. Это связано как с разнообразием языков, так и с разнообразием траекторий принятия систем машинного перевода людьми. Первыми были личные исследования переводчиков-синхронистов, которые стали «тестировщиками» машинных алгоритмов в «полевых» условиях. Это и исследования концепций развития интеллектуальных машин, которые не планировались для машинного перевода текстов с других языков, а развивали методы обработки естественных языков (ОЕЯ, или natural language processing, NLP). Но развитие исчислений и устройств для преобразования языка эволюционным путем соединились с идеями преобразования иностранных текстов для устранения препятствий общения. Идея Петра Троянского воплощенная в «машину для подбора и печатания слов при переводе с одного языка на другой», стала прототипом для последующего совершенствования машинного перевода от машины для подбора слов, до машины перевода «по правилам» – грамматическим, словарным, морфологическим, семантическим и синтаксическим (Rule-Based Machine Translation, RBMT) (его также называют классическим). Не перечисляя достоинства и недостатки модели, отметим полноту охвата текстов, используемых для составления словарей, которые позволили преобразовать модель в статистический перевод (Statistical Machine Translation, SMT), которая хотя и позволила получать «более гладкий перевод», но результат стал более непредсказуемым, чем при предыдущей модели.

Вероятностный метод построения перевода и статистические модели развивались дальше, позволяя извлекать из текстов информацию с тональностью, создавать корпуса текстов, а также помогли в разработке новых методов алгоритмов машинного обучения метод опорных векторов (SVM), AdaBoost, XGBoost и другие. Последовательно, в течение нескольких десятилетий совершенствование технологий и алгоритмов машинного перевода все же не давало нужного качества перевода и использование нейронных сетей стало необходимым инструментом, который открыл новые возможности работы с текстом.

В 2010 годах появляются большие языковые модели BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) и GPT (Generative Pretrained Transformer), и модель

машинного перевода на основе трансформеров Transformerbased Machine Translation, которые запустили процессы обработки корпусов текстов и сформировали основные закономерности обработки, которые и генерируют большинство ошибок перевода. В синхронном переводе текстов выявились достаточно много проблем, связанных с недостаточностью словарного запаса машины, по сравнению с человеком, неумением использования контекстов, а также проблемами самих алгоритмов seq2seq («последовательность за последовательностью») и transformer.

В подходе seq2seq используется механизм, основанный на идеи, что при переводе для получения итогового слова перевода не обязательно использовать все слова исходной последовательности, обычно необходимо знать лишь несколько слов, что часто приводит к ошибкам. Механизм статистической оценки частоты слов и вычисления значимости на этой основе потребовал совершенствования алгоритма к модели внимания к внутренним характеристикам – особенностям языка и предметной области.

Transformer – это усовершенствованная модель seq2seq, полностью настроенная на выявление глобальных зависимостей между входными и выходными данными. Модель позволяет оценивать влияние каждого слова в предложении независимо от их расположения в предложении и получать более точный перевод. В результате трансформеры обеспечивают более точный перевод, учитывающий даже идиоматические выражения. В следствие масштабные языковые модели ИИ для машинного перевода стали началом «кошмара» синхронистов и преподаватели иностранных языков. Системы машинного перевода стали выдавать шаблонные переводы независимо от того, что это «священное писание или юридический документ». Способность ИИ адаптировать и контекстуализировать культурные и эмоциональные элементы текста оказалась недостаточной.

Для того, чтобы определиться с направлением совершенствования алгоритмов, потребовалось выйти на уровень понимания перевода с позиции переводчиков-синхронистов. Следовало учесть, что «просто обучающие наборы данных» из разнообразных текстов не смогут сформировать внимание к логике текста, нешаблонным выражениям, эмоциональности автора текста и не смогут заменить опыт принятия решений переводчиком. Не менее важным является и этический аспект текстов, сгенерированным ИИ. Эмотивную функцию можно сгладить использованием эмотивной лексики, присутствующей в системе, но композиционное обобщение аналогий, сравнений, метафор, оксюморона, игры слов, шуток и других языковых выражений, влияющих на выражение уважения, достоинства, деликатности и других показателей этического отношения к собеседнику ИИ пока не способен. Таким образом, целью данного исследования является

анализ алгоритмов ИИ, которые могут считывать контекст всего текста, а не отдельного предложения, и могли бы быть обучены выбирать контекст в зависимости от этики области перевода. Для достижения поставленной цели потребуется проанализировать постановку задачи для ИИ в режиме «Attention is all you need», проверить механизм внимания на word alignment (на пословное соответствие в текстах на разных языках), определить, насколько уровни внимания принимают этические исключения.

В сфере перевода текстов математические методы принципиально отличаются от технологий перевода человеком и, при переводе художественных текстов или синхронном переводе часто существенным образом искажают содержание текста.

В качестве моделей были определены уже обученные LLM – Gemini 2.0, Claudy 3.7, o3 mini, ChatGPT 4o и deepseek r1, способные осуществлять перевод в реальном времени или с минимальной временной задержкой, а также обладающие анализом контента по заявлениям разработчиков. Для чистоты эксперимента как минимум 2 LLM задавались рандомно, чтобы увидеть, возможно, самые удачные, т. к. проверить все существующие и обученные на данный момент системы возможно только в автоматическом режиме, что опять же может нарушить чистоту эксперимента вследствие наличия дополнительного программного кода.

Модель «Attention is all you need», преобразует входную последовательность слов в последовательность векторов состояний, генерирует выходную последовательность слов на основе векторов состояний и контекста, полученного с помощью механизма внимания и с помощью механизма внимания определяет, на какие части входной последовательности нужно сосредоточиться для генерации каждого слова выходной последовательности. Данный алгоритм был использован для установления первичных ограничений на выбор текстов для перевода и формулирования заданий для моделей ИИ.

Для эксперимента из тематик были исключены политика (как изначально концентрирующая модели ИИ к «определенному» типу внимания к текстам), медицина (как область, требующая разрешения работы с персональными данными, и, автоматически, ограниченная по профессиональной этике) и экология (как хайповая тема, имеющая глобальные различия по эмоциональным языковым высказываниям у разных культур). В процессе выполнения заданий анализировались ответы ИИ, корректировалось задание и определялось, насколько ИИ смог определить закодированный контекст текста и не выйти за рамки этики предметной области текста.

Грубость и хамство в текстах определялись исходя из словарных определений выражений (e-dictionaries). В качестве обстоятельств для оценки этики учитывался культурный код эпохи, времени и места, которые различаются у поколений, у социальных

групп, у профессиональных сообществ, у групп в социальных сетях, у СМИ и т.п. Чтобы учесть все обстоятельства, в задание для модели ИИ были внесены исходные ограничения.

В качестве базового «промта» (задания) был дан алгоритм перевода с учётом максимально нейтрального высказывания, чтобы избежать отхода ответа в исключенные области (политика, здоровье, экология). Три из используемых систем выдали предупреждение, что они не делают политический перевод и попросили сформулировать запрос с учетом ограничений. В итоге получилось задание:

«Переведи предложения с английского на русский максимально нейтрально по тональности, сохранив смысл, аудитория простая, поэтому сложных терминов надо избегать.

Many Conservatives in Canada view Kyoto Protocol as a “job-killing, economy-destroying” pact.

The minister of culture was once woundingly described as “being in office but not in power”«

Rhea-AI <https://www.stocktitan.net/rhea-ai.html>

Ответ 1

Вот нейтральный перевод предложений с сохранением смысла и простоты:

«Многие консерваторы в Канаде считают Киотский протокол соглашением, которое «убивает рабочие места и разрушает экономику» (дословно: «job-killing, economy-destroying» передано как «убивает рабочие места и разрушает экономику», чтобы сохранить эмоциональную оценку, но избежать сложных терминов)».

«Министра культуры однажды язвительно описали фразой: «занимает должность, но не имеет реальной власти». (Выражение «being in office but not in power» переведено максимально близко к оригиналу, с адаптацией под естественный русский язык. Слово «язвительно» заменяет «woundingly», чтобы передать негативный оттенок, но без излишней резкости)».

Chatgpt-4o-latest-20250129 <https://x.com/fun000001/status/1890695445933871242>

Ответ 2

«Многие консерваторы в Канаде считают Киотский протокол соглашением, которое лишает людей работы и наносит вред экономике».

«Министра культуры когда-то резко описали как человека, который занимает должность, но не имеет реальной власти».

Gemini-2.0-pro-exp-02-05 <https://openrouter.ai/google/gemini-2.0-pro-exp-02-05:free>

Ответ 3

«Многие консерваторы в Канаде считают Киотский протокол соглашением, которое «уничтожает рабочие места и разрушает экономику». (Вместо «pact» (договор, пакт), используется более общее слово «соглашение»).

«Министра культуры однажды обидно охарактеризовали как человека, который «занимает должность, но не имеет власти». (Вместо «woundingly» (ранимо), используется более понятное «обидно». Вместо кальки «в офисе, но не у власти», использовано «занимает должность, но не имеет власти»)».

Claude-3-7-sonnet-20250219 <https://www.anthropic.com/news/clause-3-7-sonnet>

Ответ 4

«Многие консерваторы в Канаде считают Киотский протокол соглашением, которое «убивает рабочие места и разрушает экономику».

«О министре культуры однажды болезненно отзвались, что он «занимает должность, но не обладает властью».

Рекомендуемый перевод от реального человека:

«Многие канадские консерваторы считают, что Киотский протокол это соглашение, которое только усугубляет безработицу и подрывает экономику».

«Про министра культуры как-то сказали, что «должность у него есть, а власти нет». И сказали недобро».

Во всех случаях система перевела выражения в кавычках максимально дословно, считая что это цитата, пытаясь взять в контекст эмоциональное высказывание, игнорируя задание, в котором содержалось ограничение по переводу – сделать высказывание эмоционально нейтральным.

Следующим шагом было усложнение промта и заданного фрагмента текста, чтобы проверить, как различные системы справятся на больших объемах данных, смогут ли учитывать контекст большого высказывания. За основу взято выступление Том Уиес на Ted в 2010 году. Выбор материала обусловлен включением данной речи во многие обучающие курсы, в частности можно найти транскрипт с аннотациями в National Geographic Learning, как пример в одной из редакций книг по ораторскому искусству самого Ted talks и т.д. Плюс включение данного текста в одну из последних практических книг по синхронному переводу А.Фалаллева [57], позволило распространить именно эту речь среди студентов переводчиков – синхронистов и получить различные версии «живого» перевода.

Промт изменили:

«Переведи предложения с английского на русский максимально нейтрально по тональности, сохранив смысл, аудитория простая, поэтому сложных терминов надо избегать. Представь, что ты переводишь в реальном времени как переводчик-синхронист.

Several years ago here at TED, Peter Skillman introduced a design challenge called the marshmallow challenge. And the idea's pretty simple: Teams of four have to build the tallest free-standing structure out of 20 sticks of spaghetti, one yard of tape, one yard of string and a marshmallow. The marshmallow has to be on top. And, though it seems really simple, it's actually pretty hard because it forces people to collaborate very quickly. And so, I thought this was an interesting idea, and I incorporated it into a design workshop. And it was a huge success. And since then, I've conducted about 70 design workshops across the world with students and designers and architects, even the CTOs of the Fortune 50, and there's something about this exercise that reveals very deep lessons about the nature of collaboration, and I'd like to share some of them with you».

Gemini-2.0-pro-exp-02-05 <https://openrouter.ai/google/gemini-2.0-pro-exp-02-05:free>

Ответ 1

«Несколько лет назад, здесь, на TED, Питер Скилман представил дизайнерское задание под названием «Зефирное испытание». Идея довольно проста: команды из четырех человек должны построить самую высокую отдельно стоящую конструкцию из двадцати палочек спагетти, метра скотча, метра веревки и одной зефирки. Зефирка должна быть наверху. И, хотя это кажется очень простым, на самом деле это довольно сложно, потому что заставляет людей очень быстро работать вместе. Итак, я подумал, что это интересная идея, и включил ее в семинар по дизайну. И это был огромный успех. И с тех пор я провел около 70 семинаров по дизайну по всему миру со студентами, дизайнерами и архитекторами, и даже с техническими директорами компаний из списка Fortune 50, и в этом упражнении есть что-то, что раскрывает очень глубокие уроки о природе сотрудничества, и я хотел бы поделиться некоторыми из них с вами».

Claude-3-7-sonnet-20250219 <https://www.anthropic.com/news/clause-3-7-sonnet>

Ответ 2

«Несколько лет назад здесь на конференции TED Питер Скилман представил задачу по дизайну, которая называется «испытание зефиром». Идея довольно проста: команды из четырех человек должны построить самую высокую конструкцию, которая стоит сама по себе, используя 20 палочек спагетти, метр скотча, метр веревки и зефир. Зефир должен быть наверху. И хотя это кажется очень простым, на самом деле это довольно сложно, потому что заставляет людей быстро работать вместе. Я подумал, что это интересная идея, и включил её в свой семинар по дизайну. Это был огромный успех. С тех пор я провел около 70 семинаров по дизайну по всему миру со студентами, дизайнерами, архитекторами и даже с техническими директорами из списка 50 крупнейших компаний. В

этом упражнении есть что-то, что показывает очень глубокие уроки о природе совместной работы, и я хотел бы поделиться некоторыми из них с вами.

Sparrow <https://sparrow-platform.com/AI.html>

Ответ 3

«Несколько лет назад здесь, на TED, Питер Скиллман представил проект под названием «Зефирный вызов». Идея очень проста: команды из четырёх человек должны построить самую высокую свободно стоящую конструкцию из 20 палочек спагетти, одного метра скотча, одного метра веревки и зефира. Зефир должен находиться сверху. И хотя это кажется очень простым, на самом деле это довольно сложно, потому что это заставляет людей работать вместе очень быстро. И я подумал, что это интересная идея, и включил её в один из своих дизайнерских семинаров. И это было огромным успехом. С тех пор я провел около 70 дизайнерских семинаров по всему миру со студентами, дизайнерами, архитекторами и даже техническими директорами компаний Fortune 50. И в этом упражнении есть что-то, что раскрывает очень глубокие уроки о природе сотрудничества, и я хотел бы поделиться некоторыми из них с вами».

Gpt-4o-mini-2024-07-18 <https://platform.openai.com/docs/models/gpt-4o-mini>

Ответ 4

«Несколько лет назад на конференции TED Питер Скиллман представил дизайнерский вызов, который называется «вызов с маршмеллоу». Идея довольно проста: команды по четыре человека должны построить самую высокую свободно стоящую конструкцию из 20 палочек спагетти, одного ярда скотча, одного ярда нитки и маршмеллоу. Маршмеллоу должно быть сверху. Хотя это кажется очень простым, на самом деле это довольно сложно, потому что заставляет людей быстро сотрудничать. Мне показалась интересной эта идея, и я включил её в дизайнерский семинар. Это оказалось большим успехом. С тех пор я провел около 70 дизайнерских семинаров по всему миру со студентами, дизайнерами и архитекторами, даже с техническими директорами компаний из списка Fortune 50. В этом упражнении есть что-то такое, что открывает очень глубокие уроки о природе сотрудничества, и я хотел бы поделиться некоторыми из них с вами».

Deepseek r1 <https://huggingface.co/deepseek-ai/DeepSeek-R1>

Ответ 5

«Несколько лет назад на TED Питер Скиллман представил задание под названием «Зефирное испытание». Суть проста: команды из четырёх человек должны построить самую высокую устойчивую конструкцию из 20 палочек спагетти, ярда скотча, ярда верёвки и зефира. Зефир должен находиться на вершине. Хотя кажется, что это легко, на деле задание сложное — оно заставляет людей быстро взаимодействовать. Мне эта идея

показалась интересной, и я добавил её в программу своего учебного семинара по дизайну. Результат превзошёл ожидания. С тех пор я провёл около 70 таких семинаров по всему миру со студентами, дизайнерами, архитекторами и даже техническими директорами крупных компаний из списка Fortune 50. Это упражнение раскрывает важные уроки о сути совместной работы, и я хочу поделиться некоторыми из них с вами».

Grok-3-preview-02-24 <https://x.ai/news/grok-3>

Ответ 6

«Несколько лет назад здесь, на TED, Питер Скиллман представил задачу по дизайну, которая называется «вызов с зефиром». Идея довольно простая: команды из четырёх человек должны построить самую высокую отдельно стоящую конструкцию из 20 палочек спагетти, одного метра скотча, одного метра верёвки и зефира. Зефир должен быть на вершине. Хотя это кажется очень простым, на самом деле это довольно сложно, потому что заставляет людей быстро работать вместе. Мне показалось, что это интересная идея, и я включил её в мастер-класс по дизайну. Это был огромный успех. С тех пор я провёл около 70 мастер-классов по дизайну по всему миру со студентами, дизайнерами, архитекторами и даже техническими директорами крупнейших компаний из списка Fortune 50. В этом упражнении есть что-то, что раскрывает очень важные уроки о природе совместной работы, и я хотел бы поделиться некоторыми из них с вами».

Ответ, приведенный в книге А. Фалалеева [57]:

«Здесь как-то выступал Питер Скиллмэн. Рассказывал про конкурс для конструкторов. Называется «Зефирина». Простая идея: несколько команд по четыре человека. Задача – построить высокую башню. Материалы – 20 макаронин, метр скотча, метр бечевки и зефирина. Зефирина помещается сверху. Задача сложная: команда должна действовать быстро и слаженно. Мне идея понравилась. Решил проверить ее на своем семинаре для конструкторов. Успех был потрясающим. С тех пор я использовал ее раз 70. По всему миру. На семинары приходят учащиеся, конструкторы, архитекторы. Даже ведущие инженеры крупнейших корпораций. Конкурс выявляет главное: команда должна быть сплоченной».

Так как наиболее «человечным» оказался перевод от Grok-3, добавлен перевод уже стабильной версии.

Grok-3-preview-02-24 <https://x.ai/news/grok-3>

Ответ 7

«Несколько лет назад здесь, на TED, Питер Скиллман представил задачу по дизайну, которая называется «испытание с зефиром». Идея довольно простая: команды из четырёх человек должны построить самое высокое отдельно стоящее сооружение из 20 палочек

спагетти, одного ярда скотча, одного ярда верёвки и одного зефира. Зефир должен быть сверху. Хотя это кажется очень простым, на самом деле это довольно сложно, потому что заставляет людей быстро сотрудничать. Мне показалась эта идея интересной, и я включил её в мастер-класс по дизайну. Это был большой успех. С тех пор я провёл около 70 мастер-классов по дизайну по всему миру со студентами, дизайнерами, архитекторами и даже техническими директорами компаний из списка Fortune 50. В этом упражнении есть что-то, что открывает очень важные уроки о природе сотрудничества, и я хотел бы поделиться некоторыми из них с вами».

В целом ни одна из систем ИИ при использовании промта (задания) без дополнительных ограничений не смогла решить задачу максимально нейтрального перевода. Основную проблему составил перевод контекста, представленного специфической лексикой из разряда окказионализмов или неологизмов, возникающих в процессе живой речи. В текстах успешно использован метод токенизации (выделения отдельных слов) при дословном переводе, лемматизация (приведение языковой единицы к начальной форме). Удаление стоп-слов не производилось, поскольку не было задано в промте. Синтаксический и семантический анализ производились формально. Это не только трудности корректного считывания контекста и полная невозможность установления экстралингвистического контекста. Можно предположить, что правки производились в ограниченном объеме, так как на сегодняшний день есть проблемы по обучению переводу моделей именно на русском языке. Фактически на текущий момент требуется пройти несколько стадий дообучения, таких как дообучение распознаванию и интерпретации окказионализмам и неологизмам, которое пока что без учителя не представляется возможным, т.к. глубокое обучение, применяются для обучения моделей на текстовых корпусах, аннотированных с точки зрения эмоционального содержания, корректировки интенсивности эмоций при переводе в соответствии с культурными ожиданиями в отношении эмоционального выражения. Окказионализмы и неологизмы возникают в живой речи спонтанно и требуют анализа всей речевой ситуации и окружения в целом. Решить проблем можно средствами электронной лексикографии – electronic lexicography, которая занимается не только лексическим обеспечением ИИ, но и расширением взаимодействия со смежными ресурсами, добиваясь состояния DIKIW: Data, Information, Knowledge, Intelligence, Wisdom [58]. Такой подход позволит совместить не только языковые модели, но и модели неверbalной коммуникации определенной культуры, модели эквивалентов и контекстно подходящих фраз.

Если речь идет о синхронном переводе, то потребуется обучение распознавания эмоций для настройки тона переводов, гарантируя, что тон и терминология будет

соответствовать профессиональному уровню аудитории. В качестве варианта предлагается использовать адаптивные алгоритмы, которые показывают хорошие результаты в распознавании эмоций, но испытывала трудности с более тонкими чувствами и сложными эмоциональными сценариями [54]. В данном случае возникают проблемы этического характера, связанные с невозможностью отличить отдельные эмоциональные маячки для различных человеческих состояний по набору параметров, например одиночества в голосе людей [59], потому что замена человеческого общения на общение с ИИ может стимулировать развитие того самого одиночества.

Оценивая варианты перевода разными моделями ИИ, требуется понимание особенностей алгоритмов, используемых при переводе текстов. Современные нейросети могут «самостоятельно» устанавливать соответствия слов и контекстов через адекватный выбор источников данных для обучения. В текстах ищется максимальное количество контекстов, фиксируется частотность употребления в определенном контексте или используется коэффициент PPMI (Positive Pointwise Mutual Information – коэффициент положительной попарной взаимной информации), который показывает уровень рандомности употребления слова в определённом контексте [60]. Проблема состоит уже не в поиске, а в выборе контекста, который может меняться в зависимости от кода эпохи, а также определяться политическими социальными группами, уровнем знания иностранного языка профессиональных сообществ и т.п. Проблемой может быть графическое заимствование терминов и словарных выражений из другого языка, и приданье им собственного смысла, например, как это принято в китайской культуре, но ИИ уже обучен и «неэтичные» переводы названий распространится мемами по Интернету.

Для адаптации алгоритмов машинного перевода к лингвистическим характеристикам, заданным пользователями, можно использовать несколько методов. Самым простым видится обучение на эталонных текстах, созданных людьми. Такая методика используется при работе с метрикой BLEU [61] (Bilingual Evaluation Understudy), которая использует в качестве входных данных список предполагаемых предложений и список списков эталонных предложений (каждое предполагаемое предложение может иметь несколько эталонных). Проблема заключается в том, что современная «новая» этика не предполагает наличия общих эталонов. Даже в дипломатическом дискурсе наблюдается глобальное нарушение эталонов, а сфера маркетинга и рекламы полностью перекраивает языковые правила. Особенно сложно работать с такой методикой в рамках рекомендательных алгоритмов, когда предлагается наиболее употребительное выражение, присутствующее в сети, а не этalon.

Для повышения качества переводов с помощью ИИ можно использовать усовершенствованное обучение – метод, при котором система ИИ обучается принимать решения на основе обратной связи с предыдущими результатами. Однако существует опасность применения в моделях предвзятого или навязанного автором модели детонации и коннотации как знакам, так и текстам в целом. Пример тому автоматическое изменение текста в поисковой строке Википедии по политическим мотивам, переиндексация контента на «вольный» перевод владельца программы, прецедентное изменение контекста фразеологии, а также зависимость перевода от стиля и тематики исходного текста. В случае с переводом это означает корректировку параметров модели, когда она получает сигналы о том, что результат не соответствует ожидаемому качеству, что постепенно приводит к контекстно-зависимому переводу, не соответствующему реальности.

Развитие больших языковых моделей (LLM) существенно расширило возможности машинного перевода, повысив его точность и способность передавать культурную и эмоциональную целостность исходных текстов. Современные системы ИИ, основанные на архитектуре Transformer, демонстрируют эффективность в распознавании семантико-стилистических маркеров (тональности, модальности, лексических регистров) в языках, для которых разработаны соответствующие алгоритмы анализа (например, английский, немецкий). Однако сохраняются системные ограничения:

Межъязыковая несовместимость: при применении обученных моделей к языкам с типологически иной грамматической структурой (например, переход от флексивных языков к агглютинативным или изолирующим) алгоритмы утрачивают способность к адекватному контекстуальному анализу. Это связано с различиями в способах выражения синтаксических и семантических связей, не учитываемых attention-механизмами стандартных LLM.

Неполнота эмоционального анализа: даже в исходных языках модели не способны дифференцировать интенсивность эмоций (например, отличать «раздражение» от «гнева» или «удовлетворённость» от «восторга»), поскольку обучающие датасеты редко содержат аннотации с градуированной шкалой эмоциональной силы, которая будет понятна для ИИ.

Конфликт между семантической точностью и «новой этикой»: Требования кнейтрализации потенциально «конфликтных» формулировок (например, гендерно-чувствительных выражений, политически окрашенной лексики) противоречат принципу прямого смыслового перевода, что приводит к искажению авторской интенции.

Для преодоления указанных ограничений предлагается модификация архитектуры Transformer путём переориентации механизма внимания на интеграцию с динамическими лексикографическими ресурсами. В отличие от классической модели «Attention is all you

need», где внимание фокусируется на сегментах входной последовательности, новый подход предполагает:

Использование электронных тезаурусов (например, WordNet, BabelNet) и корпусов параллельных текстов для выявления кросс-языковых семантических связей.

Внедрение контекстно-ориентированных attention-слоёв, анализирующих экстралингвистическую информацию (социокультурные маркеры, исторические коннотации лексем) через подключение внешних баз знаний.

Обучение моделей на датасетах с аннотированной эмоциональной интенсивностью (например, EmoBank) для различения градаций чувств.

Всё это позволит выявить новые ограничения и поставить задачи для дальнейшего развития машинного перевода при помощи нейронных сетей.

Выводы к разделу 2

Для изучения совокупности свойств известных и новых компромиссных решений в теоретико-игровых моделях и задачах теории принятия решений, адаптируемых к условиям антироссийских экономических санкций, авторами исследована сущность ресурсо-подобного риска, особенности принятия инвестиционных решений экономическими агентами в условиях неопределенности и неполноты информации, рассмотрены различные типы задач оптимизации в условиях ограниченности ресурсов, а также возможности и ограничения методов машинного обучения в распознавании контекста при интеграции искусственного интеллекта в бизнес-процессы экономических агентов.

Вышеуказанное исследование позволило прийти к следующим основным выводам.

1. Исследован ресурсно-подобный риск с позиции теоретических основ концепции и практического примера венчурных инвестиций в инновационные проекты. Изучены методы трансформации и финансирования рисков с точки зрения области применимости и обобщения имеющегося практического опыта в России. Определены ключевые методологии управления риском для венчурных инвесторов и для руководителей инновационных проектов – трансформация и финансирование рисков.

2. Исследование венчурного инвестирования как примера реализации концепции ресурсоподобного риска, с использованием инструментария теории игр (игры с неполной информацией) позволило найти равновесие Байеса-Нэша с учетом априорного распределения вероятностей естественного состояния, а также определить ограничения на параметры модели (доля инвестора в проекте и процентная ставка).

3. Как направление дальнейших исследований, определена целесообразность рассмотрения многоступенчатой игры, основанной на изученной статической игре (инвестирование в проект на разных этапах). Предполагается, что основной метод, который

может быть использован в многоэтапной игре, представляет собой оценку апостериорных вероятностей различных состояний природы, ведущих к пересмотру убеждения Инвестора. Также, используя информацию, собранную на первом этапе игры, становится возможным оценить срок окупаемости проекта. Дополнительно можно использовать собранную информацию о реальной прибыли проекта для корректировки коэффициента дисконтирования (процентной ставки).

4. С учетом целесообразности отказа от ограничения о том, что Инвестор не подвержен риску, выявлена необходимость рассмотрения различных типов инвесторов в зависимости от их склонности к риску и стадии проекта венчурного проекта. Например, только рискованные агенты склонны инвестировать на ранней стадии проекта. Инвестиции на средней стадии типичны для игроков, не склонных к риску. Инвесторы, не склонные к риску, будут ждать поздней стадии.

5. Установлено наличие устойчивого эффекта момента на российском фондовом рынке в периоде 2015–2020 гг. Результаты статистического анализа подтверждают справедливость выдвинутой гипотезы о существовании положительной премии момента. Результаты статистического анализа позволили определить, что краткосрочные и среднесрочные стратегии являются предпочтительными с точки зрения воспроизводимости и эффективности в локальном контексте.

6. Выявлено, что одной из ключевых эмпирических закономерностей является негативное влияние увеличения инвестиционных горизонтов — как на этапе формирования портфеля, так и на этапе его удержания — на эффективность моментум-стратегий. По мере удлинения этих периодов фиксируется устойчивое снижение премии момента, что свидетельствует об ограниченной применимости долгосрочных стратегий в условиях развивающихся рынков. Данная особенность может быть объяснена высокой краткосрочной волатильностью, слабой ликвидностью и быстрой диссипацией ценовых импульсов, что препятствует устойчивому следованию трендам.

7. Определено, что концентрация активов с высокой реализованной волатильностью в фазе формирования усиливает нестабильность доходности и повышает вероятность наступления резких просадок стратегии в условиях рыночных потрясений.

8. Подтверждение гипотезы о влиянии введения недельного временного лага между фазами формирования и удержания портфеля, получено на основе сравнительного анализа всех протестированных конфигураций стратегий. Статистические результаты демонстрируют, что стратегии, реализуемые с недельной задержкой, систематически превосходят по размеру премии момента и t-статистик, соответствующие стратегии без лага. Данные результаты могут быть интерпретированы как следствие снижения влияния

краткосрочных рыночных искажений, эффект временного давления на котировки в конце периода формирования, а также элементы микроструктуры рынка. Таким образом, лаг выполняет функцию сглаживания и фильтрации нерепрезентативных движений, повышая точность идентификации устойчивых ценовых трендов и надёжность сигналов для формирования портфеля.

9. Обоснована целесообразность практической применимости моментум-стратегий экономических агентов, адаптированных к специфике российского рынка, а также в задачах активного управления портфелями, в условиях неполноты информации. Несмотря на присущую развивающимся рынкам волатильность и чувствительность к макроэкономическим шокам, установлено, что моментум-подход может обеспечивать статистически значимую и воспроизводимую премию доходности.

10. Сформулирована и доказана теорема, позволяющая свести исходную несогласованную во времени задачу стохастического оптимального управления к двухуровневой задаче оптимизации, где внутренняя задача имеет классический характер, а внешняя решаетсяproxимальными градиентными методами. В случае невыполнения предположения о равномерной полувогнутости исходная функция аппроксимируется таким образом, чтобы удовлетворить этому предположению, после чего теорема показывает линейную сходимость аппроксимации к исходной задаче. Полученная теорема может быть использована в задачах управления портфелем, где функционал качества имеет слагаемые из классической формулировки в дополнение к экстремальным метрикам.

11. Предложена формулировка игры заполнения с ограничениями на поток и исследовано пространство её решений. Получены оценки значений цены анархии для разных величин совокупного числа игроков, что, в частности, позволяет установить, в каких случаях равновесное распределение игроков в рассматриваемой игре близко к социальному оптимуму, а в каких может существенно отклоняться от него. Показано, что чем ближе совокупное число игроков к минимально или максимально возможному с точки зрения существования допустимому распределению потоков, тем ближе равновесное распределение к социально оптимальному.

12. Исследованы условия достаточности в двухуровневой задаче оптимизации топологии сети. В рассматриваемой постановке задачи, менеджер сети инвестирует в пропускные способности маршрутов, стремясь минимизировать общую задержку, возникающую в результате равновесного распределения потоков. Доказан ряд утверждений, позволяющих проверять множество активных переменных на достаточность при поиске глобального оптимума в задаче оптимизации топологии сети с непересекающимися маршрутами. Для рассматриваемого типа сетей определена

возможность построения множества переменных, достаточного для поиска глобального оптимума посредством работы с переменными только из этого множества.

13. С использованием методов машинного обучения и математической лингвистики выявлено, что искусственный интеллект в решении задач обработки естественного языка хорошо справляется с лексикой, но испытывает трудности с лингвоэтникой – передачей культурных кодов и неявных смыслов.

14. Определено, что для участников рынка это может быть критично в следующих аспектах: искажение интенции – большие языковые модели на данном этапе не способны смягчить остроту в дипломатической или деловой переписке, рискуя спровоцировать конфликт там, где человек выбрал бы более мягкую формулировку; культурная слепота – искусственный интеллект не считывает «культурный код эпохи» и социальный контекст.

15. Определены основные сценарии, где использование искусственного интеллекта экономическими агентами без контроля человека опасно, в том числе, синхронный перевод и переговоры – профессиональные синхронисты опираются на интонацию и экстралингвистический контекст, тогда как искусственный интеллект работает только с текстом; маркетинг и «новая этика» – искусственный интеллект склонен либо к предвзятости, либо к чрезмерному «сглаживанию» для обеспечения политической корректности; обучение и передача опыта – переводы с использованием искусственного интеллекта часто теряют легкость и связность устной речи, что снижает убедительность лидерской коммуникации.

16. При этом, указано, что простое увеличение объема данных для обучения (Big Data) не решит проблему, поскольку математический аппарат (механизм Attention) учитывает слова, а не их смысл.

17. Показана целесообразность интеграции нейросетей с электронной лексикографией и базами знаний, которые содержат четкие правила и культурные комментарии, а не просто вероятностные связи слов.

18. Определено, что на сегодняшний день, использование систем искусственного интеллекта для перевода оправдано в рутинных, низкорисковых задачах (техническая документация, черновики, поиск информации). Однако в сценариях высокой ответственности(публичные выступления, стратегические переговоры, адаптация маркетинга под локальный рынок) полная автоматизация недопустима. Искусственный интеллект не способен (и в ближайшее время не будет способен) адекватно заменить человека-эксперта в вопросах, касающихся этики, эмоций и скрытых культурных смыслов.

Раздел 3 Адаптационные стратегии поведения целевых групп экономических агентов в отдельных секторах экономики

Современная мировая экономика характеризуется усилением роли новых центров влияния, среди которых особое место занимает объединение БРИКС. Страны БРИКС сталкиваются с общими демографическими трансформациями: старением населения, снижением рождаемости и ростом ожидаемой продолжительности жизни при рождении. Эти тенденции оказывают значительное влияние на финансовые системы, в частности на рынок страхования жизни, который выполняет двойную функцию – социальной защиты населения и источника долгосрочных инвестиций. Особенно это актуально в условиях ограниченности ресурсов, с которыми сталкиваются экономические агенты. Рынок страховых услуг является базовым элементом финансовой системы любого государства и страхованию отводится важное положение в хозяйственной системе каждой страны. Базой развития страхования, с одной стороны, являются рыночные принципы, с другой стороны – объективная необходимость в минимизации различных рисков со стороны населения и субъектов хозяйственной деятельности. Последнее может рассматриваться как элемент рационального поведения экономических агентов, позволяя формировать стратегии их взаимодействия в условиях неопределенности и ограниченности ресурсов.

Экономические санкции тесно связаны с геополитическими рисками и вызовами на фоне которых, в свою очередь, возрастают киберриски. Геополитические риски могут проявляться в повышении операционных рисков для страховщиков, вызванном изменениями в регулировании, угрозами кибербезопасности и экономическими санкциями. Также реализация геополитических рисков приводит к нарушению международных цепочек поставок, что негативно влияет на работу международных перевозчиков, и, как следствие, на деятельность страховщиков, специализирующихся на страховании крупных торговых сделок и перестраховании. При этом, атаки на критическую инфраструктуру вызывают обеспокоенность страховщиков, ориентированных на внутренние рынки страхования имущества и гражданской ответственности.

Важным фактором территориального развития городских агломераций является жилищное строительство. Одновременно – это важный интегральный барометр «экономического здоровья» города, региона, отрасли, страны. Жилищное строительство и застройщики очень чутко реагируют на меняющиеся внешние и внутренние экономические условия, особенно когда это сопряжено с такими масштабными санкциями, с которыми столкнулась Россия с 2022 года.

В связи с этим, для решения задачи проекта, связанной с формированием стратегий поведения экономических агентов в условиях неопределенности и ограниченности ресурсов, в данном разделе изучено поведение следующих целевых групп агентов: страховых компаний и государства как регулятора страхового рынка; застройщиков (девелоперов) на внутреннем рынке.

Теоретической базой этой части исследования выступили 1) концепции управления демографическими рисками и адаптации страховых продуктов к изменяющимся условиям; 2) подход к рассмотрению страхования как рационального поведения экономического агента в условиях ограниченности ресурсов и неопределенности; 3) метод анализа трансформаций как элемент системного подхода при идентификации адаптационных стратегий застройщиков жилой недвижимости г. Санкт-Петербурга и агломерационной зоны к экономическим санкциям-2022.

3.1 Демографические трансформации как фактор развития страховых рынков стран БРИКС

На сегодняшний день объединение БРИКС представляет собой группу стран с быстро растущими экономиками, в которую входят Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южно-Африканская Республика, ОАЭ, Иран, Египет, Эфиопия и Индонезия. Однако, до конца 2023 года в его составе были только пять из них, а именно: Бразилия, Россия, Индия, Китай и Южно-Африканская Республика. В 2024 году к союзу присоединились Иран, Объединённые Арабские Эмираты и Эфиопия. Данная часть исследования включает анализ первоначального состава участников стран БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай, ЮАР) т.к. они представляют различные регионы и типы демографического развития, что обеспечивает репрезентативность исследования. Такой подход позволяет сосредоточить внимание на глубине анализа, а не на широте охвата, что особенно важно для выработки практических рекомендаций по совершенствованию политики в области страхования жизни и программ здравоохранения с учетом демографических факторов.

В числе ключевых факторов, формирующих потенциал geopolитического влияния БРИКС, следует выделить: положительную экономическую динамику и демографические позиции. Рост экономического и geopolитического потенциала объединения, позволяет прийти к выводу о том, что в настоящий момент существует стойкая тенденция к тому, что БРИКС может стать ведущей мировой экономической силой, сопоставимой с группой G-7. Этот факт подтверждается тем, что население Китая, Индии, Бразилии, России и ЮАР (не говоря о новоприбывших членах), составляет более 40% от населения планеты; доля валового внутреннего продукта по паритету покупательной способности составляет более

33% от мирового ВВП, они уже контролируют около 43% мировых валютных резервов, и их доля продолжает расти.

В странах БРИКС рынок страхования жизни характеризуется неравномерным развитием, что обусловлено различиями в экономических, демографических и институциональных условиях стран-участниц. Так, страховой рынок Китая превышает объемы рынков Индии, Бразилии, России и ЮАР вместе взятых, что подчеркивает необходимость выявления факторов, сдерживающих рост сектора в остальных странах. Кроме того, пандемия COVID-19 и сопутствующие ей кризисы обострили демографические проблемы и осложнили работу страховых и социальных систем, потребовав их адаптации к новым реалиям. Хотя страховые рынки стран БРИКС являются сложившимися системами, их дальнейшее развитие и структурная перестройка в среднесрочной и долгосрочной перспективе будут в значительной степени определяться современными демографическими тенденциями. В результате, демографический фактор выступает одним из ключевых детерминантов развития систем социальной защиты стран БРИКС, что требует его обязательного учета при формировании государственной политики в области страхования и социальной защиты населения.

Анализ литературных источников выявил, что, несмотря на растущий интерес к странам БРИКС, количество работ, посвященных именно рынкам страхования жизни в этих государствах, остается относительно небольшим, а сами исследования носят фрагментарный характер. Во-первых, большинство исследований фокусируются на общих тенденциях страхового рынка, упуская из виду специфику именно страхования жизни, а также наличие взаимосвязи с демографическими изменениями. Во-вторых, существующие публикации зачастую ограничиваются констатацией проблем, таких как старение населения или снижение рождаемости, но не предлагают конкретных мер и рекомендаций по их преодолению. Данное исследование призвано восполнить эти пробелы, предложив не только анализ демографических рисков, но и конкретные решения для страховых компаний и регуляторов.

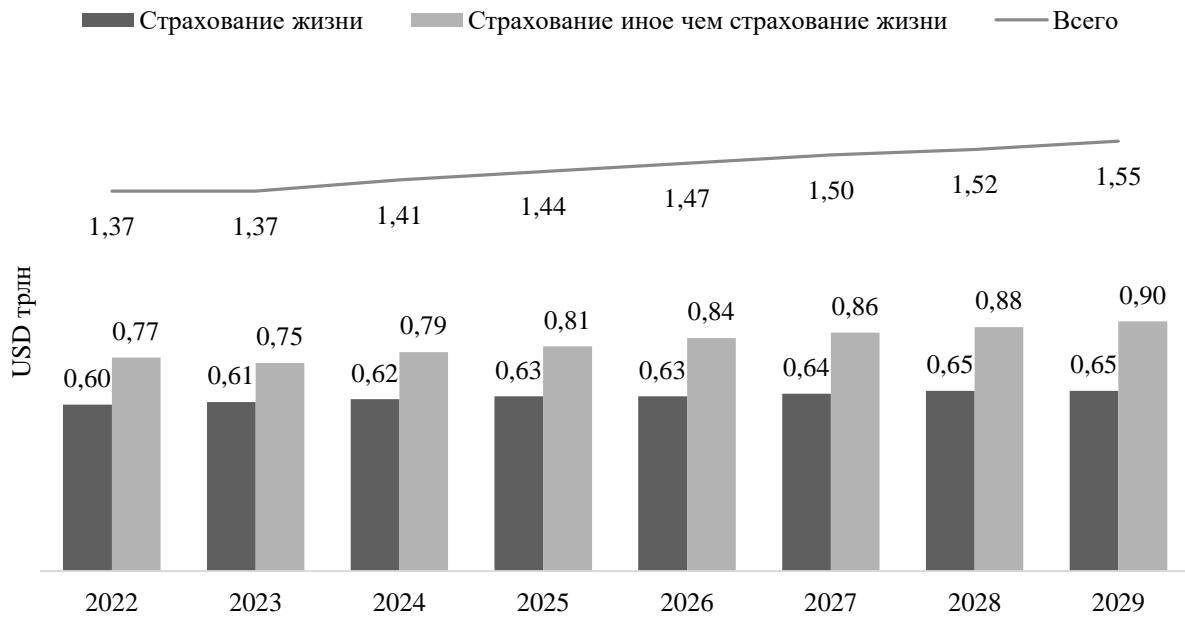
Эмпирическую основу данной части исследования составили данные Всемирного банка (World Bank), Росстата, национальных статистических служб стран БРИКС, отчеты страховых агентств и статистической платформы Statista. Для обеспечения сопоставимости данных использовались стандартизованные показатели, публикуемые международными организациями. Проанализированы следующие статистические показатели по странам БРИКС: объем рынка страхования жизни, динамика численности населения, ожидаемая продолжительность жизни при рождении, суммарный коэффициент рождаемости. Для визуализации данных использовались методы графического представления информации,

включая построение динамических рядов и сравнительных диаграмм. Для количественного анализа демографических показателей применялись методы расчета средних величин и темпов прироста.

Сектор страхования жизни играет важную роль в системе социальной защиты граждан, дополняя государственные программы и обеспечивая финансовую устойчивость населения. Данный сектор является важным сегментом экономики каждой из стран БРИКС, поскольку предоставляет не только финансовую стабильность для индивидуальных клиентов, но и создает значительные возможности для инвестиций и развития экономики в целом. Продукты страхования жизни снижают риски бедности и повышают финансовую устойчивость общества, помогают семьям сохранить уровень жизни (покрытие долгов, образование детей, ежедневные расходы), дают возможность получения налоговых льгот от государства и т.п.

В последние годы сектор страхования жизни в странах БРИКС делает существенный прорыв на пути своего развития [62]. Согласно отчетам компаний Swiss Re Institute, Statista, страхование жизни в Китае и Индии продолжает расти на фоне увеличения доходов населения и увеличения осведомленности о необходимости финансовой защиты в случае непредвиденных жизненных ситуаций. Вместе с тем, в 2022 году среднемировой рост премий по страхованию жизни замедлился, в том числе из-за экономической нестабильности, инфляции и последствий COVID-19. В Китае премии по страхованию жизни выросли на 4%, а в Индии – на 10,35% в 2022 году. В то время как среднемировой рост премий по страхованию жизни составил +1,5–2,5% в номинальном выражении. По сравнению с развитыми западными странами, данный рынок имеет большой потенциал для более широкого развития в будущем, в том числе за счет растущего населения.

Основываясь на прогнозных данных Statista Market Insights, объем рынка страхования в странах БРИКС достигнет в 2026 году 1,47 USD трлн. долл. Прогнозируемый объем рынка страхования жизни (рисунок 1) в 2026 году составит 630 USD млрд.



Источник: составлено авторами по данным *Statista*

Рисунок 1 – Объем страховых премий стран БРИКС 2022 – 2024 гг. и прогнозные оценки на 2025-2029 гг., USD трлн.

Если такая тенденция сохранится, при ожидании, что объем всех страховых премий в странах БРИКС будет ежегодно расти в 2025-2029 годах на уровне 1,9%, то к 2029 году объем рынка составит 1,55 USD трлн. В свою очередь, сектор страхования жизни (life insurance) к 2029 году должен преодолеть отметку в 650 USD млрд. Можно сделать вывод, что в рамках стран БРИКС сектор страхования отличного от страхования жизни (non-life insurance) растет быстрее, чем сектор страхования жизни. Сравнение секторов страхования жизни и страхования, отличного от страхования жизни в странах БРИКС по занимаемой ими доли страхового рынка в мире рассчитано в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение сектора Life Insurance и Non-Life Insurance в странах БРИКС в 2022 г.

Страна	Общий объем премий в 2022 г., USD млрд.	Life Insurance, USD млрд.	Non-Life Insurance, USD млрд.	Доля в мире
РФ	26,3	7,4 (28%)	18,9 (72%)	0,4%
ЮАР	56,7	28,3 (50%)	28,4 (50%)	0,5%
Бразилия	76,8	32,3 (42%)	44,5 (58%)	1,1%
Индия	143,5	81,8 (57%)	61,7 (43%)	1,8%
Китай	657,4	453,6 (69%)	203,8 (31%)	10,2%

Источник: рассчитано авторами по данным ОЭСР

Пример Китая (доля страхования жизни – 69%) и Индии (доля страхования жизни – 57%) показывает, как страхование жизни может стать основой национальной финансовой

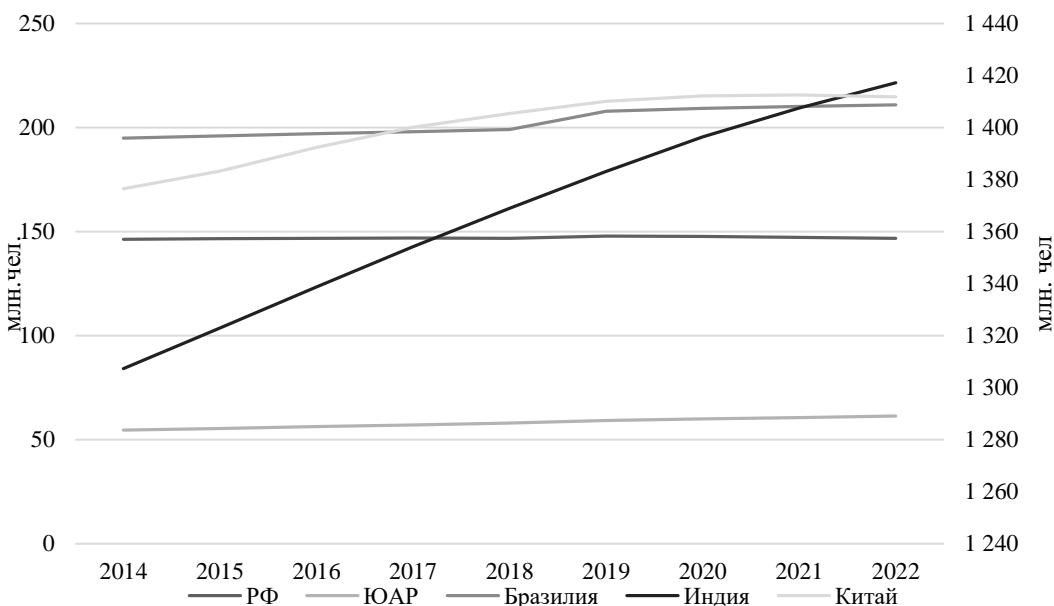
системы. Бразилия и ЮАР находят баланс между объемами рынка страхования жизни и страхования отличного от страхования жизни. Рынок страхования жизни в России занимает всего 28%, тогда как рынок страхования отличного от страхования жизни занимает 72%. Вместе с тем, данная ситуация дает широкие перспективы для развития этого сектора страхования в ближайшие годы. Этот вывод подтверждается тем, что уже в 2023 году рынок страхования жизни в России увеличился на 51,6%.

В период с 2014 по 2022 годы рынок страхования жизни в странах БРИКС показал стабильный рост. В 2022 году общий объем рынка страхования жизни составил около 600 USD млрд. В период с 2014 по 2022 рынок страхования жизни Индии вырос 2,4 раза, составив к 2022 году 79,6 USD млрд, рынок страхования жизни Китая в 3,4 раза, составив к 2022 году 436,2 USD млрд., Россия за аналогичный период выросла с 2,2 до 5,8 USD млрд. ЮАР – 31,2 USD млрд. в 2022 году. Рынок страхования жизни Бразилии в 2022 году составил 47,2 USD млрд.

Пандемия Covid-19 потребовала от страховых компаний существенных изменений в стратегии работы с клиентами. Ответом страховых компаний стала активизация цифровизации бизнес-процессов. Ряд компаний внедрили услуги телемедицины и ввели новые продукты, связанные с медицинским страхованием и страхованием жизни, которые соответствовали актуальным потребностям клиентов. В конечном итоге, несмотря на пандемию и ее влияние на показатели смертности в различных возрастных группах, а также общие демографические показатели, связанные со смертностью (ожидаемая продолжительность жизни при рождении, дожитие до определенного возраста), сектор страхования жизни в странах БРИКС продолжил демонстрировать устойчивую динамику роста. Так, в 2021 году рынок страхования жизни в Индии вырос на 9,2% по сравнению с предыдущим годом, а в Бразилии – на 15,2%. В России рынок страхования жизни вырос на 10%, а в Китае – на 3,4%.

Одними из ключевых факторов, поддерживающих устойчивую динамику роста в секторе страхования жизни, являются демографические переменные (количество населения, средняя ожидаемая продолжительность жизни при рождении, суммарный коэффициент рождаемости и др.). Рассмотрим их подробнее.

Динамика численности населения стран БРИКС за 2014 – 2022 гг. представлена на рисунке 2.



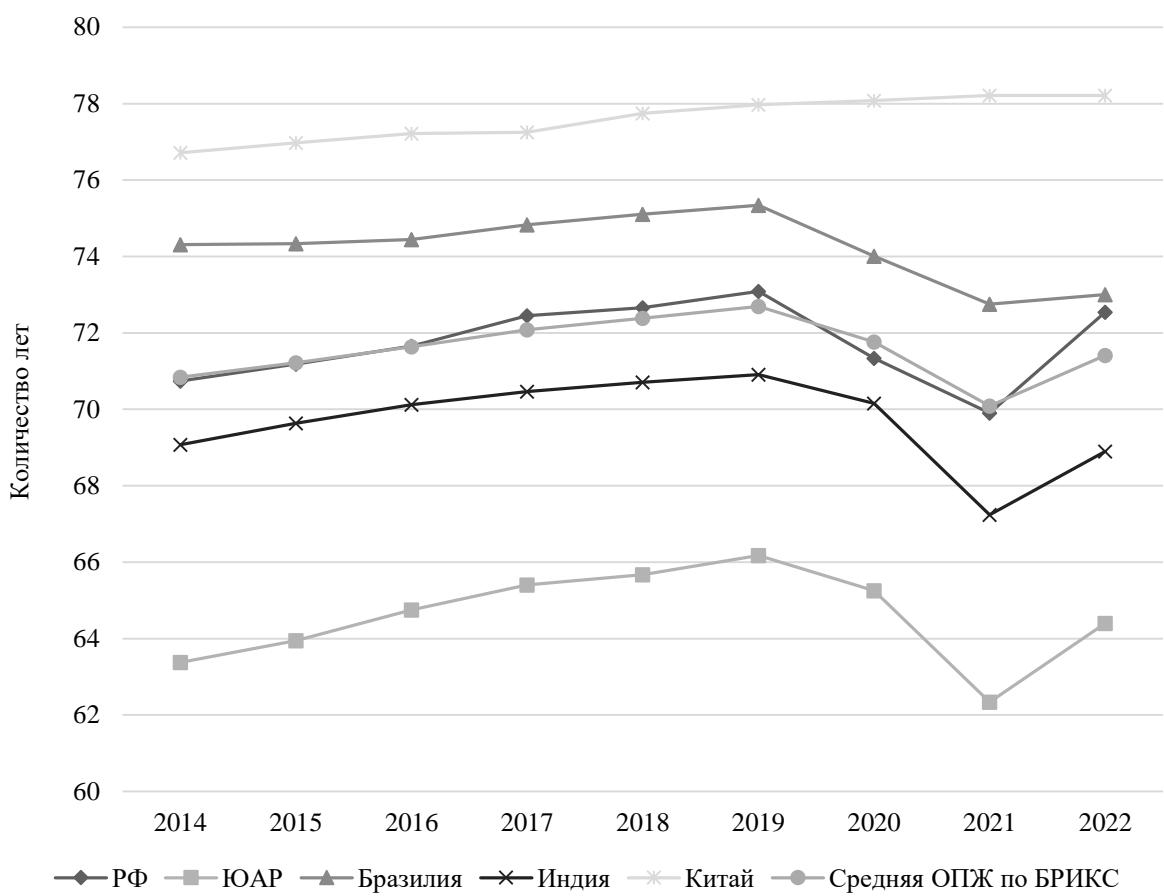
Примечание: по вспомогательной (правой) оси представлены данные для Индии и Китая

Источник: составлено авторами по данным Statista.

Рисунок 2 – Динамика численности населения стран БРИКС за 2014 – 2022 гг.

Согласно статистическим данным, население Бразилии продолжает расти, превысив 210 млн. человек. В России на конец 2022 года численность населения составляла около 146 млн. человек. В Индии на конец 2022 года численность составляла более 1,41 млрд. человек, вплотную приблизившись к Китаю. Численность населения ЮАР на конец 2022 года составляла более 60 млн. человек. Кроме того, страны БРИКС демонстрируют достаточно высокий показатель средней ожидаемой продолжительности жизни при рождении (ОПЖ), что в перспективе может способствовать росту сектора страхования жизни, так как высокая продолжительность жизни населения приводит к увеличению рисков возникновения заболеваний и других непредвиденных ситуаций, требующих финансовой поддержки. Средняя ожидаемая продолжительность жизни при рождении также является ключевым демографическим индикатором, напрямую используемым в актуарных расчетах по страхованию жизни. Он оказывает детерминирующее влияние на тарифную политику, размер страховых премий, формирование страховых резервов.

Динамика ожидаемой продолжительности жизни при рождении в странах БРИКС представлена на рисунке 3.



Источник: составлено авторами по данным Всемирного банка

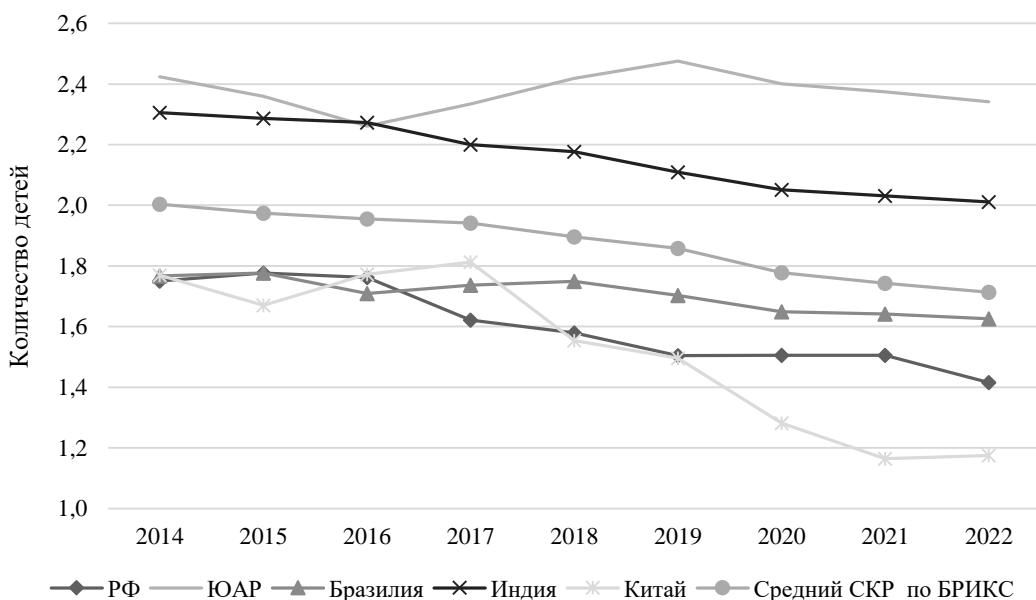
Рисунок 3 – Динамика ожидаемой продолжительности жизни при рождении в странах БРИКС за 2014 – 2022 гг., лет.

Безусловным лидером по показателю ожидаемой продолжительности жизни среди пятерки стран является Китай (78,2 года в 2022 г.). Далее находится Бразилия с трендом на снижение показателя (73,0 года в 2022 г.), которой пока не удалось достичь допандемийных значений. Третье место занимает Россия, которая достаточно быстро преодолела сокращение из-за влияния пандемии и даже увеличила этот показатель в 2022 г. до 72,5 лет. Далее следуют Индия, частично преодолев влияние пандемии (68,9 лет в 2022 г.), и ЮАР, с увеличивающимся отставанием по показателю ОПЖ от остальных стран (65,4 лет в 2022 г.).

Ретроспективно, рассматривая динамику показателя начиная с 2000 года, продолжительность жизни населения выросла во всех странах БРИКС, что косвенно свидетельствует об улучшении общего уровня здравоохранения и качества жизни населения в целом, однако, это приводит к другой трудности, учитывая наличие тенденции на снижение уровня рождаемости (рисунок 4), что ведёт к увеличению доли стареющего населения и повышению социальной нагрузки на работающую часть населения, и в

конечном итоге обостряет необходимость грамотного управления рисками для страховых компаний, работающих на рынке страхования жизни.

Для анализа уровня рождаемости в странах БРИКС рассмотрим динамику суммарного коэффициента рождаемости (СКР), который показывает, сколько детей родила бы одна женщина на протяжении всего репродуктивного периода при сохранении возрастных коэффициентов рождаемости, характерных для данного года. Для обеспечения простого (нулевого) воспроизведения населения суммарный коэффициент рождаемости должен составлять в среднем 2,14-2,15 рождения на женщину.



Источник: составлено авторами по данным Всемирного банка

Рисунок 4 – Динамика суммарного коэффициента рождаемости в странах БРИКС за 2014 – 2022 гг.

Анализ данных позволяет нам прийти к выводу, что во всех странах БРИКС, кроме ЮАР, демографический переход завершён. Для сравнительной оценки траекторий развития стран БРИКС был рассчитан средний темп прироста СКР за период 2014-2022 гг., который показал устойчивую отрицательную динамику во всех странах объединения (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение суммарного коэффициента рождаемости в странах БРИКС за 2014 – 2022 гг.

СКР	2014	2022	Среднегодовой абсолютный прирост	Среднегодовой темп прироста, в %
РФ	1,8	1,4	-0,042	-2,4%
ЮАР	2,4	2,3	-0,010	-0,4%
Бразилия	1,8	1,6	-0,018	-1,0%
Индия	2,3	2,0	-0,037	-1,6%
Китай	1,8	1,2	-0,074	-4,2%
Средний СКР по БРИКС	2,0	1,7	-0,036	-1,8%

Источник: составлено авторами по данным Всемирного банка

Данные таблицы 2 демонстрируют значительную дифференциацию как по уровню СКР, так и по скорости его снижения. При этом среднегодовой темп прироста позволяет количественно оценить интенсивность снижения: наиболее быстрое сокращение наблюдалось в Китае (-4,2% в год), а наиболее медленное - в ЮАР (-0,4% в год). Анализ значений показателя СКР в Китае (1,2), Бразилии (1,6) и России (1,4) позволяет сделать вывод о том, что данные страны по этому показателю находятся глубоко ниже уровня простого воспроизводства населения. Индия вплотную приблизилась к этому порогу (2,0). ЮАР пока остаётся исключением, но и там наблюдается снижение.

Причины снижения суммарного коэффициента рождаемости для каждой из анализируемых стран могут быть объяснены разными факторами. СКР Бразилии падает из-за урбанизации, роста образования женщин и доступности контрацепции. Для Индии характерны ярко выраженные региональные различия. Так, в южной части Индии СКР находится на уровне развитых стран (1,6 – 1,8), в свою очередь в северной части Индии СКР находится на уровне 2,5 – 3,0. Такая разница связана с большой культурной и религиозной разнородностью регионов. В Китае СКР за анализируемый период снизился с 1,8 до 1,2, став одним из самых низких показателей в мире. Причина такой просадки кроется в политике государства «одна семья – один ребенок», начавшейся в 1979 и завершившейся только в 2015 году. Предполагается, что при неизменной ситуации, к середине века коэффициент демографической нагрузки в Китае (отношение числа людей старше 65 лет к числу людей в возрасте от 15 до 64 лет) достигнет около 52%. Это означает, что на каждого двух человек трудоспособного возраста будет приходиться один человек старше 65 лет. В ЮАР СКР снижается, но остается еще высоким (2,3). Причины можно найти в медленной урбанизации и структурных социальных диспропорциях, а также в сохраняющихся традиционных семейных ценностях и высокой подростковой беременности у автохтонного населения.

Таким образом, можно сделать следующие выводы по странам БРИКС:

- Китай и Россия сталкиваются с риском долгосрочной депопуляции из-за падения СКР ниже уровня воспроизводства;
- Индия – последний «молодой» гигант в БРИКС, но такая ситуация будет сохраняться лишь в краткосрочной перспективе, ориентировано до 2035 – 2040 гг.;
- Бразилия повторяет путь Европы – выход на плато низкой рождаемости собственного населения, но какое-то время количество населения будет поддерживаться за счет миграционных притоков из более бедных соседних стран (Венесуэла, Колумбия);
- ЮАР – аутсайдер по темпам снижения, но социальные проблемы тормозят развитие страны.

В целом, СКР в странах БРИКС снижается, что повлечет за собой старение населения, вкупе с рисками безработицы и увеличивающейся нагрузки на социальные программы. БРИКС всё больше делится на «стареющие» (Китай, Россия, Бразилия) и «ещё растущие» (Индия, ЮАР) экономики, что влияет на их глобальную конкурентоспособность. Таким образом, старение населения представляет собой значительную трансформацию, оказывающую комплексное воздействие на экономическое, политическое и социально-культурное развитие большинства государств. Сегодня в Индии пенсионный разрыв растет с темпом в 10% годовых, в Китае – с темпом в 7% [63].

Демографические изменения в странах БРИКС, включающие увеличение доли пожилого населения, снижение уровня рождаемости и сокращение численности населения в отдельных странах, могут вызвать серьёзные изменения в структуре рынка страхования жизни в ближайшем будущем: старение населения (Китай, Россия, Бразилия) увеличивает спрос на пенсионные и накопительные продукты, рост показателя средней ожидаемой продолжительности жизни (особенно в Китае – 78,2 года) требует новых страховых решений, снижение рождаемости ($СКР < 2,1$) во всех странах, кроме ЮАР усиливает нагрузку на социальные системы, повышая значимость страхования жизни как инструмента социальной защиты.

В ответ на эти системные трансформации сформирован следующий комплекс рекомендаций, направленных на развитие рынка страхования жизни в странах БРИКС.

Для государственных органов и регуляторов стран БРИКС приоритетным направлением может стать создание комплексной системы финансовых стимулов. Целесообразно рассмотреть возможность внедрения программ налоговых вычетов по уплате страховых премий, аналогичных успешному международному опыту таких программ, как британские Individual Savings Accounts или американские 401(k) планы. Для стран с более низким уровнем доходов населения, таких как Индия и ЮАР, критически важной представляется разработка программ целевого субсидирования страховых премий для уязвимых категорий граждан. Параллельно необходимо осуществлять модернизацию нормативно-правовой базы, включая создание регуляторных «песочниц» для тестирования инновационных продуктов с использованием больших данных и телемедицины, а также реализацию национальных программ повышения финансовой грамотности, акцентирующих внимание на роли страхования жизни в управлении долгосрочными рисками.

Страховым компаниям необходимо предпринять активные действия по глубокой диверсификации продуктового ряда с учетом демографической специфики каждой страны. Для рынков со «стареющим» населением, таких как Китай, Россия и Бразилия,

первостепенное значение приобретает разработка гибридных продуктов, комбинирующих накопительную функцию с пенсионными аннуитетами и покрытием рисков, связанных с возрастными заболеваниями, такими как болезнь Альцгеймера или Паркинсона. Для «молодых» рынков Индии и ЮАР ключевой стратегией должна стать разработка доступных и простых для понимания продуктов микрстрахования, ориентированных на защиту кормильца и накопление средств на образование детей, с активным использованием партнерств с финтех-компаниями для расширения охвата. Одновременно требуется ускоренная цифровизация всех бизнес-процессов, подразумевающая внедрение решений на основе искусственного интеллекта для персонального андеррайтинга, массовый переход на онлайн-каналы продаж и интеграцию телемедицинских сервисов в качестве стандартной опции к полисам страхования жизни.

Можно также сделать вывод, что для элиминации последствий от старения населения, необходима совместная работа государственных институтов и страхового сектора. Целесообразно разработать и внедрить гибкие тарифные модели по высокорисковым (возрастным) категориям клиентов. Например, создание страховых пулов с участием государства, где часть рисков пожилых страхователей субсидируется за счет бюджетных средств, которые возьмут на себя часть финансовой нагрузки страховых компаний и повысят доступность страховых продуктов.

На уровне межгосударственного сотрудничества в рамках БРИКС представляется крайне перспективным создание постоянной рабочей группы по страхованию жизни. Ее миссией могла бы стать выработка согласованных регуляторных подходов, обмен лучшими практиками между национальными надзорными органами и инициирование совместных исследовательских проектов. Долгосрочной целью могло бы стать создание многосторонней перестраховочной структуры БРИКС, которая способствовала бы повышению финансовой устойчивости национальных рынков, снижению зависимости от глобальных перестраховщиков и развитию трансграничных страховых продуктов.

3.2 Страхование как инструмент управления киберрискаами в современных условиях

В условиях цифровизации, затрагивающей различные аспекты жизни общества, угрозы кибератак становятся все более очевидными. Наиболее существенные последствия характерны для кибератак на критическую инфраструктуру (critical infrastructure) и атак, нарушающих целостность цепочек поставок. При этом, чем выше уровень цифровой интеграции сети, тем быстрее распространяется вирус и тем значимее являются последствия. Убытки от системной кибератаки могут затрагивать как отдельные компании, так и национальную экономику в целом. Малые и средние предприятия с низким уровнем

защиты от киберугроз наиболее уязвимы к действиям киберпреступников. На сегодняшний день крупнейшим застрахованным индивидуальным убытком от киберрисков является ущерб от деятельности вируса-стираталя (удаляет информацию на жестком диске зараженного компьютера) NotPetya 2017 года, атаковавшим компании по всему миру. Около 10% (\$300 млн) убытков от NotPetya было покрыто специализированными киберстраховыми полисами [64, с.22].

Финансовые учреждения сталкиваются с различными рисками, связанными с киберинцидентами (cyber incidents), в том числе, финансовыми, операционными, юридическими, репутационными рисками, а также рисками нарушения комплаенса.

На сегодняшний день страхование играет ключевую роль в управлении киберрискаами, включая не только их перераспределение, но и снижение за счет содействия мониторингу и реагированию на кибератаки. Страховое покрытие может предлагаться как отдельно, так и в качестве дополнительного покрытия к существующим полисам страхования общей ответственности, перерывов в производстве и т.д. Кроме того, полисы киберстрахования могут покрывать прямые расходы страхователя, связанные с уведомлением клиентов, действиями по защите от киберугроз, перерывами в производстве, кибервымогательством, а также ответственность перед третьими лицами – контрагентами компаний, которые понесли убытки вследствие невыполнения страхователем своих обязательств по причине киберинцидента [65, с.2].

Основные типы современных киберинцидентов и их характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Современные киберинциденты и их особенности

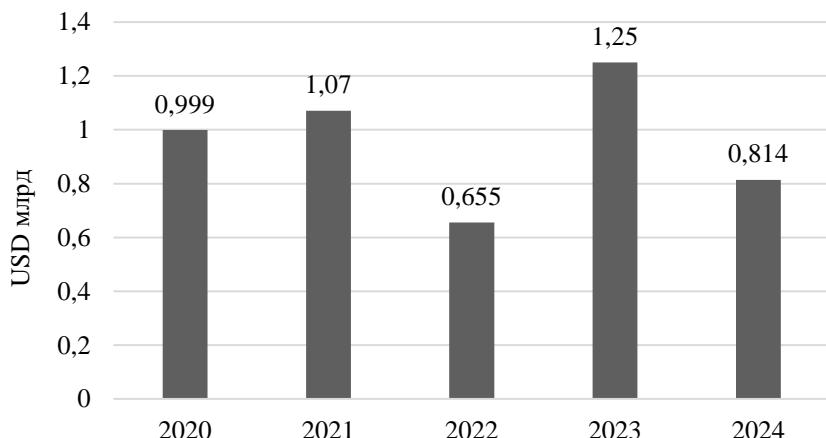
Тип	Характеристика
Программы-вымогатели (ransomware)	Тип вредоносного ПО, предназначенного для блокировки доступа к компьютерной системе до получения выкупа. Принимает форму сетевого вторжения – кражи учетных данных, установка бэкдоров и вредоносного ПО, кражи данных, требование выкупа.
Вредоносное ПО (malware)	Вредоносное программное обеспечение, которое заражает компьютер и специально разработано для нарушения работы компьютерной системы, ее повреждения или получения несанкционированного доступа к ней.
DDoS-атаки	При DDoS-атаке целевая сеть выводится из строя за счет перегрузки ее трафиком из различных источников. Целью обычно является нарушение функционирования веб-ресурса, нанесение ущерба репутации компании, финансовые потери вследствие блокировки доступа к веб-сайту или сетевому ресурсу.
Фишинг (phishing)	Фишинговые атаки основаны на использовании уязвимостей пользователей. Например, перейдя по ссылке в электронном письме, отправленном, казалось бы, из надежного источника, и введя пароль, жертва позволяет киберпреступникам проникнуть в систему, получить доступ к данным и/или отправлять электронные письма от её имени.
Социальная инженерия (social-engineering)	Метод основан на использовании доверия жертвы киберпреступниками, с целью непосредственно получения денег или конфиденциальной информации для совершения преступления в дальнейшем.

Источник: составлено авторами по данным [66].

По данным Alliaz Risk Barometer, главным риском 2025 года в глобальном масштабе является риск реализации киберинцидентов, в том числе, атак программ-вымогателей, утечки данных (data breaches) и сбоев в работе IT-систем (IT outages). Этот риск определен как приоритетный в таких отраслях как авиация, химическая промышленность, развлечения, финансовые услуги, СМИ, профессиональные услуги, технологии и телекоммуникации. При этом, программы-вымогатели продолжают оставаться основной причиной убытков по киберстрахованию: в первом полугодии 2024 года на них пришлось 58% от суммы крупных исков по киберстрахованию (свыше €1 млн) [67, с.12].

Компании с высоким уровнем кибербезопасности снижают свою уязвимость для киберпреступников. Низкие барьеры входа на «рынок» киберпреступности, обеспечиваемые моделями «как услуга», прежде всего, «фишинг как услуга» (phishing-as-a-service), в рамках которой жертвы перенаправляются на поддельные веб-страницы, стали ключевым фактором распространения программ-вымогателей и вредоносного программного обеспечения [64, с.13].

В 2024 году злоумышленники, использующие программы-вымогатели, получили от жертв около \$813,55 млн в виде выплат (рисунок 5), что на 35% меньше, чем в 2023 году.

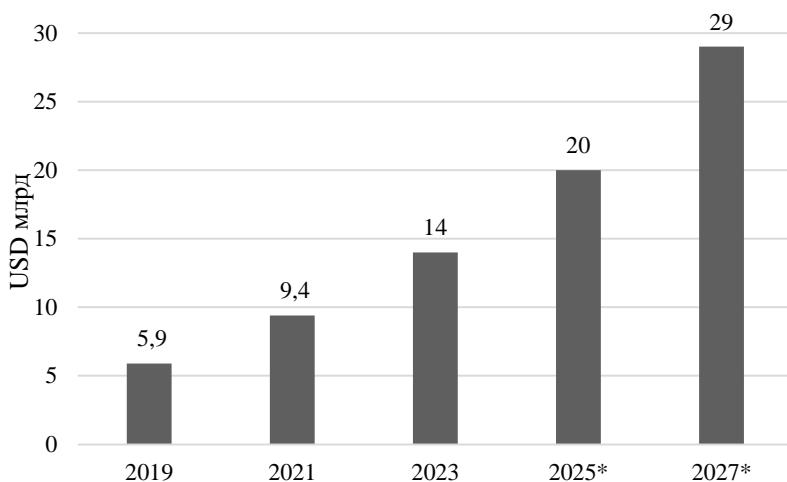


Источник: составлено авторами по данным Chainanalysis

Рисунок 5 – Выплаты выкупа киберпреступникам вследствие применения программ-вымогателей, 2020-2024

Системные киберриски представляют собой вызовы для традиционного страхового рынка. Их сложно количественно оценить из-за отсутствия стандартизованных данных и ограничений моделирования – потенциальные риски обычно определяются на основе исторических данных, что лишь частично применимо при анализе киберрисков.

Тем не менее, рынок киберстрахования развивается (рисунок 6), прежде всего, как реакция на увеличение частоты и значимости кибератак, а также рост связанных с этим убытков.



Примечание: * – прогнозные значения

Источник: составлено авторами по данным Munich Re

Рисунок 6 – Размер глобального рынка киберстрахования, 2019-2027

Необходимость учета военных действий при урегулировании убытков побудила Lloyd's включить новые оговорки в отдельные полисы киберстрахования.

16 августа 2022 года были опубликованы требования к исключениям, связанным с кибератаками, поддерживаемыми государством. Начиная с 31 марта 2023 года, все отдельные полисы страхования от кибератак должны исключать ответственность за убытки, возникшие в результате любой кибератаки, поддерживаемой государством, если иное не согласовано Lloyd's.

В целом, убытки не подлежат возмещению, если они: 1) возникают прямо или косвенно в результате войны (объявленной или нет), и/или 2) возникают в результате кибератаки, которая осуществляется в рамках войны, и/или 3) возникают в результате поддерживаемой государством кибератаки, которая существенно ухудшает а) способность государства функционировать или б) возможности обеспечения безопасности государства.

В конечном счете, покрытие киберубытков будет зависеть от условий полиса и, в частности, от исключений, связанных с войной. Определяющим фактором является отнесение кибератак к таковым, которые поддерживаются государством; при этом бремя доказательства будет лежать на страховщике [68].

Особенности возмещения ущерба при наличии санкционных ограничений. На сегодняшний день, страховщики применяют исключение для выплат по любым

требованиям, нарушающим санкционные ограничения. Большая часть положений об исключении для разных рынков и компаний аналогична стандартному положению о санкциях Lloyd's (LMA 3100), которое исключает выплаты (пере)страховщика для страховых случаев, которые затрагивают компании или бизнес-процессы, против которых введены санкции, установлены запреты или ограничения ООН, ЕС, Соединенного Королевства, США или Австралии. Для случаев кибервымогательства санкций, введённые в отношении террористических организаций и конкретных стран, могут быть значимы при сопоставлении с предыдущими эпизодами. Ключевой проблемой при применении/не применении исключений выступает сложность определения (расследования) источника кибератаки. Для некоторых атак программ-вымогателей можно определить источник – конкретную организацию или странами, но далеко не для всех. Например, расследование такого источника вируса-вымогателя как Ryuk, на долю которого приходятся крупнейшие требования о выкупе, затруднено. Проблема четкого установления принадлежности усложняется возможностью копирования либо намеренного изменения базового кода для дальнейшего его использования для новых кибератак [69, с. 21].

Особенности возмещения выплат выкупа (ransom payments). Ограничения на выплаты лицам, находящимся под санкциями, применяются не только к выплатам, осуществляемым страхователями (прямые выплаты), но и к возмещению выплат выкупа, осуществляемых страховщиками (косвенные выплаты). Так, положениями Lloyd's предусмотрено, что в случае санкций, включающих замораживание активов, у страховщика и/или брокера может не быть возможности, прямо или косвенно, получать выплаты от подсанкционных лиц или организаций или осуществлять выплаты в их пользу. Аналогичным образом, в требованиях Munich Re Group для перестраховщика указано, что последний обязан проверить всех возможных бенефициаров, которые могут получить выгоду от выплат цедента, на предмет наличия выгодоприобретателей в санкционных списках. Международная ассоциация страховых надзоров (International Association of Insurance Supervisors, IAIS) отмечает, что выплата выкупа террористической организации может считаться нарушением санкций ООН, что в большинстве стран является уголовным преступлением.

Тем не менее, отсутствие четких правил или инструкций приводит к тому, что применение оговорки об исключении выплат по причине санкций (*sanctions exclusion clause*) осуществляется на усмотрение страховщика, что, в свою очередь, может привести к спорам по претензиям и/или судебным разбирательствам. Бремя доказательства целесообразности применения этой оговорки лежит на страховщике, что является определяющим аспектом при выплате возмещения при кибертерроризме, предусмотренном

во многих полисах киберстрахования. Определение кибертерроризма в таких полисах обычно включает и кибервымогательство (cyber extortion). И в этом случае возмещение страховой компанией уплаченного выкупа является нарушением оговорки об исключении выплат по причине санкций [69, с. 22-25].

На сегодняшний день существует проблема законности страховых возмещений выкупа компании, уплаченного подсанкционным и террористическим организациям. Попыткой ее решения стали рекомендательные положения OFAC, где указано, что выплата выкупа может рассматриваться как нарушение компанией санкционного законодательства. При этом, подчеркивается необходимость усиления кибербезопасности и сотрудничества с соответствующими органами при кибератаке [70].

Эта проблема усугубляется отсутствием правовых барьеров для компаний, выплачивающих выкуп киберпреступникам и требующих впоследствии страхового возмещения, поскольку выкуп обычно уплачивается в криптовалюте, тогда как страховые компании возмещают убытки в национальной валюте. Одним из наиболее часто обсуждаемых инструментов минимизации рисков выступает ограничение размеров страхового возмещения. Однако это может быть критичным для малых и средних предприятий в части получения необходимых средств в полном объеме для восстановления данных и/или возобновления производства после кибератак.

Проведенный анализ позволил выявить, что основные задачи управления киберрискаами в условиях современных геополитических вызовов на национальном уровне заключаются в

- гармонизации терминологии и исключений из страхового покрытия, применяемых к киберрискам;
- унификации терминологии полисов киберстрахования;
- разъяснениях регуляторов и надзорных органов об ответственности страховых компаний за соблюдение санкционного законодательства.

На уровне страховых компаний оптимизация управления киберрискаами затрагивает

- усиление киберзащиты;
- повышение качества данных в части сокращения массивов исторических данных для анализа и обучения моделей;
- усовершенствование моделей оценки рисков, выявления уязвимостей, прогноза развития угроз.

3.3 Геоинформационный анализ жилищного строительства в период антироссийских санкций для крупной городской агломерации на основе данных ЕИСЖС ДОМ.РФ

Жилищное строительство является комплексным объектом в рамках городских исследований. Оно влияет на систему расселения в городах, распределение мест приложения труда и соответственно функционирование транспортной системы в целом [71]. В условиях современной России – жилищное строительство является важным комплексным индикатором, определяющим «экономическое здоровье» страны, региона, города и городской агломерации. Оно имеет широкие горизонтальные связи, потребляя продукцию металлургической и стекольной отрасли, отрасли строительных материалов и тесно зависит от транспортных перевозок. По данным Единого ресурса застройщиков и Ростата - в январе — декабре 2024 года в России введено 107,8 млн м² жилья. Это на 2,4%, или на 2,7 млн м² меньше, чем за аналогичный период 2023 года. В крупнейших агломерациях масштабное строительство многоквартирных домов обеспечивает суточные ритмы (перемещение из мест «сна» в места «работы»), а также недельные и сезонные колебания [72], связанные с строящимися вторыми домами и дачами жителей [73]. Пространственные характеристики жилищного строительства в агломерациях зависят от множества факторов. Например, таких внутренних факторов, как территориальные резервы, особенности местного и регионального законодательства или внешних факторов, таких как меняющиеся экономико-географическое положение, инвестиционная активность и другие.

В условиях рыночной экономики, в том числе сложившейся в сфере градостроительства России [74], решения о реализации проектов масштабного жилищного строительства, прежде всего многоквартирных домов, принимаются экономическими акторами: девелоперами и застройщиками. Застройщики-девелоперы совместно осваивают крупные земельные участки, формируя уже даже новые города (например, Мурино, Кудрово к концу 10-ых или Новосаратовка в наши дни). Изучением пространственного поведения экономических агентов в целом занимается, в том числе и корпоративная география [75]. Также жилищное строительство является одним из важных секторов экономики страны и крупнейших агломераций [76]. В частности, в строительстве в РФ занято порядка 9-10 % [77], а на кредиты по ипотеке в 2023 г. приходилось до 55 % от суммарного кредитного портфеля населения [78].

При этом на развитие жилищного строительства последние несколько лет повлиял ряд радикальных событий, в частности *переход к проектному финансированию в 2019 г.*,

пандемия в 2020 г. и антироссийские санкции, число которых радикально увеличилось в 2022 г. [79]. Санкции в том или ином виде привели к уходу с рынка ряда иностранных девелоперов, ограничили заемные возможности застройщиков на иностранных рынках, нарушению цепочек поставок, а также усилили дефицит рабочей силы [80] и стали одной из причин роста ключевой ставки в условиях дефицита предложения в экономике. Не стоит забывать и о снижении платежеспособного спроса населения.

Соответственно можно обозначить *три пространственных аспекта исследования жилищного строительства, актуальных в наши дни*: пространственное распределение введённого жилья, пространственное поведение девелоперов/застройщиков и изменение отраслевых экономических показателей в территориально-корпоративном разрезе. Для исследования всех указанных аспектов может быть недостаточно только государственной статистики, не позволяющая детально рассмотреть пространственную локализацию строительства [81] или аспекты участия экономических акторов [82]. Обозначенные недостатки государственной статистики можно избежать за счёт использования такого источника данных как единая информационная система жилищного строительства (далее, ЕИСЖС), оператором которой является единый институт развития в жилищной сфере АО «ДОМ.РФ» (далее ДОМ.РФ). Целью данной работы является обоснование и описание подходов для геоинформационного анализа жилищного строительства на основе данных ЕИСЖС в условиях антироссийских санкций. В качестве исследовательского полигона использована Санкт-Петербургской городской агломерация.

ЕИСЖС была создана в 2019 году, на основании Постановление Правительства РФ от 26 марта 2019 г. N 319 [83] как часть общей реформы жилищного строительства, связанной с переходом к проектному финансированию (по сути, финансализации сектора и повышение его устойчивости [84]). Ключевыми целями системы являются: обеспечение прозрачности рынка жилищного строительства; переход на электронное взаимодействие при строительстве; предоставление аналитической информации и сервисов всем участникам рынка жилищного строительства; платформа для реализации государственных программ поддержки граждан и застройщиков [85].

Данная система уже активно используется как аналитическими компаниями (например, консалтинговая компания «Яков и партнёры» [86]), так и начинает использоваться академическими исследователями [87]. Ключевой особенностью системы является сбор информации от застройщиков и участников рынка в целом. Во-первых, агрегируются данные по проектным декларациям застройщиков. Это позволяет получить богатые атрибутивные сведения о строящихся жилых домах: этажность, жилая площадь, квартиография, дата выдачи ключей, наименование застройщика, а также расположение

жилого комплекса. Сведения о будущем расположении жилого комплекса позволяет получить уже пространственные данные. Также, за счёт сбора сведений от застройщиков, возможно уточнить сведения о количестве проданных квартир в жилом комплексе, а также стоимости и классе жилого комплекса (типовой, эконом, комфорт, бизнес, элит). Во-вторых, в ЕИСЖС агрегируется значительное количество сведений по самому рынку, прежде всего объёмам кредитования, а также распроданности квартир у застройщиков.

Однако система отличается рядом особенностей с точки зрения получения данных. Данные в целом по отрасли представлены в формате дашбордов и инфографики в разделе «Аналитика», которые уже можно использовать для исследования. В свою очередь данные по жилым комплексам представлены в виде картографического веб-сервиса, т.е. совокупность жилых комплексов, отображаемых на электронной картографической основе (Яндекс Карты) и при нажатии на которые можно получить уже полную информацию об объекте (рисунок 7).

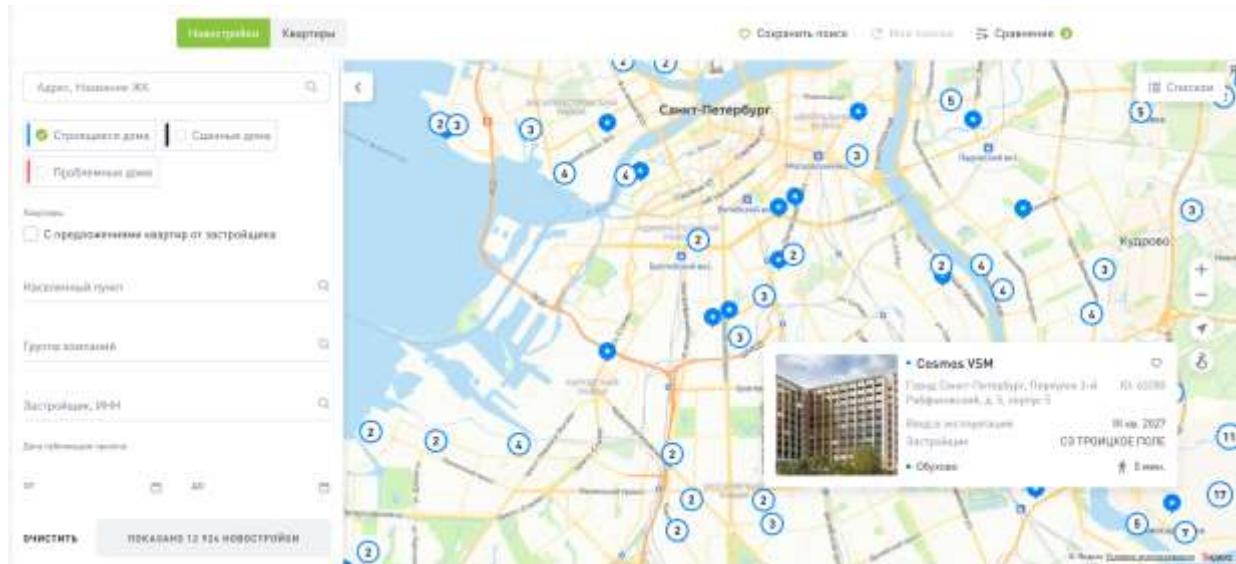


Рисунок 7 – Интерфейс каталога новостроек в рамках ЕИСЖС

Набора данных в формате таблицы с атрибутивными данными и тем более пространственными сведениями (географические координаты) в ЕИСЖС нет. Для извлечения данных авторами были использованы методы веб скрейпинга, на основе использования кода HTML [88; 89]. Каждому объекту на карте соответствует своя веб-страница, адрес которой построен по следующему принципу: <https://наш.дом.рф/сервисы/каталог-новостроек/объект/> + номер объекта в системе ЕИСЖС. На веб-странице представлены сведения об объекте, т.е. большая часть атрибутивных данных. Каждому атрибуту и его значению соответствует свой код в HTML. Например, жилой площади соответствует следующий код (рисунок 8).

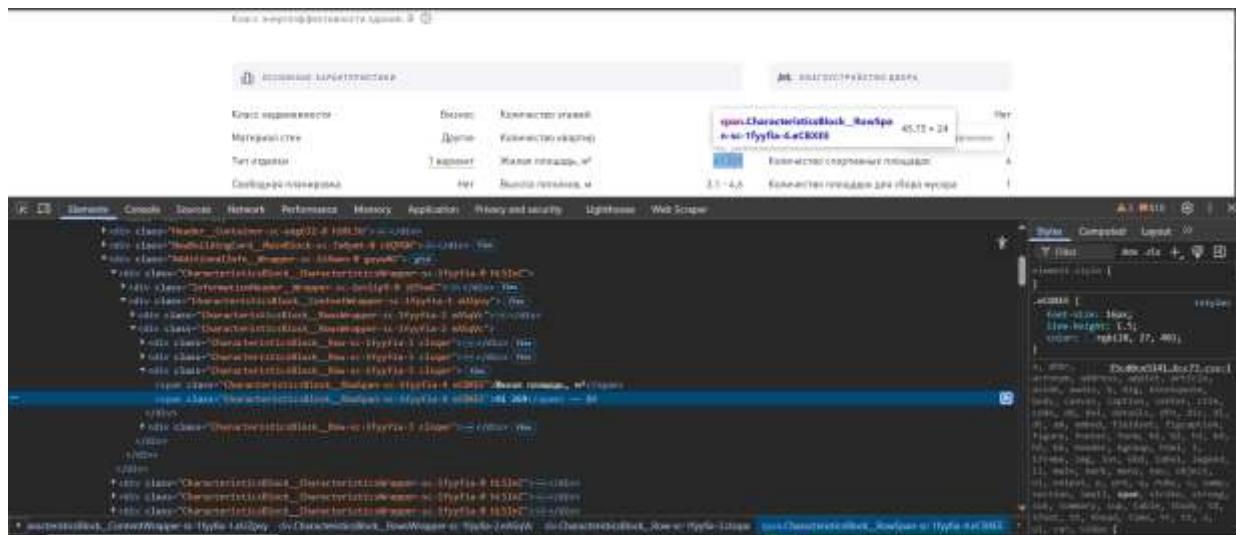


Рисунок 8 – HTML код, соответствующий жилой площади дома в ЕИСЖС (объект из каталога новостроек)

Далее был создан код на языке программирования Python, позволяющий собирать сведения по каждой характеристике дома, в том числе пространственному расположению в виде географических координат. Для этого были использованы библиотека «BeautifulSoup» для извлечения текста из HTML и открытый фреймворк Selenium, для автоматического взаимодействия с веб-страницей объекта, чтобы было необходимо для извлечения информации по квартирам. Для сбора же списка нужных номеров домов в системе ЕИСЖС были использованы возможности веб-сервиса для отображения списка только по исследуемой территории (Санкт-Петербург и Ленинградская область) и расширение web-scraping для автоматического сбора номеров [89]. Был собран список из порядка 3,2 тыс. номеров, включающий в себе все объекты, сведения о которых в ЕИСЖС были опубликованы с начала работы системы до времени выгрузки. По результатам работы кода был сделан файл расширения .csv, в котором находились атрибутивные сведения и географические координаты объектов.

Однако на этом обработка данных не закончилась. Как было выяснено, при первичном анализе размещения объектов, много объектов (порядка 0,5 тыс.) получили либо не верные координаты (0,1 тыс., прежде всего 20 объектов с координатой в центре города), либо были расположены друг на друге (0,4 тыс.). Такая неточность связана с подходом к локализации сведений из проектной декларации. Жилые комплексы в рамках проектных деклараций зачастую ещё не имеют адреса, т.к. на этой территории ранее не было улично-дорожной сети. При этом сведения о кадастровом участке из проектной декларации по всей видимости не используются. Для решения проблемы был использован слой названий и полигонов жилых комплексов из проекта Open Street Map (OSM). Соответственно за счёт

инструментов пространственной выборки были определены объекты, локализация которых в ЕИСЖС была сделана неверно. Далее в ручном режиме проведено уточнение положения данных объектов.

Ещё одной особенностью ЕИСЖС является временной ряд данных по жилым комплексам. Т.к. система была создана в 2019 году, то основной массив данных связан с объектами, внесёнными в систему с этого года. Также в системе содержится информация по большому количеству жилых домов, возведённых в период с 2016 по 2019 год. В рамках исследования сделано допущение, что данные за 2016-2019 и последующие годы совместимы при анализе.

После этого был создан финальный набор данных. Жилые комплексы, которые по сути являются одним масштабным проектом, но имеют несколько проектных деклараций для разных корпусов, а также введены в эксплуатацию в 1 из 3 исследуемых периодов, были объединены в кластеры.

- 2016-2020 г., т.е. до новых кризисов в отрасли и полного перехода к проектному финансированию.
- 2020-2024 гг., когда отрасль жилищного строительства и рынок жилья трансформировался под влиянием перехода к проектному финансированию, введению льготной ипотеки.
- После 2024 г., когда формируются новые условия развития отрасли, в связи с прекращением льготной ипотеки и «IT-ипотеки», высокого уровня ключевой ставки, ограничивающего возможности кредитования застройщиков и населения.

Для идентификации периода ввода жилья использовался такой параметр как «выдача ключей». Это ключевой временной параметр в рамках проектного финансирования жилья, которой свидетельствует о полной готовности жилого комплекса.

Соответственно далее для работы с векторным слоем были использованы методы пространственного анализа [Окунев, 2020] для определения количественных характеристик жилищного строительства, а также методы геоинформационного картографирования для визуализации полученных результатов.

Учитывая возможности ЕИСЖС для исследования жилищного строительства, было определено несколько задач в рамках геоинформационного анализа:

- Определение ключевых территорий жилищного строительства за исследуемый период;
- Количественная оценка жилищного строительства на выделенных территориях;
- Учёт корпоративной специфики жилищного строительства на данных территориях;

- Рассмотрение особенностей пространственного поведения некоторых девелоперов.

Задача по определению ключевых территорий ввода жилья позволяет продемонстрировать одно из ключевых преимуществ данных из ЕИСЖС в сравнении со статистическими данными. Это возможность анализа не только по границам административно-территориального деления (АТД), но и по регулярной сетке ячеек или более объективным границам города, например, элементам планировочной структуры, такие как кварталы и микрорайоны [91]. Всё это достигается за счёт того, что данные из ЕИСЖС представляют собой точечные объекты, которые можно агрегировать по любым территориальным единицам. Данный подход позволяет учесть реальную картину пространственных явлений, искажаемых АТД [92]. Также есть возможность использовать методы пространственного анализа, в частности оценить степень концентрации или рассеянности жилищного строительства на основе пространственной автокорреляции, что, в частности, ранее было продемонстрировано авторами [93].

В свою очередь точечное представление данных также позволяет использовать плотностные алгоритмы кластеризации, например, Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) [94]. Данный алгоритм позволяет выделить области с высокой плотностью точек, которые разделены низкоплотными областями (шумы). При этом алгоритм позволяет выделить кластеры разнообразной формы, например, в виде полумесяца, что не получится сделать при сделать при использовании механизма k-средних.

Данный алгоритм используется в различных пространственных исследованиях для выявления зон локализации тех или иных объектов, в том числе в городских исследованиях. Соответственно алгоритм позволил выделить несколько территориальных зон концентрации жилищного строительства (с учётом морфологии застройки). Также был учтён ввод жилья по зонам «серого пояса» города и секторам агломерации. В рамках исследования решено дать названия территориям опираясь на их устоявшиеся названия в СМИ. Соответственно это либо названия населённых пунктов (например, Новоселье), рядом с которыми они расположены, либо гидрографические объекты (например, река Славянка) или транспортные объекты (например, Пулковское шоссе), (рисунок 9).

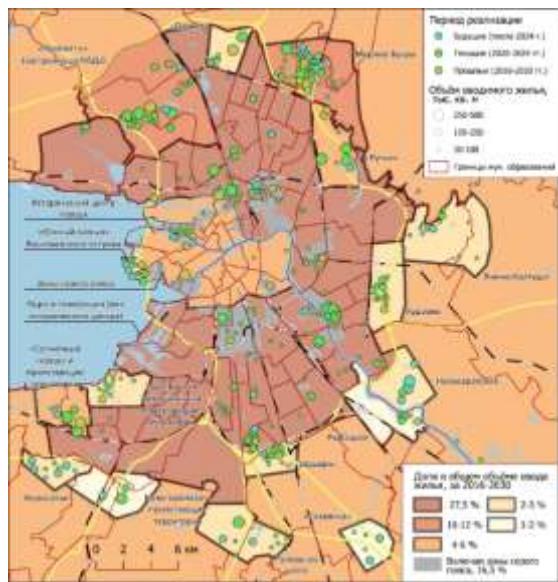


Рисунок 9 – Территориальная структура построенных/строительных жилых объектов в Санкт-Петербургской агломерации, за 2016-2030 гг., составлено автором по данным ЕИСЖС

Соответственно для количественной оценки интенсивности жилищного строительства по выделенным территориям возможно использовать возможности работы с атрибутивными таблицами ГИС [95], в частности для учёта относительной интенсивности строительства в тех или иных территориальных зонах. С учётом особенностей географического положения территорий в рамках агломерации можно судить о изменении пространственной распределения жилищного строительства (рисунок 10).

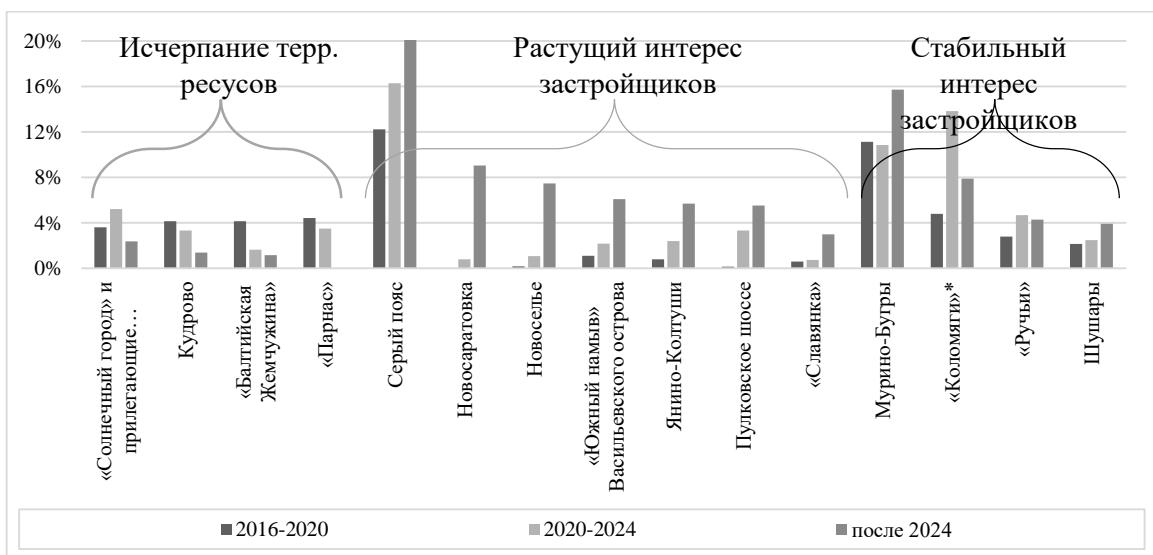


Рисунок 10 – Изменение интенсивности освоения территорий строительства застройщиками (доля от общего ввода жилья застройщиками), за 2016-2030 гг., составлено авторами по данным ЕИСЖС

Растущее количество территориальных зон, вкупе со снижением территориальных резервов внутри агломерации (за исключением «серого пояса») в целом свидетельствует о

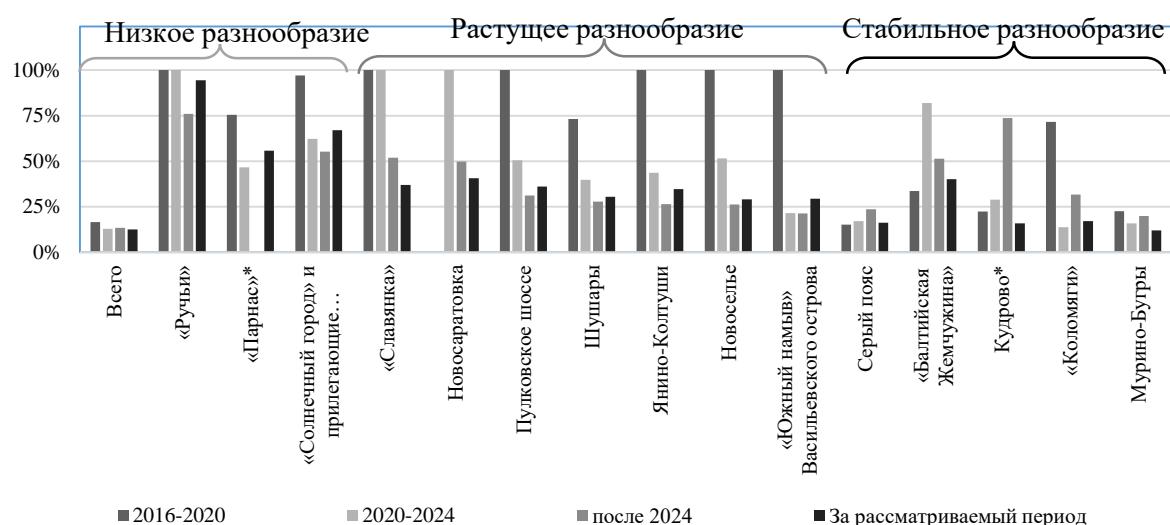
расширении экспансии девелоперов. При этом зачастую новые зоны не обеспечены внеуличным общественным транспортом, что будет негативно сказываться на транспортной системе агломерации будущем. Особенно серьёзной ситуация будет на востоке агломерации, где формируется новый город-спальня (commute town) вблизи д. Новосаратовка.

Как было описано ранее, важным элементом жилищного строительства являются девелоперы-застройщики, принимающие решения о жилищном строительстве. Их поведение на территории агломераций также меняется. Для оценки изменения разнообразия застройщиков на территории был использован индекс Херфиндаля-Хиршмана, обычно используемый для оценки степени монополизации того или иного сектора экономики, в том числе сектора жилой недвижимости [96].

Использовалась следующая формула индекса:

$$HHI_k = \sum_{i=1}^n S_{ik}^2 \quad (1)$$

где ННІ – индекс Херфиндаля-Хиршмана, k – одна из зон активного освоения застройщиками, i – один из 20 крупнейших застройщиков на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области за исследуемый период, n – количество анализируемых застройщиков, S_{ik} – доля компании i в объёме построенного и строящегося жилья на территории k. Чем выше значение индекса, тем ниже разнообразие застройщиков на территориальной зоне. Значение 1 означает отсутствие разнообразия застройщиков (рисунок 11).



Источник: составлено авторами по данным ЕИСЖС

Рисунок 11 – Изменение разнообразия застройщиков по территориям строительства (индекс Херфиндаля-Хиршмана), за 2016-2030 гг.

В большинстве территориальных зон можно отметить рост разнообразия застройщиков. Это свидетельствует об освоенческом формате развития жилищного строительства в территориальных зонах: жильё первым возводит 1 застройщик/девелопер. В дальнейшем разнообразие застройщиков, в случае успешности проекта увеличивается. При этом существуют территориальные зоны, которые девелоперы осваивают самостоятельно, «территориальная ниша» в контексте корпоративной географии. Например, это такие зоны как «Ручьи» - группа «ЛСР», «Парнас» – группа компаний «Главстрой-Регионы», «Солнечный город» - холдинг «Setl group».

В большинстве своём они не совпадают с границами муниципальных образований, которые зачастую не объективны, т.е. не представляют собой однородные территориальные единицы, отличающиеся от граничащих территориальных единиц. При этом по ним в большинстве своём собирается официальная статистика [97].

Сведения о застройщике жилых объектов в ЕИСЖС позволяют также рассмотреть особенности пространственного поведения конкретных экономических акторов. В контексте Санкт-Петербургской агломерации наибольший интерес представляют такие компании как холдинг «Setl Group», группа «ЛСР», группа «ЦДС», являющиеся крупнейшими застройщиками в агломерации, а также ГК «Самолёт» и ГК «ПИК», являющиеся крупнейшими застройщиками в стране и относительно недавно вышедшие на рынок Санкт-Петербурга и области (рисунок 12).

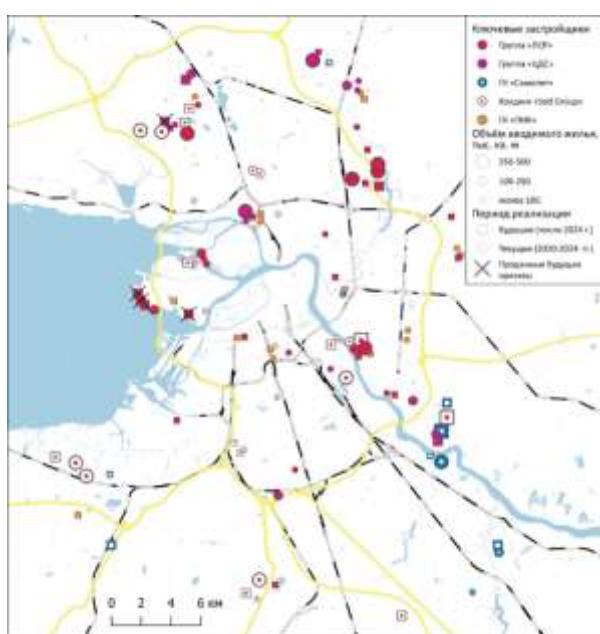


Рисунок 12 – ТERRITORIАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЖИЛИЩНЫХ ПРОЕКТОВ КРУПНЕЙШИХ ДЕВЕЛОПЕРОВ НА РЫНКЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ, СОСТАВЛЕНО АВТОРАМИ ПО ДАННЫМ ЕИСЖС

В целом можно отметить, что крупнейшие девелоперы в последние годы стали активнее заходить в зоны серого пояса агломерации. Реализация проектов на территории серого пояса позволяет застройщикам опираться на более платёжеспособных покупателей, чем в проектах на окраинах города. Этот фактор является крайне важным в условиях роста ключевой ставки и соответственно снижения доступности ипотечных кредитов для населения. При этом в настоящее время крупнейшие девелоперы масштабно осваивают только территорию вблизи д. Новосаратовка, где застройщики могут позволить себе продажу жилья по относительно низкой цене.

Также ЕИСЖС позволяет рассмотреть корпоративно-территориальный разрез при анализе ситуации в отрасли в целом. Например, одним из важных аспектов развития рынка недвижимости на современном этапе является показатель распроданности квартир. Зачастую он свидетельствует об эффективности девелоперов. Ситуация не равномерна по компаниям, а также и по жилым объектам. ЕИСЖС позволяет рассмотреть ситуацию по жилым комплексам. Например, распроданность квартир у холдинга «Setl Group» в жилых проектах в пригородах в среднем ниже, чем в том же сером поясе. При этом в проектах в сером поясе не наблюдается сильно снижения количества продаж после закрытия программы всеобщей льготной ипотеки в июле 2024 г., в отличие от проектов в пригородах.

На основе полученных результатов можно говорить о ряде преимуществ ЕИСЖС как источника данных для исследования жилищного строительства. Прежде всего они обеспечивают более репрезентативный анализ по 3 аспектам: пространство-компания-отрасль. Обеспечивается это по ряду причин.

Во-первых, наименьший элемент данных – это жилой дом с географическими координатами. Это позволяет агрегировать сведения по объектам по любым территориальным единицам [97]. В свою очередь данные статистики позволяют судить о процессах только на муниципальном и региональном уровне. Как ранее демонстрировалось авторами, для исследования жилищного строительства в агломерации целесообразно использовать данные из государственной информационной системы жилищного строительства (ГИС.ЖКХ), позволяющей рассмотреть строительство и индивидуальных и многоквартирных домов [93]. Однако использование данных из ЕИСЖС позволяет получить больше атрибутивных характеристик, а также в целом учесть корпоративный фактор. Также данные из ЕИСЖС могут быть крайне полезны при моделировании системы расселения, ведь они дают возможность учесть распроданность квартир и косвенно скорректировать численность жителей в жилых домах при моделировании плотности населения [98].

Во-вторых, учёт корпоративного фактора на основе сведений о застройщике. Как показало рассмотрение деятельности застройщиков, зачастую они отличаются наличием не только товарных ниш (например, жильё бизнес или элит класса), но и территориальных, как например 3 территориальные зоны в Санкт-Петербургской агломерации у 3 крупных девелоперов (рис. 5). При этом есть возможность проводить достаточно детальный анализ компаний, в частности рассматривать динамику продаж квартир на уровне отдельных жилых комплексов. При этом при классическом анализе в рамках корпоративной географии необходимо опираться на сбор данных по компаниям, отличающихся разной степенью раскрытия информации [99], что менее удобно, чем использование ЕИСЖС.

В-третьих, в рамках ЕИСЖС собирается и публикуется достаточно разнообразная информация о жилищном строительстве, которая отсутствует в государственной статистике: распроданность квартир, количество, объём и ставки по кредитам, квартиография строящихся домов, аналитика по банкам и многое другое. Фактически такие сведения являются существенным дополнением к таким показателям как ввод жилья и объём выполненных работ в секторе «строительство», используемых предшественниками при анализе жилищного строительства и влиянии на него внешних факторов [80], в том числе антироссийских санкций [79].

Несмотря на обозначенные преимущества ЕИСЖС, можно выделить ряд недостатков данного источника данных. Во-первых, это аспекты пространственной привязки данных. Как было обозначено ранее, расположение объекта определяется на основе проектной декларации, в которой, по сути, нет подходящего адреса для геокодирования в формате «субъект-улица-дом» [95], т.к. и адресов на территории нового жилищного строительства в целом и нет. В ЕИСЖС не обновляется адрес объекта и его расположение после ввода дома в эксплуатацию и соответственно невозможно скорректировать пространственное положение объекта за счёт адресного геокодирования. Это не позволяет быстро связать между собой данные из ЕИСЖС и ГИС.ЖКХ, которые, по сути, относятся к одному объекту, но имеют разные координаты. Возможно, имеет смысл использовать в рамках геокодирования номера кадастровых участков и получать их центроиды. В целом интеграция возможно и на основе добавления GUID из ГИС.ЖКХ к введённым эксплуатацию домам, что позволит связать две этих базы данных.

Во-вторых, в ЕИСЖС нет возможности отследить исторические изменения. Например, одним из результатов усиления антироссийских санкций в 2022 г. стал уход финского девелопера «YIT» с рынка Санкт-Петербургской агломерации. Проекты данной компаний были проданы группе компаний «Эталон», но в ЕИСЖС указан только один застройщик.

В-третьих, ЕИСЖС охватывает прежде всего сведения по проектным декларациям. Это уже достаточно высокий уровень девелоперского проекта, особенно в условиях проектного финансирования [84]. Однако значительные действия на рынке недвижимости происходят и на уровне земельных участков, особенно учитывая рыночный характер жилищного строительства [100]. Сведения по изменению владельцев жилищных участков можно получить только на основе публикаций в СМИ, что приводит к значительным ограничениям для количественного анализа данного сектора.

3.4 Адаптация пространственных стратегий крупнейших застройщиков жилой недвижимости Санкт-Петербурга к антироссийским санкциям

Новый виток геополитической и геоэкономической напряжённости (с 2022 года) привёл к введению радикальных антироссийских санкций, которые сильно повлияли не только на состояние финансового, но и реального сектора экономики России, ее регионов, городских агломераций и отдельных экономических агентов. Но сами санкции были и ранее 2022 года (еще с 2014 года), чем обусловлен более длительный период, рассмотренный в исследовании. Кроме того, внешние негативные воздействия тесно увязаны и с внутренними, в том числе спровоцированными извне, кризисными явлениями.

За последнее время накоплен богатый эмпирический и аналитический материал и исследования по оценке влияния антироссийских санкций на российскую экономику, в целом, а также появляются исследования по адаптационным стратегиям российских компаний.

Учитывая многовекторное и разнообразное влияние антироссийских санкций на российскую экономику, стоит остановиться на нескольких ключевых векторах, которые непосредственно затрагивают реальный сектор экономики как на общероссийском, так и региональном и городском уровне.

Прежде всего, возросли транзакционные издержки (в частности, усложнилась логистика и конечная стоимость импортной продукции) и снизились возможности для импорта сопутствующей продукции. При этом совпадающая с кризисом «демографическая яма», увеличение роли ВПК и уменьшение задействованных иностранных мигрантов привели трансформации рынка труда и к росту заработной платы. В конечном счёте в экономике растёт неудовлетворённый спрос (в том числе из-за дефицита предложения), который ведёт к росту инфляции в стране. Инфляцию пытается снизить Центральный банк России, изменяющий уровень ключевой ставки в стране. После относительной быстрой стабилизации ставки в 2022 г. к уровню до февраля и ставки ниже 10 % более года (с 14.06.2022 по 15.08.2023), уже в августе 2023 г. уровень ключевой ставки стал стабильно

расти и с конца октября 2024 г. составляет 21%. В конце октября 2025 года он был снижен до 16,5%.

Соответственно радикальные антироссийские санкции и рост ключевой ставки повлияли на многие сектора реальной экономики, в том числе на рынок жилой недвижимости. Начиная ещё с пандемии COVID-2019 в строительной сфере вопрос дефицит рабочей силы, а проблемы с поставками строительных материалов только усилились в 2022 г. При этом растёт финансовая емкость рынка жилья в мире и в России. В 2018-2019 г. был осуществлён переход на проектное финансирование в строительной отрасли в России и роль банковского сектора существенно возросла. Соответственно выросшая ключевая ставка привела к удорожанию девелоперских проектов (из-за роста стоимости проектного финансирования), а отмена «затянувшейся» льготной ипотеки привели к кризису на рынке недвижимости (прежде всего многоквартирного строительства) в 2024 г. По итогам этого года спрос на первичном рынке жилой недвижимости ожидаемо сократился. Падение составило 22%, число заключенных сделок по договорам долевого участия снизилось до 565 тысяч квартир. С учетом сделок в уже сданных домах, общий объем первичного рынка жилья России в 2024 году можно оценить в 700 тысяч квартир.

В рыночных условиях ключевую роль в развитии жилищного строительства и рынке недвижимости играют крупнейшие застройщики-девелоперы, чьи позиции только усиливаются в условиях развития проектного финансирования. Крупные застройщики-девелоперы на рынке придерживаются различных стратегий пространственного развития, реализуя проекты в своих территориальных нишах: в схожих локациях (например, проекты холдинга «Setl Group» в «сером поясе» Санкт-Петербурга), определённых частях агломерации (например, проекты в средних пригородах агломераций у ГК «А101») или на «базовых/якорных территориях» (например, проекты ИСГ «Мавис» на территории г. Мурино). В то же время застройщики различаются по своим подходам к создаваемым жилым комплексам (квартиография, благоустройство, развитие инфраструктуры) и даже не под влиянием властей, а в рамках своих маркетинговых стратегий. Т.е. вносится различный вклад в развитие городской среды. В масштабе агломерации жилищное строительство в городах влияет на развитие системы расселения, распределение мест приложения труда, транспортные потоки, а также обеспечивает миграционную привлекательность территорий.

В конечном итоге радикальные антироссийские санкции и усиливаемый ими экономический кризис 2022 г., оказывая влияние на крупных девелоперов, влияют на пространственные особенности жилищного строительства крупнейших городских

агломерациях страны. Также кризис 2022 г. несёт угрозы для достижения национальной цели развития России «... увеличение объема жилищного строительства не менее чем до 120 миллионов кв. метров в год» и «...обеспечение граждан жильем общей площадью не менее 33 кв. метров на человека к 2030 году и не менее 38 кв. метров к 2036 году;». На территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области при этом с 2024 по 2030 г. должно возводиться порядка 6-7 млн кв. м жилья ежегодно, для чего необходимо освоение множества территорий в пригородной зоне Санкт-Петербургской агломерации.

Соответственно анализ влияния экономических кризисов последних лет (пандемия в 2020 г., антироссийские санкции в 2022 г.) на стратегии пространственной экспансии крупнейших застройщиков-девелоперов в Санкт-Петербургской агломерации (на которую приходится порядка 7-8 % объёма ввода жилья в стране за последние 5 лет) является крайне актуальным направлением исследований, учитывая комплексный эффект от жилищного строительства на развитие агломераций, и, страны, в целом.

Таким образом, через выявление факторов кризиса, вызванного радикальными антироссийскими санкциями 2022 г., усилившим ряд тенденций отрасли в целом, будут определены траектории адаптации к кризису со стороны крупных жилищных девелоперов. Выявленные траектории адаптации в дальнейшем возможно будет использовать девелоперам из других крупнейших агломераций. В свою очередь будет рассмотрено, как выявленные адаптации повлияют на территориальное развитие Санкт-Петербургской агломерации в целом.

Жилищное строительство и рынок недвижимости исследуется на основе разнообразных пространственных и экономических источников данных, что определяет возможность применения междисциплинарного подхода. В рамках данного исследования использованы данные из единой информационной системы жилищного строительства (ЕИСЖС) от ДОМ.РФ. В рамках ЕИСЖС застройщики России публикуют проектные декларации и свидетельства о разрешении на ввод в эксплуатацию, на основе которых формируется сведения об их пространственном расположении (на уровне точки в пространстве с географическими координатами), информация о жилых комплексах, в частности объемы площадей, квартирография и т.п. Также в рамках системы агрегируются сведения о продажах квартир застройщиками (что уже используется для исследования рынков жилья не только в сфере консалтинга, но и в академической сфере. В рамках исследования были использованы следующие виды данных из ЕИСЖС:

1) Локализация и основная информация о жилищных проектах застройщиков, работающих на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Данные сведения охватывают большинство многоквартирных домов, построенных в Петербурге и

Ленинградской области в период с 2017 по 2024 г. и строящихся в период 2025-2028 гг. (порядка 3 тыс. записей). Жилые комплексы, которые по сути являются одним масштабным проектом, но имеют несколько проектных деклараций для разных корпусов, а также введены в эксплуатацию в 1 из 3 исследуемых периодов, объединены в кластеры.

- 2016-2020 г., т.е. до новых кризисов в отрасли и полного перехода к проектному финансированию. Относительно стабильный период, с той же длительностью, что и у 2 периода;
- 2020-2024 гг., когда отрасль жилищного строительства и рынок жилья трансформировался под влиянием перехода к проектному финансированию, введению льготной ипотеки. При этом на отрасль влияли кризисы 2020 и 2022 г.;
- После 2024 г., когда формируются новые условия развития отрасли, в связи с прекращением льготной ипотеки и «IT-ипотеки», высокого уровня ключевой ставки, ограничивающего возможности кредитования застройщиков и населения.

Для идентификации периода ввода жилья использовался такой параметр как «выдача ключей». Это ключевой временной параметр в рамках проектного финансирования жилья, который свидетельствует о полной готовности жилого комплекса. Данные из системы ЕИСЖС по объектам недвижимости были получены с помощью парсинга из HTML. Для этого была использована библиотека «Beautiful Soup» для языка программирования Python, позволяющую извлекать информацию из языков разметки (html, xml). Рассмотрены прежде всего многоквартирные жилые дома (МКД). Сведения о строительстве индивидуальных жилых домов (ИЖС) в ЕИСЖС практически не публикуются, т.к. люди зачастую самостоятельно их возводят.

2) Аналитические сведения по рынку жилья: количество выданных кредитов, опубликованных объявлений и объемах строительства.

Дополнительным источником информации становились публикации в СМИ, в том числе профильных по рынку недвижимости. Сведения из СМИ позволяли уточнить историю купли-продажи жилых комплексов и планы девелоперов, а также узнать информацию по сделкам по земельным участкам.

Использование данных по жилым комплексам в исследовании соответствует тенденции в геоурбанистике по использованию данных на уровне точечных объектов, а не агрегированных сведений по муниципальным образованиям. Опора на данные по точечным объектам активно использовались Куричевым Н.К., Куричева Е.К. в исследованиях по Московской агломерации. В частности, это позволяло рассматривать интенсивность жилищного на уровне поясов и секторов агломераций или по степени удалённости от центра. Данный подход позволяет опираться на данные не по муниципальным

образованиям, а по произвольным территориальным единицам, будь то элементы планировочной структуры или ячейки регулярной сетки. У исследователей появляется возможность контролировать и снижать проявление эффекта изменяемых площадных ареалов. Также стоит отметить, что существуют риски снижения доступности данных статистики со стороны органов государственной власти, в целях снижения санкционных рисков, поэтому внедрение альтернативных источников данных для географических исследований, в том числе в геоурбанистике является крайне необходимым.

Важной особенностью данных из ЕИСЖС является наличие сведений о принадлежности жилых комплексов тем или иным застройщикам. Более ранние исследования опирались на сведения реестра объектов жилищного фонда, из ГИС.ЖКХ или реформа ЖКХ, что позволяло рассматривать пространственную динамику ввода жилья только на уровне территорий. В свою очередь сведения из ЕИСЖС позволяют применить подходы корпоративной географии, в частности для анализа пространственных стратегий девелоперов на рынке недвижимости. Корпоративный подход к исследованию территориальных структур в агломерации уже применяется, в частности при исследованиях размещения логистических комплексов ритейлерами, выбирающих различные стратегии пространственного развития. Особое внимание в рамках исследования уделялось увеличившемуся количеству сделок по купле-продаже земельных участков и проектов жилых комплексов между девелоперами, что свидетельствует об изменениях на рынке недвижимости.

Активность компаний на рынке жилищного строительства в период кризиса 2020 и 2022 г. отличалась сезонностью, а также проявлением реакций на институциональные факторы, прежде всего программы льготного кредитования и уровень ключевой ставки (рисунок 13).



Источник: составлено авторами по данным ЕИСЖС

Рисунок 13 – Динамика количества объявлений застройщиков о новых жилых комплексах, всего и по классам жилья, по кварталу за 2019-2024 гг.

На рисунке 13 обозначены 4 класса жилья. Данные классы жилья не имеют нормативно-правового статуса в законодательстве. В ЕИСЖС они определяются самими застройщиками. Т.е. можно рассмотреть структуры ввода жилья только с учётом позиционирования со стороны застройщика. Для того чтобы обозначить примерное различие в уровне классов жилья можно рассмотреть такой ряд жилых комплексов: ЖК «Октябрьская набережная» (типовой) → ЖК «Аэронафт» (комфорт) → ЖК «Лермонтовский 54» (бизнес) → ЖК «Нева Резиденс».

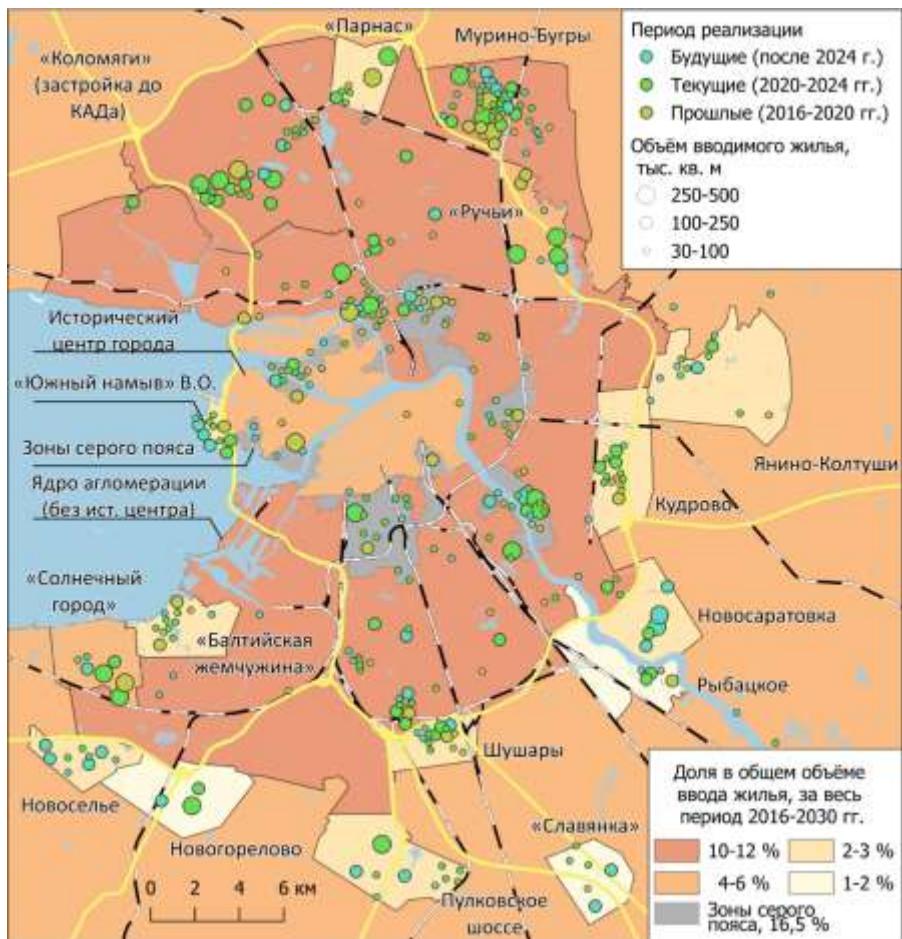
Ещё до кризисов 2020 и 2022 г. значительное влияние на отрасль оказал переход к эскроу-счетам и соответственно проектному финансированию в отрасли. Девелоперы массово публиковали проектные декларации проектов и обеспечивали наличие 10% заключенных договоров о долевом строительстве, для того чтобы сократить объём сделок по эскроу-счетам. Граждане, в свою очередь, проявляли повышенный спрос, стараясь купить более дешёвые квартиры по договорам долевого участия, а не более дорогим эскроу-счетам. Проектное финансирование привело к удорожанию проектов для девелоперов и росту стоимости жилья для покупателей, но повысило устойчивость сектора жилищного строительства. Снижение показателей в отрасли усилилось в период пандемии, когда ограничения привели к проблемам не просто с наймом сотрудников (в том числе иммигрантами) и поставкой строительных материалов, но и остановкой строек в целом.

Начиная с конца 2020 г., застройщики активизировались, т.к. стал восстанавливаться спрос на рынке жилья за счёт государственной поддержки строительной отрасли, в том числе за счёт льготной ипотеки.

Соответственно после относительного выхода из кризиса 2020 г. (снятие большинства ограничений в России и мире), со 2 квартала 2021 г. начался рост уровня ключевой ставки: цены на квартиры стали дополнительно расти, а спрос на недвижимость стал падать. Соответственно к моменту начала кризиса 2022 г. количество публикуемых застройщиками объявлений снизилось. В дальнейшем отрасль восстановилась, но в 2023 г. интенсивность застройщиков на рынке значительно возросла. В условиях роста разницы между ставкой по льготной ипотеке и ключевой ставкой, появились сообщения о планах по прекращению «затянувшейся» льготной ипотеки, на что застройщики отреагировали стремительным выводом на рынки новых проектов. К 1 кварталу 2024 г., когда стало окончательно ясно, что льготная ипотека не будет продлена, застройщики опубликовали малое количество объявлений. Небольшая активизация в 4 квартале 2024 г. связана с сезонностью (вывод проектов в конце год под наибольший спрос) и также попытками адаптаций к сложившимся условиям на рынке среди застройщиков.

Территориальная структура ввода жилья застройщиками в Санкт-Петербургской агломерации изменялась за рассматриваемый период. В рамках агломерации следует выделить несколько территориальных зон, где застройщики вводили наибольшие объёмы жилья. Данные *территориальные кластеры* были выделены на основе использования *плотностного алгоритма кластеризации DBSCAN* (позволяет выделять территориальные кластеры различных точечных объектов и с учётом морфологии застройки. В большинстве своём они не совпадают с границами муниципальных образований, которые зачастую не объективны, но по которым собирается официальная статистика. Официальные названия и устоявшиеся границы имеют не все территориальные зоны).

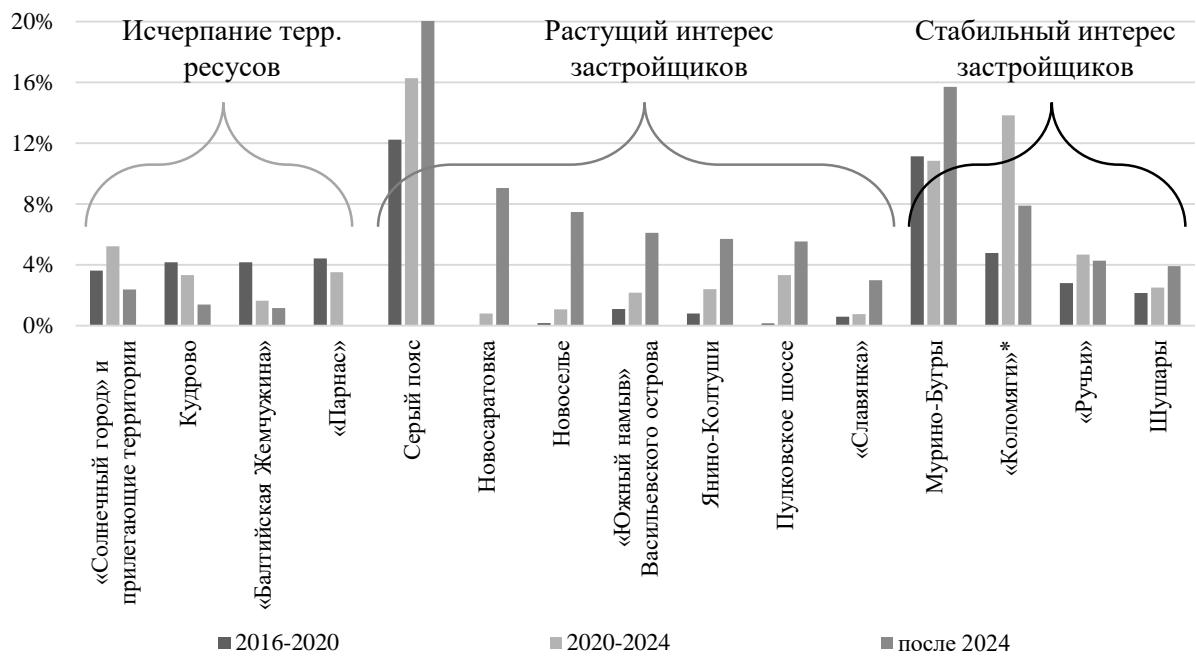
В рамках исследования решено дать названия территориям опираясь на их устоявшиеся названия в СМИ. Соответственно это либо названия населённых пунктов (например, Новоселье), рядом с которыми они расположены, либо гидрографические объекты (например, река Славянка) или транспортные объекты (например, Пулковское шоссе), либо исторически сложившиеся названия («серый пояс»). Данные кластеры представлены на рисунке 14.



Источник: составлено авторами по данным ЕИСЖС

Рисунок 14 – Территориальная структура построенных и строящихся жилых комплексов застройщиков в Санкт-Петербургской агломерации, за 2016-2030 гг.

Интенсивность строительства в рамках кластеров изменилась. Это связано как с приоритетностью освоения данных кластеров для девелоперов, так и с наличием свободных площадей для застройки, которые в части зон уже были практически исчерпаны. Интенсивность застройки по основным территориальным кластерам представлена на рисунке 15.



Источник: составлено авторами по данным ЕИСЖС

Рисунок 15 – Изменение интенсивности освоения территориальных зон застройщиками (доли от общего ввода жилья застройщиками), за 2016-2030 гг.,

Ключевую роль в вводе играет территориальная близость к ядру агломерации, наличие территориальных резервов и присутствие на территории других застройщиков. Территориальные резервы исчерпаны в таких известных зона массовой жилой застройки как Кудрово и «Парнас», застроенных уже до КАД. Также на территории микрорайона «Балтийская Жемчужина» практически закончились участки для застройки, а земельные участки вблизи микрорайона «Солнечный город» не столь привлекательны для застройщиков, т.к. согласно генеральному плану Санкт-Петербурга там функциональная зона «Ж2 – зона застройки малоэтажными жилыми домами», не столь выгодная для девелоперов.

В свою очередь освоение территориальных зон Мурин-Бугры и Коломяги, наиболее интенсивно на протяжении всего рассматриваемого периода. Интерес застройщиков к данным территориям связан с их близостью к Санкт-Петербургу и возможностью для реализации крупных проектов. Несмотря на удалённость станции метро и железнодорожной станции «Девяткино», изначальная близость к Петербургу уже городов Мурин и Бугры позволяет девелоперам относительно успешно продолжать застройку на север, даже сращивая их в виде полукольца. Территория Коломяги является одной из самых ценных в агломерации, т.к. находится в пределах КАД.

В целом следует выделить 6 территорий, где застройщики увеличили количество новых проектов. Причины развития в них разные. На территории «Новоселье» близость к автомагистралям и успехи первых качественных жилых проектов, обусловили рост количества жилых проектов и девелоперов на территории. Схожая ситуация по застройке вдоль Пулковского шоссе, но дополнительном стимулом для покупателей является регистрация в г. Санкт-Петербург. Стимулом для застройщиков на территории Славянка стало начало работ по строительству трамвайной линии до одноимённого микрорайона. Освоение вблизи пока д. Новосаратовка отличается схожестью с Мурино и Кудрово на первых этапах: застройка выше 20 этажей (позволит разместить до 158 тыс. чел.), позволяющая получить максимальную прибыль застройщикам. В целом на привлекательность рассмотренных выше территорий для застройщиков и покупателей влияет цена, которая в пригородах зачастую ниже, чем в ядре агломерации.

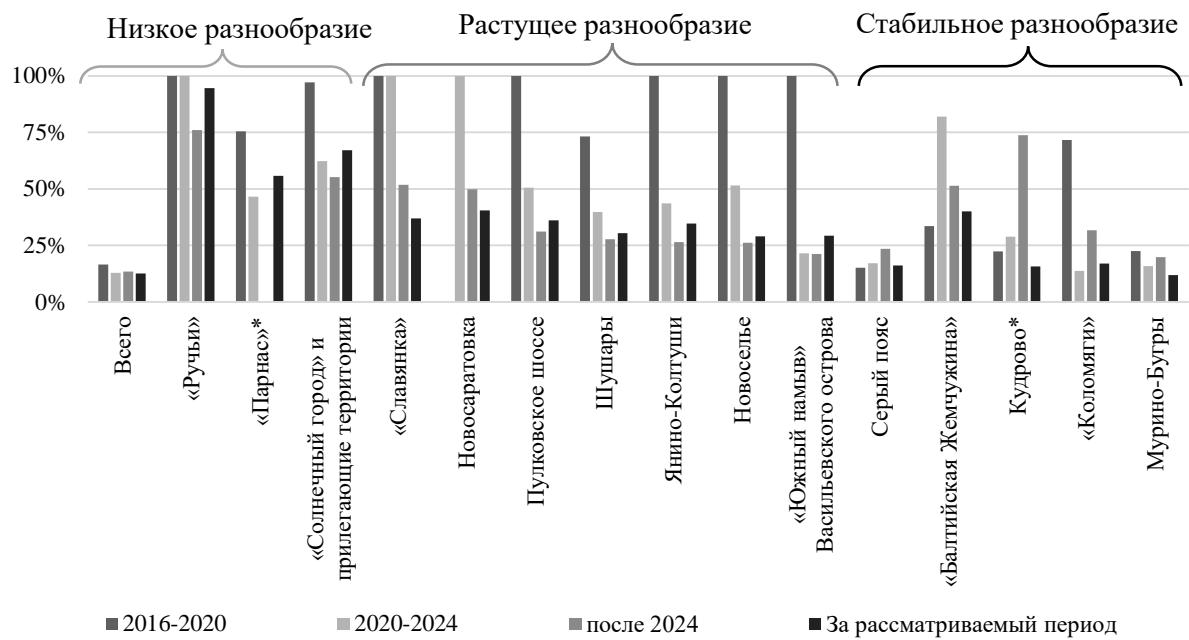
Особая ситуация с намывными территориями, где активизация застройки произошла после перехода прав на создание намыва и его последующую застройку группе «ЛСР» от компании АО «Терра Нова» в 2020 г. и решения о создании улично-дорожной сети к 2024-2025 гг. в 2022 г. Соответственно с 2022 г. застройщики перешли к освоению наиболее интересных участков на первой береговой линии.

Помимо изменения интенсивности застройки, в территориальных зонах изменилось соотношение девелоперов, реализующих проекты.

Для оценки изменения пространственного поведения застройщиков на различных территориальных зонах был использован индекс Херфиндаля-Хиршмана, обычно используемый для оценки степени монополизации того или иного сектора экономики, в том числе сектора жилой недвижимости [31]. Использовалась следующая формула индекса:

$$HHI_k = \sum_{i=1}^n S_{ik}^2 \quad (2)$$

где НИ – индекс Херфиндаля-Хиршмана, k – одна из зон активного освоения застройщиками, i – один из 20 крупнейших застройщиков на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области за исследуемый период, n – количество анализируемых застройщиков, S_{ik} – доля компании i в объёме построенного и строящегося жилья на территории k. Чем выше значение индекса, тем ниже разнообразие застройщиков на территориальной зоне. Значение 1 означает отсутствие разнообразия застройщиков. Соответственно изменение индекса Херфиндаля-Хиршмана представлено на рисунок 16.



Источник: составлено автором по данным ЕИСЖС

Рисунок 16. Изменение индекса Херфиндаля-Хиршмана по разнообразию застройщиков на территориальных зонах, за 2016-2030 гг.

На большинстве рассматриваемых территорий разнообразие застройщиков, реализующих проекты увеличилось. На это повлияло 2 фактора.

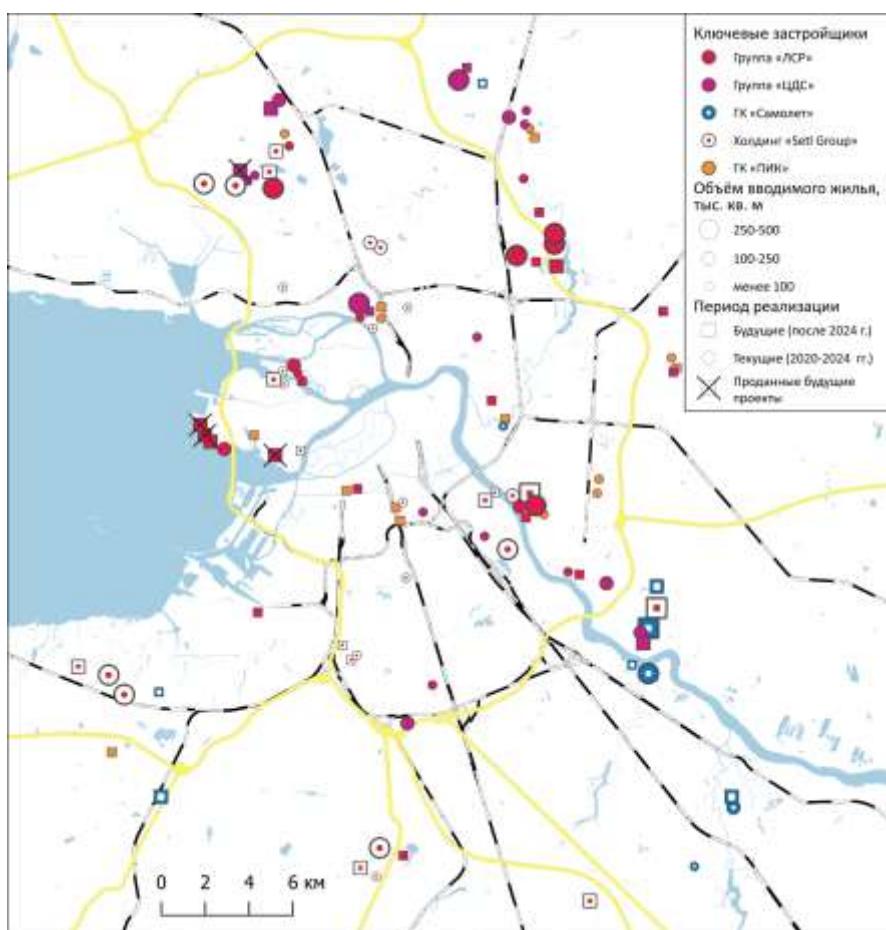
Во-первых, появление новых игроков на новых территориях (за счёт покупки земельных участков), после успеха «первоходцев» (Новоселье, Пулковское шоссе, Новосаратовка).

Во-вторых, это активизация сделок по перепродаже проектов между девелоперами («Южный намыв» Васильевского острова, Серый пояс, Коломяги). При этом есть precedents, когда застройщики практически не изменяют проекты: 1 очередь проекта «Новая Земля» от холдинга «Legend» имеет те же архитектурно-планировочные решения, что и ранее в проекте группы «ЛСР». Данные действия застройщиков отчасти связаны с изменением налогового законодательства в городе в Санкт-Петербурге в 2024 г., вступившим в силу в 2025 г.: налогов на участки, предназначенные под жилищное строительство увеличился в 30 раз, из-за чего издержки на содержание большого банка земли увеличились.

В целом в городе и в наиболее крупных зонах освоения (Мурино-Бугры, Коломяги) значения индекса Херфиндаля-Хиршмана остаётся стабильно низким. В то же время стоит отметить ситуацию в «Парнасе» и Кудрово: из-за исчерпания территориальных резервов там либо уже нет проектов («Парнас»), либо достраиваются единичные проекты на оставшихся участках (Кудрово).

С корпоративной точки зрения интенсивность освоения пригородных зон связана с их большей доступностью для девелоперов (из-за меньшей цены). Из-за этого в пригородных зонах растёт количество проектов от застройщиков бизнес-класса, таких как компания «Glorax» (проекты в Новоселье и д. Михайловка), группа «Эталон» (проекты рядом с Пулковским шоссе, в Шушарах) и др. В то же время, пригородные территории выбирают и новые застройщики в агломерации. Например, архангельская группа «Аквилон» (Кудрово, Янино-Колтуши, Шушары), уже федеральный застройщик «Брусника» (Новоселье), ГК «ПИК» (Янино-Колтуши, Новоселье).

Наибольший интерес с точки зрения пространственной стратегии представляют крупнейшие застройщики на рынке. Это 3 крупнейших по вводу жилья в Санкт-Петербурге девелопера (Холдинг «Setl Group», группа «ЛСР», группа «ЦДС») и два крупнейших девелопера в стране, недавно зашедших на рынок агломерации (ГК «Самолет» и ГК «ПИК»). Рассмотрено прежде всего территориальное распределение реализуемых проектов в период кризисов (2020-2024 гг.) и ближайшие планы (после 2024 г.), (рисунок 17).



Источник: составлено автором по данным ЕИСЖС

Рисунок 17 – Территориальная структура жилищных проектов крупнейших девелоперов на рынке Санкт-Петербургской агломерации

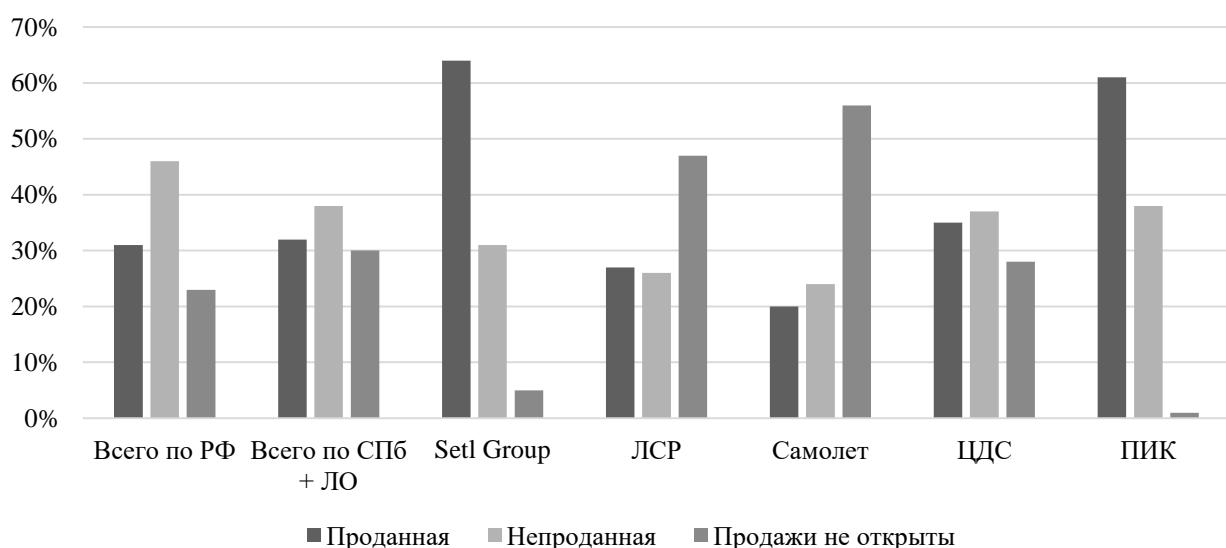
В целом у компаний территориальная структура проектов за кризисный период и будущий период различается слабо, т.к. они продолжают освоение ряда территорий в агломерации, в частности Ручьи у группы «ЛСР», Каменка у группы «ЦДС» и холдинга «Setl Group». Относительно новыми для застройщиков являются некоторые территории в рамках «Серого пояса», а также освоение территорий в д. Новосаратовка. При этом в целом можно выделить особенности развития пространственных стратегий экспансии по застройщикам.

Холдинг «Setl Group» имеет достаточно широкую географию проектов. До 2020 г. компания в основном ориентировалась на проекты масштабного жилищного строительства преимущественно комфорта и типового класса (термины в рамках ЕИСЖС). Такими проектами является ЖК «Greenландия-1» и ЖК «Greenландия-2» в Мурино (порядка 430 тыс. кв. м жилой площади согласно данным ЕИСЖС), множество очередей ЖК «Чистое Небо» на территории Коломяги (около 1200 тыс. кв. м), множество очередей ЖК «Солнечный город» (около 1200 тыс. кв. м).

После 2024 года компания продолжает реализовать проект ЖК «Город Звёзд» схожего формата в д. Новосаратовка и планирует построить порядка 360 тыс. кв. м жилой площади. В будущем стоит ждать ещё одного масштабного проекта на купленных земельных участках в д. Коломяги. Влиянием кризиса в данной ситуации можно считать, то, что компания пока не перешла к строительству жилых комплексов на участках в территории Коломяги. В период кризиса компания расширила географию проектов. Она стала реализовывать больше проектов бизнес-класса на территории «серого пояса», где ранее работали другие застройщики. Например, ЖК «Svetlana park» на месте бывшего завода «Светлана» или ЖК «Стрижи в Невском» на месте завода «Трубосталь» и др. Также компания в наиболее выгодных локациях серого пояса начала реализовывать проекты элитного класса, в частности ЖК «The One» и ЖК «Петровский квартал на воде» на Петровском острове и ЖК «Imperial Club» на набережной Лейтенанта Шмидта. «Серый» или «железный пояс» представляет собой совокупность промышленных зон, сформировавшихся в городе на Неве к началу XX века. В то время это были промышленные окраины города, ныне же это плотную примыкающие к историческому центру территории, вблизи водных путей (Обводный канал, Нева, Смоленка и др.). Данный пояс пользуется интересом у покупателей из-за близости к центру и водного (близость к водным артериям) фактора, поэтому с нарастающей интенсивностью застраивается, начиная с 2010-ых. Стимулирующим фактором для застройки этого ареала стало принятие нового генерального плана города, в котором больше территорий в «сером пояссе» были переведены в деловую и жилую зону. Отметим, что этот ареал интересен для застройщика с точки зрения высокой

инфраструктурной и социальной обустроенностю этих территорий. Здесь присутствует необходима транспортная и социальная инфраструктура, а значит их стоимость объективно выше. Приход в «серый пояс» позволяет компании меньше зависеть от уровня ключевой ставки, т.к. проекты в нём ориентированы на более платёжеспособный спрос и соответственно снизить зависимость от ипотечного кредитования. В долгосрочной перспективе это позволит компании быть более финансово устойчивой за счёт диверсификации.

Группа «ЛСР» отличалась более широкой географией проектов. Имелись зоны массового жилищного строительства, в частности на территории «Ручьи», проекты в сером поясе бизнес (например, ЖК «Цивилизация» на месте бывшего завода «Реактив») и элитного класса (например, ЖК «Нева Хаус» на Петровском острове), а также проекты в историческом центре города (например, ЖК «Русский дом»). В то же время компания с 2020 года активно осваивает намывные территории на Васильевском острове, создавая земельные участки на северных и застраивая оставшиеся участки на южных намывных территориях. Начиная с 2023 года, компания стала активно менять свой портфель проектов. Группа «ЛСР» продала 2 крупных земельных участка на намывных территориях, 1 в зоне «Серого пояса» (завод «Севкабель») и 1 на Петровском острове. По всей видимости это ответ компании на падение финансовых результатов в 2023 и 2024 годах. Скорее всего компания не справляется с нагрузкой в рамках освоения намывных территорий, а также отличается одним из самых низких показателей распроданности жилья среди рассматриваемых девелоперов (с учетом не открытых продаж порядка 73 %), (рисунок 18).



Источник: составлено автором по данным ЕИСЖС

Рисунок 18 – Реализация жилых площадей в проектах крупнейших девелоперов, по состоянию на декабрь 2024 г.

Проекты группы «ЦДС» схожи с проектами массового окраинного жилищного строительства холдинга «Setl Group». Компания реализует как крупные проекты в зоне пригородов (например, ЖК «Новые Горизонты» в г. Бугры на 270 тыс. кв. м жилой площади или ЖК «Город Первых» в д. Новосаратовка на 275 тыс. кв. м), так и проекты среднего масштаба, в рамках совместного освоения крупных территорий с несколькими застройщиками (например, ЦДС «Dreamline» на территории «Коломяги»). Компания также в период кризиса начала выводить на рынок проекты в сером поясе, но с меньшей интенсивностью чем тот же холдинг «Setl Group». В существенно меньших масштабах чем у группы «ЛСР», но всё же проявляется продажа земельных участков с готовой документацией, в частности на территории «Коломяги» компаний «Glorax» и группе «RBI». Компания является одной из крупнейших, кто осваивает земельные участки на территории д. Новосаратовка. В то же время, компания скорее всего также, как и группа «ЛСР» ощущает финансовые трудности и поэтому продаёт свои земельные участки (рисунок 18).

ГК «Самолет» по объёму текущего строительства в 2023-2024 г. обошёл традиционного лидера отрасли, ГК «ПИК».

«Самолет» является относительно новым игроком на рынке недвижимости Петербургской агломерации. Компания в основном реализует проекты комфорт и типового класса в пригородах агломерации, а также является единственной компанией, реализующей проекты реновации в г. Санкт-Петербург.

На реновацию у компании приходится порядка 60 % введённого в эксплуатацию жилья, однако в большинстве своём это окраинные территории (например, ЖК «Живи в Рыбацком») или пригородные (ЖК «Новое Колпино» в г. Колпино или ЖК «Живи в Курортном» в п. Песочный). Проекты в пригородной зоне Санкт-Петербурга у ГК «Самолет» расположены на множестве территорий. Крупнейшие на территориях вблизи д. Новосаратовка. Также как и у группы «ЛСР», ГК «Самолет» имеет финансовые трудности, но пока продажи земельных участков касаются прежде всего территорий в Московской агломерации. Стоит также ожидать постепенного снижения активности компании, в том числе в Санкт-Петербургской агломерации.

ГК «ПИК» до недавнего времени являлся крупнейшим застройщиком в стране по объёму строящегося жилья. В Санкт-Петербургской агломерации компания достаточно новый игрок. В рамках агломерации компания изначально купила участки на территории «Коломяги» и в сером поясе, но в 2020 году приобрела земельные участки и стала строить жильё в пригородах: Янино, Кудрово, Новоселье. Далее компания приобрела в 2023-2024 гг. земельные участки в зоне «Серого пояса», перейдя к своей классической стратегии редевелопмента, которую компания реализует в Московской агломерации. В свою очередь

компания, в меньшей степени чем группа «ЛСР», продавала земельные участки с готовой документацией. Например, сером пояссе вблизи ЖД станции «Боровая» в 2023 г. и в пригороде Янино в 2024 г. Соответственно общей тенденцией среди крупнейших застройщиков (кроме холдинга «Setl Group») в последние 1-2 года является продажа земельных участков, в том числе ряда участков с готовой документацией. Покупали же данные земельные участки преимущественно те застройщики, которые ориентированы на строительство жилья бизнес класса (например, группа «RBI», холдинг «Legend»). Наиболее явно данный тренд выражен у группы «ЛСР». В то же время, в период пандемии девелоперы расширяли географию проектов бизнес и элитного класса в «Сером поясе» и продолжают это делать (особенно холдинг «Setl Group»).

На основе рассмотрения данных из системы ЕИСЖС и полученных сведений из СМИ, можно выделить несколько факторов сложившегося кризиса в отрасли жилищного строительства, вызванного радикальными антироссийскими санкциями (таб. 1). Исходя из систематизированных реакций застройщиков (таблица 4) сформулируем основные эффекты от радикальных антироссийских санкций, которые корректируют траектории адаптации пространственных стратегий ключевых застройщиков:

- Наиболее ярко выраженный эффект от радикальных антироссийских санкций связан с уходом иностранных компаний с рынка жилой недвижимости Санкт-Петербургской агломерации.

Активы компаний, в том числе проекты, были выкуплены крупными девелоперами, как например корпорация «YIT» группой «Эталон».

- Более масштабный эффект на рынок оказывает изменения в финансовом секторе, связанные с антироссийскими санкциями косвенно.

Удорожание кредитов ведёт к снижению интереса крупных застройщиков к проектам в пригородах, с большими объёмами продаваемой жилой площади, но большей ролью ипотечного кредитования (согласно данным ЕИСЖС). Реакций является прежде всего оптимизации портфелей проектов и земельных участков у таких крупнейших застройщиков как группа «ЛСР» и группа «ЦДС».

- Застройщики наращивают интерес к зоне «серого пояса», которую можно позиционировать как территорию с максимальной инвестиционной ценностью, но требующей значительных капиталовложений «в очистку от результатов прошлого промышленного использования». Такой интерес наблюдается как со стороны крупнейших компаний (например, «Setl Group»), так и девелоперов меньшего масштаба, специализирующихся на проектах «бизнес-класса» и «элитного класса жилья».

- Помимо изменения географии проектов в Санкт-Петербургской агломерации, характерен как выход местных застройщиков на другие рынки, прежде всего городов-миллионников, так и выход на рынок агломерации. Отрасль стараются также поддержать институционально, изменяя нормативно-правовую базу (НПБ) в сторону застройщиков.

Таблица 4 – Адаптационные стратегии застройщиков на рынке Санкт-Петербурга и агломерационной зоны

Адаптационная стратегия	Сильная сторона для застройщика / для города	Слабая сторона для застройщика / для города
Стратегия пространственной экспансии (для местных застройщиков) с вовлечением наиболее «дорогих» и инфраструктурно-привлекательных городских территорий, включая зоны «серого пояса» с ориентацией на новый средний класс (<i>молодые семьи, семьи военнослужащих, ИТ-специалисты, инвесторы</i>)	Уплотнение городского пространства / Рост отдачи от городской земли Повышение отдачи от приобретенных в центральных районах города земельных участков / Рост налоговых отчислений	Высокие затраты застройщика на «очистку» земельных участков / Нагрузка на транспортные сети и социальную инфраструктуру Высокие ожидания покупателей / Рост общественной активности Высокая стоимость проектов / Риски достройки за счет города (большой % нереализованных квартир)
Стратегия «освоения Северной столицы» для федеральных и региональных застройщиков из других регионов: жильё бизнес и элитного класса в спорных локациях	Рост конкуренции на рынке при повышении качества и снижении цены, ожидание инновационных решений / Селективный отбор к деловым партнерам	Усиление социальной сегрегации в наиболее привлекательных пригородных территориях; Высокий риск долгосрочной окупаемости инвестиций
Стратегия экспансии местных застройщиков в пригородную зону через покупку участков для дальнейшего освоения через малоэтажные проекты и «нишевые проекты»	Ориентация на платежеспособные группы населения (государственная поддержка) / Высвобождение ресурсов	Рост расходов на развитие инфраструктуры и брендирование / Уход крупных проектов в Ленинградскую область
Стратегия постепенного отказа от наиболее масштабных кварталов эконом-класса в «городах-спальнях» (Бугры, Кудрово, Мурино и др.)	Более высокая стоимость проектов и объектов при более высокой рентабельности / Снижение социальной, транспортной и иной напряжённости	Кастомизация и более заметные инвестиции в брендирование проектов в городе / Наращение дефицита рабочей силы и снижение суточных миграций (снижение доходов транспортного сектора)

Источник: составлено авторами

Таблица 5 – Реакции девелоперов на рынке жилой недвижимости на факторы кризиса, вызванного радикальными антироссийскими санкциями после 2022 г.

Факторы кризиса	Реакция на фактор	Группа девелоперов 1	Группа девелоперов 2	Доп. факторы	Влияние на агломерацию
Повышение ключевой ставки, отмена льготной ипотеки, рост стоимости проектного финансирования	Повышение активности в секторе жилья бизнес и элитного класса	Расширение географии строительства и земельного банка в «сером поясе» у крупнейших девелоперов	Активизация застройщиков сегмента бизнес и элитного класса, выкуп участков у крупнейших девелоперов	Новый ген. план города с новыми жилыми зонами в сером поясе и высвобождение денег с эскроу-счетов у девелоперов	Ускорение редевелопмента «Серого пояса» и расширение разнообразия жилых проектов
	Отказ от проектов в пригородах, сильнее всего зависящих от ипотечного кредитования	Продажа земельных участков с готовой документацией крупными девелоперами	Покупка участков компаниями, специализирующимися на пригородных территориях	Всё меньшая транспортная доступность новых ЖК в пригородах, рост популярности ИЖС	Снижение темпов застройки пригородов МКД и развитие ИЖС в пригородах
	Расширение географии проектов вне агломерации, выход застройщиков на новые рынки	Масштабный выход на новые рынки: группа «Эталон», в меньшей степени компания «Glorax»	Приход на рынок крупных застройщиков из других регионов: бизнес и элитного класса «Брусника», комфорт класса с освоением пригородов «А101»	Стремление к диверсификации проектов компаний для повышения стабильности	Повышение стабильности местных застройщиков, повышение разнообразия за счёт новых и возможно - формирование новых стандартов на рынке жилья
Изменение уровня доходов между регионами России	Уход иностранных девелоперов с рынка Санкт-Петербургской агломерации	Де-факто уход с рынка компаний жилья бизнес и элитного класса: «Bonava» и «YIT»	Поглощение иностранных компаний: «YIT» группой «Эталон», «Bonava» группой «ФСК»	Снижение привлекательности российского рынка из-за нестабильного курса национальной валюты, низкого роста реальных доходов населения	Снижение притока инноваций и формирования новых стандартов от иностранных компаний
Осложнение деятельности иностранных компаний (прежде всего из недружественных стран)	Поддержка девелоперов за счёт изменения нормативно-правовой базы	Гарантийный срок на квартиру в новостройке уменьшается до 3 лет (вместо 5), штраф за отказ исправить дефекты составляет для застройщика 5% от суммы судебного иска (ранее — 50%) и др.	Снижение доступности рабочей силы из структурных преобразований на рынке труда	Возможное снижение качества проектов частью девелоперов (при этом с сохранением их стабильности)	
Трудности с цепочками поставок и наймом рабочей силы					

Источник: составлено авторами

Трудности в освоении пригородов в условиях нынешнего кризиса ярко демонстрирует ситуация с ГК «А101». Это московская компания, специализирующаяся на застройке в средних пригородах Москвы (далее МКАДа), изначально заявила о 3 крупных проекта в Санкт-Петербургской агломерации: во Всеволожске, д. Лаголово (граница Красного Села и Ленинградской области) и д. Корпикюля, вблизи г. Коммунар.

По итогу проект в Красном Селе реализуется вместе с ГК «Самолёт», а новой информации по проекту в д. Корпикюля нет.

Важно отметить, что в большинстве своём факторы кризиса действуют совместно с другими факторами, формирующими и развивающимися на рынке последние десятилетия. Проблема с снижением транспортной доступности окраинных территорий в агломерации постепенно растёт последнее десятилетие, что связано с медленными темпами развития внеуличного общественного транспорта. Внеуличный транспорт как раз является важным фактором развития в пригородных зонах агломераций многоэтажной жилой застройки, обеспечивая быстрый доступ мятниковых мигрантов к ядру агломерации , а при грамотном планировании позволяет формировать районы с не только жилой, но и деловой функцией (в рамках транзитного-ориентированного подхода (TOD). При этом в стране в целом и в Санкт-Петербургской агломерации в частности растёт объём ввода ИЖС, в том числе за счёт поддержки со стороны властей.

Стремление к диверсификации проектов является достаточно обычной тенденцией среди экономических акторов в целом. Низкий рост реальных доходов населения и колебания курса валют в целом влияли на иностранные компании уже начиная с кризиса 2014 года, но именно радикальные антироссийские санкции привели к их выходу с рынка Санкт-Петербургской агломерации. Схожая ситуация с рынками труда: на рынок труда с середины 10-ых выходит малое поколение детей 90-ых-начала 00-ых, а миграционный прирост уже с 2017-2018 не покрывает естественный прирост населения. В условиях кризиса 2022 г., когда приток иммигрантов снизился, а количество населения трудоспособного возраста сокращается, растёт дефицит рабочей силы на рынке труда. Это в свою очередь усиливает издержки в строительном секторе.

В тот же момент, что и кризис, на жилищное строительство стал влиять только новый генеральный план города, принятый де-юре 21.12.2023, но де-факто его основные контуры были известны заинтересованным сторонам ранее, в рамках механизмов публичных слушаний и т.п. Стимулом к публикации новых проектов для застройщиков стали результаты работы механизма проектного финансирования, а именно возвращение

средств с эскроу-счетов девелоперам (переход средства от банков с эскроу счетов, из-за получения разрешения на ввод в эксплуатацию многоквартирного дома).

Дополнительной особенностью факторов кризиса является их проявление в разный момент времени. Такие факторы, как осложнение деятельности иностранных компаний (прежде всего из недружественных стран) и трудности с цепочками поставок и наймом рабочей силы стали проявляться на рынке уже в 2022 году. В свою очередь изменение уровня доходов между регионами России в условиях растущей роли ВПК, а также высоких зарплат контрактников и мобилизованных постепенно начинает проявляться в регионах с 2023 года. В то же время влияние повышения ключевой ставки, отмены льготной ипотеки и роста стоимости проектного финансирования начало проявляться в 2024 году, но при этом не имело бы столь серьёзного эффекта при отсутствии столь радикальных санкций.

Траектории адаптации девелоперов на рынке жилья в конечном итоге будут влиять на территориальное развитие агломерации в целом. Если ориентироваться на изменения структуры проектов девелоперов, то явно можно выделить рост роли строительства в сером поясе. Данный процесс активно протекает и в Московской агломерации и обеспечивает в целом большее вовлечение территорий в городскую ткань ядра агломерации. Данный процесс несёт для развития агломерации несколько рисков.

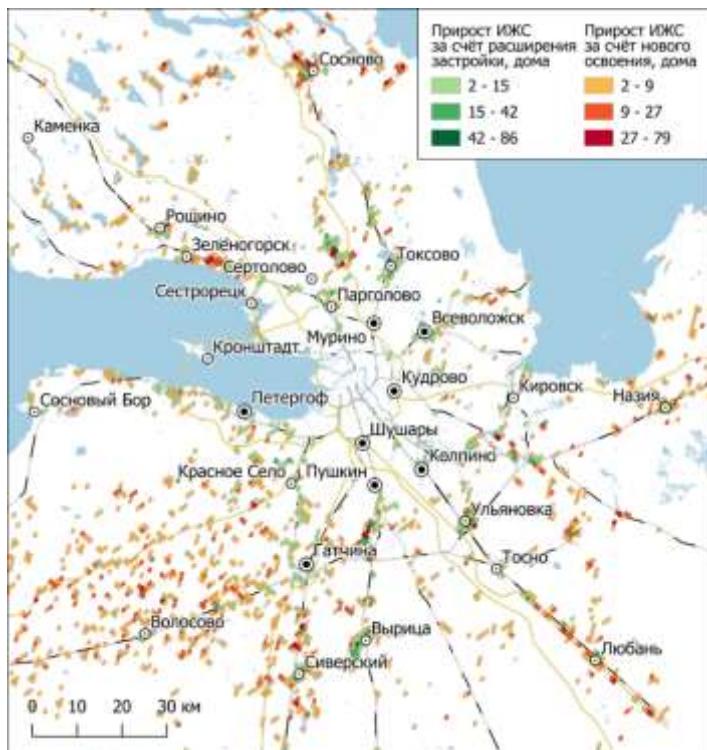
Во-первых, в зонах редевелопмента жилые проекты соседствуют, хоть и с учётом санитарно-защитных зон (ССЗ), с рядом действующих предприятий, что может нести риски для жителей. При этом достаточно трудно оценить (без использования больших данных от тех же сотовых операторов), сколько жителей проживает на данных территориях и скольким соответственно в теории необходимо будет оказывать помощь.

Во-вторых, в зонах редевелопмента ориентация на более платёжеспособный спрос может приводить к росту количества квартир, связанных с инвестициями горожан и в конечном счёте исключении из оборота части новых квадратных метров, что также приводит к снижению доступности жилья и росту неравенства в городах. Рост инвестиционной составляющей на рынке жилья является одним из элементов финансализации сектора в целом и интенсивность процесса связана в частности с разницей в выгодах и рисках разных направлений инвестиций в стране. Например, в Китае вложения в ценные бумаги из-за государственного регулирования считаются инвесторами более рискованными, нежели вложения в жилую недвижимость. Данное явление проявляется и в крупнейших агломерациях России, о чём свидетельствует доминирование жителей Москвы в структуре покупок на первичном рынке жилья и скорее всего аналогично в Санкт-Петербурге.

В свою очередь снижение объёмов строительства в пригородах и выход из них крупных девелоперов может снизить темпы застройки пригородной зоны в целом.

Выход крупных девелоперов может приводить к снижению стандартов качества между застройщиками, а также снижению разнообразия. Важным сдерживающим фактором освоения пригородов можно считать всё большую транспортную удалённость новых проектов от внеуличного транспорта, а также рост нагрузки на дорожные магистрали. Для дальнейшего развития уже среднеэтажного строительства в пригородах застройщикам необходимо развитие общественного транспорта агломерационного уровня. В такой ситуации важным вопросом является источник финансирования. Исключением при этом является д. Новосаратовка, где допустима высокоеэтажная застройка для девелоперов, а 158 тыс. будущих жителей удалены от КАДа и вряд ли будут обеспечены необходимым общественным транспортом в будущем.

При этом важно отметить, что решение амбициозных целей по вводу 120 млн кв. м жилья в год к 2030 году и увеличение жилищной обеспеченности до 38 кв. м на человека к 2030 году в условиях кризиса по всей видимости будет обеспечиваться за счёт ИЖС. Развитие ИЖС на территориях, прилегающих к городским агломерациям, декларируется в новой стратегии пространственного развития до 2030 года. В агломерации растёт как объём ввода жилья населением (де-факто ИЖС, с 1,14 млн кв. м в 2019 г., до 2,70 млн кв. м только за январь-ноябрь 2024 г.), так его доля в общем вводе жилья (с 19,3 % в 2019 г., до 49,6 % за январь-декабрь 2024 г.) При этом спрос на ИЖС со стороны населения только нарастает и успешность в его удовлетворении также зависит от политики властей, о чём, в частности, говорит пример одноэтажных пригородов Белгорода. Пока что в агломерации ввод ИЖС связан прежде всего со средними и дальными пригородами в формате «второго» жилья, о чём свидетельствует более детальное рассмотрение жилищного строительства в агломерации (рисунок 19).



Источник: ГИС.ЖКХ

Рисунок 19 – Пространственная структура ввода ИЖС в Санкт-Петербургской агломерации, за 2019-2024 гг.

На рисунке 19 расширение застройки означает, что внутри сложившихся жилых массивов или на их границах появились новые жилые дома. «Новое освоение» означает, что данные территории относительно удалены от сложившихся зоны застройки в целом (порядка 1-2 км) и на них появились массивы ИЖС впервые. Основной прирост ИЖС, если ориентироваться на данные ГИС.ЖКХ и дистанционное зондирование, приходится на средние и дальние пригороды. Соответственно потенциал субурбанизации ещё не используется в агломерации.

Для продолжения наращивания ввода ИЖС и при этом обеспечения его строительства в ближних пригородах необходим выход на рынок крупных девелоперов, которые смогут обеспечить необходимый уровень развития инфраструктуры в новых зонах застройки ИЖС. Соответственно в итоге кризис 2022 года, вызванный радикальными антироссийскими санкциями, может привести к развитию классической субурбанизации в пригородах Санкт-Петербургской агломерации и приведёт к существенным изменениям в системе расселения и транспортных потоках в агломерации.

Выводы к разделу 3

Анализ стратегий поведения отдельных целевых групп экономических агентов: страховых компаний и государства как регулятора страхового рынка, а также застройщиков (девелоперов) на внутреннем рынке, позволил сформировать следующие основные выводы.

1. Выявлено, что демографические изменения порождают новые требования к устойчивости социальных и страховых систем и возможности для страхового сектора. При этом, рост ожидаемой продолжительности жизни и старение населения формируют устойчивый спрос на пенсионные и накопительные страховые продукты, в то время как снижение рождаемости объективно усиливает нагрузку на социальные системы, повышая значимость частного страхования.

2. Анализ упомянутых элементов спроса позволил разработать комплекс дифференцированных стратегий для государственных органов и страховых компаний стран БРИКС. Установлено, что для правительства приоритетом должна стать разработка стимулирующего налогового законодательства, повышение финансовой грамотности населения и создание гибкой нормативной базы, способствующей инновациям, тогда как для страховых компаний ключевыми задачами являются глубокая диверсификация продуктового ряда, активная цифровизация всех бизнес-процессов и разработка доступных продуктов для низкодоходных групп населения. Определено, что особое значение имеет предложение по развитию межгосударственного сотрудничества в рамках БРИКС, включая создание рабочей группы по страхованию жизни и многосторонней перестраховочной структуры, что позволит повысить финансовую устойчивость национальных рынков и снизить зависимость от глобальных перестраховщиков.

3. Установлено, что основные задачи управления киберрискаами в условиях современных геополитических вызовов на национальном уровне заключаются в гармонизации терминологии и исключений из страхового покрытия, применяемых к киберрискам; унификации терминологии полисов киберстрахования; разъяснениях регуляторов и надзорных органов об ответственности страховых компаний за соблюдение санкционного законодательства.

4. Выявлено, что на уровне страховых компаний оптимизация управления киберрискаами затрагивает усиление киберзащиты; повышение качества данных в части сокращения массивов исторических данных для обучения моделей; усовершенствование моделей оценки рисков, выявления уязвимостей, прогноза развития угроз.

5. На основе анализа выявлены основные преимущества ЕИСЖС: возможность агрегирования сведений по объектам по любым территориальным единицам; учет корпоративного фактора на основе сведений о застройщике; наличие информации о

жилищном строительстве, которая я, которая отсутствует в государственной статистике, и недостатки системы: проблемы пространственной привязки данных; отсутствие возможности отслеживания исторических изменений; учет, преимущественно, сведений по проектным декларациям.

6. Обоснована возможность использования ЕИСЖС для рассмотрения жилищного строительства в корпоративно-территориально-отраслевом разрезе.

7. Представлен авторский способ получения атрибутивных и пространственных данных из ЕИСЖС по каждому жилому объекту на исследуемой территории, а также подход к обработке полученных данных. Авторами предложен вариант выделения ключевых зон строительства жилья и обозначены способы оценки интенсивности строительства и разнообразия застройщиков по выделенным зонам.

8. Установлено, что указанные подходы могут быть использованы для комплексных исследований жилищного строительства с учетом особенностей поведения девелоперов, как экономических агентов на внутреннем рынке, и их адаптаций к внешним шокам, в том числе к антироссийским санкциям.

9. Определено, что наиболее существенное влияние на развитие рынка жилищного строительства оказало изменение ключевой ставки, вызванное, в том числе, и экономическими санкциями-2022. В момент роста разрыва между официальным уровнем ключевой ставки и ставкой по льготным ипотечным программам изменилось поведение застройщиков – они активизировали свою деятельность, однако пространственные её особенности изменились: интенсивнее осваивались зоны серого пояса в ядре агломерации, поскольку это снижало зависимость застройщиков от ипотечного кредитования.

10. Выявлены последствия экономических санкций-2022 на рынке жилой недвижимости, связанные с уходом иностранных компаний.

11. Определены основные адаптационные стратегии застройщиков на рынке Санкт-Петербурга и агломерационной зоны: стратегия пространственной экспансии (для местных застройщиков) с вовлечением наиболее «дорогих» и инфраструктурно-привлекательных городских территорий, включая зоны «серого пояса» с ориентацией на новый средний класс; стратегия «освоения Северной столицы» для федеральных и региональных застройщиков из других регионов: жильё бизнес и элитного класса в спорных локациях; стратегия экспансии местных застройщиков в пригородную зону через покупку участков для дальнейшего освоения через малоэтажные проекты и «нишевые проекты»; стратегия постепенного отказа от наиболее масштабных кварталов эконом-класса в «городах-спальнях», а также основные сильные и слабые стороны этих стратегий для различных экономических агентов.

Раздел 4 Оппортунистическое поведение экономических агентов: уклонение от уплаты налогов в современных условиях

Условия неопределенности и ограниченности ресурсов зачастую формируют предпосылки для оппортунистического поведения экономических агентов и оппортунистических стратегий кооперации. При этом, уклонение от уплаты налогов экономическими субъектами представляет собой серьезную проблему для государства. Недополучение дохода ограничивает возможности правительства финансировать экономическую и социальную политику, нарушает принцип справедливости в налогообложении, оказывает негативное влияние на налоговую мораль общества, способствуя «непопулярности» уплаты налогов. Санкционное давление усиливает стимулы экономических агентов к оппортунистическому поведению.

Для решения задачи проекта, направленной на формирование стратегий взаимодействия экономических агентов в условиях ограниченности ресурсов, исследованы ключевые сферы использования налоговых льгот, несущие риски для экономической безопасности государства, изучена специфика уклонения от уплаты налогов различных типов экономических агентов.

4.1 Налоговые льготы и риски экономической безопасности

На сегодняшний день значительные риски для экономической безопасности несет несбалансированная система налогообложения, позволяющая скрывать налогооблагаемый доход, мошеннические схемы, коррупцию в налоговых органах.

Зачастую указанные несовершенства налоговой системы обусловлены противоправным использованием налоговых льгот – исключений из общих правил налогового законодательства. Страны используют налоговые льготы как инструмент достижения экономических, общественных и политических целей, в том числе, стимулируя определенные виды деятельности за счет сокращения налоговых ставок, отсрочки уплаты налоговых обязательств, исключения деятельности из налогообложения.

Однако при определенных условиях – коррупция, лоббирование собственных интересов, низкая прозрачность налогового законодательства – льготы могут оказаться официально узаконенным уклонением от уплаты налогов.

Наименее развитые (least developed countries, LDCs) и развивающиеся страны в силу институционально-экономических условий более склонны к содействию перемещения прибыли ТНК посредством трансфертного ценообразования, что приводит к «размыванию» налоговой базы (base erosion). Налоговые льготы для привлечения иностранных инвестиций

не только позволяют иностранным компаниям осуществлять налоговое планирование (tax avoidance), но и предоставляют возможность для уклонения от налогов (tax evasion) отечественным компаниям, например, классифицируя внутренние инвестиции как прямые иностранные инвестиции (round-tripping). Еще одним способом является продажа бизнеса дочерним компаниям, заявленным как новые инвесторы, с целью воспользоваться налоговыми льготами, предоставляемыми исключительно новым инвесторам (double dipping).

Кроме того, сделки, связанные с предоставлением помощи развивающимся странам из-за рубежа, исключаются из налогообложения. Такие льготы чаще всего включают: подоходные налоги на заработную плату гуманитарных работников, льготы по уплате НДС на местные закупки, таможенные пошлины и акцизы на импорт [101]. Странам-реципиентам зачастую приходится администрировать множество налоговых льгот, которые обычно различаются в зависимости от страны-донора, что усложняет мониторинг и контроль, одновременно предоставляя возможности для коррупции.

Еще одним важным объектом налоговых льгот является сфера внешней торговли. Значительная часть льгот связана с уплатой таможенных пошлин и НДС. Особенно это характерно для стран Африки, где поступления от налогов на внешнюю торговлю могут составлять до 30% общего налогового дохода страны.

Налог на добавленную стоимость представляет собой универсальный налог на потребление, применяемый в большинстве развитых стран мира и являющийся одним из основных источников государственных доходов. На сегодняшний день значительная часть внешнеторговых операций подлежит обложению НДС и, одновременно, является потенциальным объектом неправомерных действий, направленных на уменьшение налоговых обязательств и получение незаконных возмещений, что, в свою очередь, приводит к сокращению доходов бюджета [102].

Основная причина, обуславливающая возможность мошенничества с НДС, связана с механизмом начисления и уплаты налога, а именно, возможностью получения возврата входящего (уплаченного) НДС (input VAT). При этом, стимулы к незаконному возмещению выше при трансграничной торговле – прежде всего, в силу применения принципа страны назначения (destination principle) – доминирующего международного принципа, регулирующего налогообложение потребления. Принцип страны назначения призван обеспечить нейтральность налогообложения в международной торговле: экспорт облагается налогом по нулевой ставке с правом возмещения входящего НДС, тогда как импорт облагается налогом аналогично внутренним поставкам. Как следствие,

недобросовестные экспортеры могут вести деятельность с единственной целью незаконного возмещения налога [103].

Различные мошеннические схемы с НДС в международной торговле, в которые вовлечены компании нескольких стран, не только сокращают налоговые поступления, но также являются источником финансирования организованной преступности.

К другим причинам, определяющим возможность мошенничества с НДС во внешнеторговых операциях и имеющих в своей основе предоставление налоговых льгот, относятся следующие.

– Различие в правилах взимания НДС в странах. Это включает разнообразие ставок НДС, дифференцированные налоговые льготы и требования к регистрации в зависимости от юрисдикции, что создает возможности для уклонения, в том числе, за счет создания подставных компаний в более благоприятных [для мошенников] странах.

– Освобождение от уплаты НДС (VAT Exemptions). Неправомерное использование этой льготы предполагает, прежде всего, заведомо ложную классификацию операций с целью их включения в список освобожденных от НДС [104].

Вышеперечисленные особенности, связанные с возникновением мошенничества с НДС, применительно к электронной торговле (e-commerce) дополняются следующими аспектами.

1. Компании, реализующие товары онлайн, могут не зарегистрироваться (непреднамеренно или намеренно) в стране назначения как плательщики НДС – например, если объем их продаж не превышает некоторого порогового значения. При этом, возможности налоговых органов в стране назначения по выявлению незарегистрированных продавцов ограничены, поскольку данные о соответствующих транзакциях хранятся в другой стране. С другой стороны, стимулы для контроля за деятельностью продавцов, реализующих товары и услуги посредством дистанционной торговли, в другой стране, у налоговых органов страны, где эти продавцы зарегистрированы, фактически отсутствуют, поскольку потенциально неуплаченный НДС «принадлежит» другому государству.

2. Зачастую страны освобождают от уплаты НДС импорт товаров с низкой стоимостью, поскольку расходы на администрирование налога превышают размер поступлений. Однако возможности дистанционной торговли позволяют кратно увеличивать количество таких операций, и в этом случае освобождение их от НДС уже ведет к значительным потерям государственных доходов, особенно, с учетом намеренного занижения стоимости товаров для получения льготы [104].

Кроме того, налоговые льготы негативно сказываются на качестве управления. Для развивающихся стран налоговые льготы, предоставляемые с целью привлечения

иностранных инвестиций, могут быть результатом лоббирования со стороны ТНК, обладающими существенными возможностями диктовать свои условия (*bargaining power*) правительствам этих стран.

4.2 Противодействие уклонению от уплаты НДС в международной торговле

Налог на добавленную стоимость (НДС) представляет собой универсальный налог на потребление, применяемый в большинстве развитых стран мира и являющийся одним из основных источников государственных доходов. Распространение НДС исторически совпало с ростом объемов международной торговли товарами и услугами в условиях глобализации экономики. На сегодняшний день значительная часть внешнеторговых операций подлежит обложению НДС и, одновременно, является потенциальным объектом неправомерных действий, направленных на уменьшение налоговых обязательств и получение незаконных возмещений, что, в свою очередь, приводит к сокращению доходов бюджета.

Основная причина, обуславливающая возможность мошенничества с НДС, связана с механизмом начисления и уплаты налога, а именно, возможностью получения возврата входящего (уплаченного) НДС (*input VAT*). При этом, стимулы к незаконному возмещению выше при трансграничной торговле – прежде всего, в силу применения принципа страны назначения (*destination principle*) – доминирующего международного принципа, регулирующего налогообложение потребления. Принцип страны назначения призван обеспечить нейтральность налогообложения в международной торговле: экспорт облагается налогом по нулевой ставке с правом возмещения входящего НДС, тогда как импорт облагается налогом аналогично внутренним поставкам. Как следствие, недобросовестные экспортеры могут вести деятельность с единственной целью незаконного возмещения налога. Несмотря на то, что внутренние продажи с использованием нулевой ставки НДС также создают возможности для мошенничества, основная уязвимость системы НДС возникает именно из-за нулевой ставки при экспорте [105]. Кроме того, после реализации товаров на внутреннем рынке недобросовестный импортер может исчезнуть, не уплатив НДС. Различные мошеннические схемы с НДС в международной торговле, в которые вовлечены компании нескольких стран, не только сокращают налоговые поступления, но также являются источником финансирования организованной преступности.

К другим причинам, определяющим возможность мошенничества с НДС во внешнеторговых операциях, относятся следующие.

– Различие в правилах взимания НДС в странах. Это включает разнообразие ставок НДС, дифференцированные налоговые льготы и требования к регистрации в зависимости от юрисдикции, что создает возможности для уклонения, в том числе, за счет создания подставных компаний в более благоприятных [для мошенников] странах.

– Освобождение от уплаты НДС (VAT Exemptions). Неправомерное использование этой льготы предполагает, прежде всего, заведомо ложную классификацию операций с целью их включения в список освобожденных от НДС.

– Недостаточный уровень контроля за налогообложением трансграничных операций, прежде всего, в рамках координации между налоговыми органами различных стран. Кроме того, масштабное развитие онлайн-платформ, предоставляющих различные услуги вне географических границ, которое зачастую не сопровождается аналогичной активностью со стороны надзорных органов, затрудняет обнаружение мошеннических операций.

– Неосведомленность. Часто физические лица-предприниматели и малые предприятия неосознанно становятся соучастниками мошенничества вследствие отсутствия должных знаний о требованиях к начислению и уплате НДС в трансграничных операциях; особенно, это характерно для деятельности онлайн-платформ, предоставляющих B2C услуги [104; 106].

Вышеперечисленные особенности, связанные с возникновением мошенничества с НДС, применительно к электронной торговле (e-commerce) дополняются следующими аспектами.

1. Компании, реализующие товары онлайн, могут не зарегистрироваться (непреднамеренно или намеренно) в стране назначения как плательщики НДС – например, если объем их продаж не превышает некоторого порогового значения. При этом, возможности налоговых органов в стране назначения по выявлению незарегистрированных продавцов ограничены, поскольку данные о соответствующих транзакциях хранятся в другой стране. При подозрении в уклонении от уплаты НДС иностранным продавцом, налоговым властям необходимо сотрудничать с коллегами из других стран или запрашивать соответствующие данные об оплате у платежных посредников или онлайн-платформ – расходы на соблюдение требований налогового законодательства в данном случае могут превысить ожидаемые поступления от НДС. С другой стороны, стимулы для контроля за деятельностью продавцов, реализующих товары и услуги посредством дистанционной торговли, в другой стране, у налоговых органов страны, где эти продавцы зарегистрированы, фактически отсутствуют, поскольку потенциально неуплаченный НДС «принадлежит» другому государству. В свою очередь, это обуславливает необходимость

стимулирования добровольного сотрудничества онлайн-продавцов различных юрисдикций, а именно, их готовности регистрироваться и платить НДС.

2. Зачастую страны освобождают от уплаты НДС импорт товаров с низкой стоимостью, поскольку расходы на администрирование налога превышают размер поступлений. Однако возможности дистанционной торговли позволяют кратно увеличивать количество таких операций, и в этом случае освобождение их от НДС уже ведет к значительным потерям государственных доходов, особенно, с учетом намеренного занижения стоимости товаров для получения льготы.

3. Обмен налоговой информацией по транзакциям B2C в электронной торговле ограничен, прежде всего, по причине невозможности отследить «цифровой след» всех потребителей.

4. Налогообложение продажи услуг, предоставляемых в цифровом формате, заключает в себе особую сложность, поскольку услуги физически не пересекают границы и не подлежат такому же контролю, как ввозимые товары [104; 107].

В дальнейшем анализе основных схем мошенничества с НДС при трансграничных операциях, а также соответствующих мер противодействия, использованы следующие ключевые понятия.

Избегание уплаты НДС (VAT avoidance) – деятельность компаний в рамках закона, иногда на грани нарушения закона, целью которой является минимизация налоговых обязательств.

Уклонение от уплаты НДС (VAT evasion) – неправомерные действия, результатом которых является сокрытие или игнорирование налоговых обязательств. Иными словами, в результате уклонения налогоплательщик уплачивает меньшую сумму налога, чем подлежащую уплате в законном порядке, вследствие сокрытия дохода или информации от налоговых органов. Как правило, является наказуемым в соответствии с административным законодательством.

Мошенничество с НДС (VAT fraud) – преднамеренное уклонение от уплаты налога, прежде всего, путем предоставления заведомо ложных сведений и/или поддельных документов. Это организованное мошенничество, затрагивающее как транзакции на внутреннем рынке, так и трансграничные операции [108]. Как правило, является наказуемым в соответствии с административным и/или уголовным законодательством.

Основные схемы уклонения от уплаты НДС в международной торговле

Существуют различные классификации неправомерных действий при начислении и уплате НДС; с учетом определенной выше терминологии основные схемы представлены в разрезе уклонения от уплаты НДС (VAT evasion) и мошенничества с НДС (VAT fraud).

В таблице 1. представлены основные разновидности уклонения от уплаты НДС при трансграничных сделках.

Таблица 1 – Виды уклонения от уплаты НДС при трансграничных сделках

Разновидность	Особенности	Распространение
Неучтенные продажи (underreported sales)	Продавец сообщает данные только о части своих продаж, фальсифицируя счета и записи	Розничная торговля и сфера услуг
Уклонение от регистрации (failure to register)	Продавец не регистрируется в налоговом органе с целью уклонения от уплаты налога, и/или уплаты расходов на соблюдение налогового законодательства	Малый бизнес с оборотом, близким к пороговому уровню, при котором регистрация становится обязательной или «заканчивается» освобождение от уплаты НДС
Пропуск этапа самовывоза при оформлении деклараций (omission of self-deliveries)	Продукция предприятия потребляется либо собственником бизнеса, либо сотрудниками и не декларируется	Предприятия малого бизнеса
НДС собран, но не перечислен (VAT collected but not remitted)	Продавец указывает сумму НДС в счетах, отправляемых покупателям, и после получения этой суммы НДС в бюджет не перечисляется продавцом	Бизнес, который использует длинные цепочки поставок
Требование зачета входящего НДС по тем покупкам, на которые он не распространяется (credit claimed for VAT on purchases that are not creditable)	1. Продавец производит различные виды товаров, часть поставок ресурсов для которых облагается НДС, часть освобождена от него. Последние намеренно представлены в декларации как налогооблагаемые, в отношении которых доступен зачет входящего НДС (input tax credit). 2. Продавец представляет в отчетности товары, приобретенные для личного потребления как производственные ресурсы, что также позволяет зачет входящего НДС.	Предприятия малого и среднего бизнеса с широкой номенклатурой продукции
Незаконные требования о зачете налога или возмещении (false claims for credit or refund)	Создание фиктивных предприятий-зарегистрированных плательщиков НДС, с последующим выставлением ими счетов-фактур на несуществующие покупки, которые дают основания для зачета входящего НДС. При этом, покупка может действительно иметь место, но сумма завышена*.	

Примечание: В зависимости от сложности, количества задействованных лиц и ресурсов, объема операций такие схемы могут быть отнесены и к организованному мошенничеству.

Источник: составлено автором по данным [103; 109; 110].

Мошенничество с НДС (организованное мошенничество)

Как отмечалось выше, основную возможность для мошенничества с НДС в международной торговле представляет собой механизм взимания налога в соответствии с принципом страны назначения. Наиболее часто организованное мошенничество с НДС при трансграничных операциях выявляется в странах ЕС; соответственно, схемы изучены и классифицированы в основном применительно к странам сообщества [102].

Участники мошеннических схем:

- Исчезающий продавец (Missing Trader, MT) – фиктивная компания, используемая для имитации транзакции с целью получения неправомерной выгоды от НДС, взимаемого с последующей транзакции. Когда приходит время уплаты НДС, компания исчезает.
- Буферная компания (Buffer Company) – организация, которая действует как обычная компания, приобретая и поставляя товары и/или услуги на внутреннем рынке. Используется в схеме после исчезающего продавца, чтобы скрыть мошеннический проект и затруднить расследование.
- Брокерская компания (Broker) – конечное звено мошеннической схемы, находится в том же государстве, что и исчезающий продавец. Приобретает товары и/или услуги у буферной компании и поставляет их потребителю на внутреннем рынке или в другой стране (в этом случае требует возврата НДС).
- Кондуктная (транзитная) компания (Conduit Company) – компания, не имеющая самостоятельного экономического значения и используемая для получения налоговых льгот в пользу иного лица (бенефициара) в рамках соглашения об избегании двойного налогообложения, которые бенефициар непосредственно не смог бы получить.

В таблице 2 представлены основные схемы организованного мошенничества с НДС и их особенности.

Таблица 2 – Основные схемы мошенничества с НДС при трансграничных операциях

Схема	Особенности	
1. Мошенничество с исчезающим продавцом (missing trader) – базовая схема	<p>Компания А из Страны 1 экспортирует товары для компании В в Стране 2, применяя нулевую ставку. Компания В должна документально отразить приобретение товаров для последующей их продажи потребителю (в странах ЕС в соответствии с правилом приобретения товаров внутри ЕС – Intra-Community acquisitions, ICA; поэтому схема 1 известна под названием ICA fraud). Ответственность за учет и оплату налога несет компания В (при этом, она может иметь право также на зачет входящего НДС). Далее компания В взимает НДС при дальнейшей продаже товаров потребителям, но перед перечислением НДС в бюджет она исчезает.</p> <p>Потери дохода от НДС возникают в Стране 2, где товары продаются компанией В на национальном рынке, как правило, по более низкой цене; возникает ценовая дискриминация законопослушных продавцов. «Прибыль» компании В – неуплаченный НДС за вычетом «убытка» от продаж за счет разницы в ценах.</p>	<p>— товары — счета-фактуры</p> <p>Потребитель</p> <p>Страна 2</p> <p>Убыток Компания В (МТ)</p> <p>Страна 1</p> <p>Компания А</p>
2. Мошенничество с исчезающим продавцом (missing trader) – карусельная схема	<p>Усовершенствованный вариант схемы 1: вместо поставки товаров или услуг конечному потребителю они снова продаются первоначальному поставщику в другом государстве.</p> <p>Компания А в Стране 1 выступает кондитной компанией, которая продает товары компании В в Стране 2. В странах ЕС это регулируется правилами Intra-Community supplies (ICS) – поставка товаров компанией-резидентом одной страны ЕС компании-резиденту другой страны ЕС, поэтому схема 2 известна под названием Missing Trader Intra-Community (MTIC) Fraud. В соответствии с принципом страны назначения, для компании А эта операция облагается по нулевой ставке. Далее компания В продает товары брокерской компании С и, как в схеме 1, исчезает, не перечислив НДС в бюджет. Впоследствии компания С снова продает товары компании А и получает незаконное возмещение НДС из бюджета (входящего НДС при «покупке» у компании В). После этой поставки, цепочка «закрывается» и, при необходимости, может возобновиться.</p>	<p>— товары — счета-фактуры</p> <p>Страна 2</p> <p>Компания С</p> <p>Убыток Компания В (МТ)</p> <p>Страна 1</p> <p>Компания А</p>
3. Карусельное мошенничество с буферными компаниями	<p>Для повышения сложности «карусель» может включать одну или несколько буферных компаний. В этом случае компания В начисляет НДС по результатам продаж буферной компании С. Компания В исчезает, не уплатив НДС в бюджет. Впоследствии буферная компания С продает товары брокерской компании D, начисляющей НДС и перечисляющей разницу между входящим и исходящим НДС в бюджет. Далее компания D продает товары обратно компании А, с последующим незаконным возмещением НДС из бюджета Страны 2.</p>	<p>— товары — счета-фактуры</p> <p>Страна 2</p> <p>Компания В (МТ)</p> <p>Компания С</p> <p>Компания D</p> <p>Убыток</p> <p>Страна 1</p> <p>Компания А</p>

4. Карусельное мошенничество с перекрестным выставлением счетов	<p>Исчезающий продавец (компания, выставляющая перекрестные инвойсы, cross-invoicer) не исчезает немедленно, а использует фиктивный счет от несуществующего поставщика для зачета входящего НДС в целях уменьшения обязательств по НДС. Дальнейшие операции, как и в предыдущих схемах, являются фиктивными</p>	
5. Карусельное мошенничество с контр-трейдером (contra-trading)	<p>Эта схема представляет собой наиболее сложный вариант с вовлечением большого количества компаний. Ключевым элементом выступает компания С – контр-трейдер в Стране 2. Эта компания совершает две покупки: (1) внутренняя покупка у компании В (МТ), которая, в свою очередь, импортировала товары из Страны 1 у компании А без уплаты НДС; и (2) импортировала товары компании D из страны 1. Компания В в Стране 2 исчезает без уплаты НДС. Затем компания С совершает две поставки: (1) экспорт в Страну 3 для компании G – непосредственно связанной с мошенниками; и (2) внутреннюю поставку компании Е – непосредственно с мошенниками не связанной, которая в свою очередь экспортирует компании F – конечному потребителю в Стране 3. В Стране 2 возникает убыток по НДС, который не уплачен МТ, а также из-за возмещения НДС непосредственно компании С или опосредованно компании Е, которая также связана с мошенниками.</p>	<pre> graph TD subgraph Country1 [Страна 1] A[Компания А консультант компания] --> B[Компания В импорт компания] B --> C[Компания С брокерская компания, контр-трейдер] C --> D[Компания D консультант компания] end subgraph Country2 [Страна 2] B -- "Убыток" --> C C --> E[Компания Е брокерская компания] E --> F[Компания F потребитель] end subgraph Country3 [Страна 3] G[Компания G] end A -.-> G A -.-> E C -.-> G C -.-> E D -.-> E </pre> <p>Схема показывает три страны: Страна 1, Страна 2 и Страна 3. В Стране 1: Компания А (консультант компания) импортирует товары у Компании В (импорт компания). Компания В в Стране 2 исчезает с убытком. Компания С (брокерская компания, контр-трейдер) получает товары от Компании В и импортирует товары от Компании D (консультант компания). В Стране 2: Компания С экспортирует товары в Страну 3 (Компания G) и поставляет товары в Страну 2 (Компания Е). Компания Е экспортирует товары в Страну 3 (Компания F). В Стране 1: Компания А опосредованно оплачивает НДС для Компании С и Компании Е. Указанные стрелки обозначены как "законная цепочка" (solid line) и "мошенническая цепочка" (dashed line).</p>
6. Внутренние продажи, оформленные как экспортные операции	<p>В рамках этой схемы компания А в Стране 1 имитирует по документам экспорт товаров для компании В в Стране 2. При этом, компания В может быть как непосредственно задействована в мошенничестве, так и не знать об этом (например, если ее идентификационные налоговые данные были похищены). Далее компания А продает товары на внутреннем рынке, не уплачивая НДС.</p>	<pre> graph TD subgraph Country1 [Страна 1] A[Компания А] B[Компания В] A --> B A -- "товары счета-фактуры" --> C[Потребитель] B -.-> C end subgraph Country2 [Страна 2] C -- "Убыток" --> D[Компания D] end </pre> <p>Схема показывает две страны: Страна 1 и Страна 2. В Стране 1: Компания А продает товары Компании В. Компания А оплачивает НДС для Компании В и Потребителя. Компания В продает товары в Страну 2 (Компания D). В Стране 2: Компания D понесет убыток. Указанные стрелки обозначены как "товары" (solid line) и "счета-фактуры" (dashed line).</p>

Источник: составлено автором по данным [109, с. 10-14; 103, с. 13-15; 105, с. 171; 108]

Противодействие мошенничеству с НДС при трансграничных операциях

1. Меры налоговой политики

На сегодняшний день правительствами стран мира разработаны различные меры налоговой политики, направленные на решение проблемы незаконного возмещения НДС в рамках действующих систем НДС¹².

1.1 Налоговые режимы и механизмы

Реверсивный НДС (the VAT reverse charge)

Применение реверсивного НДС в сделках B2B подразумевает ответственность покупателя, а не продавца за начисление и уплату НДС. Основная причина внедрения этого инструмента – борьба с карусельным мошенничеством, поскольку при реверсивном НДС налог, подлежащий уплате при продаже исчезающим продавцом (компания В в схеме 2 табл. 2) станет ответственностью покупателя – буферной компании (компания С в схеме 2 табл. 2). В свою очередь, налог, подлежащий уплате при продаже товара компанией С брокерской компании (компания D в схеме 2 табл. 2) станет ответственностью последней. Применение нулевой ставки при последующем экспорте компанией А (схема 2 табл. 2) «компенсирует» налоговое обязательство компании D по ее покупкам у компании С, уменьшая сумму налоговых обязательств компании С, но без возмещения всей суммы НДС (net claims). Таким образом, возможность получения дохода за счет незаконных требований возврата налога фактически устраняется [105, с. 175].

На сегодняшний день реверсивный налог на потребление применяется странами мира при налогообложении внешней торговли и ограничен отдельными товарами. Так, Австралия использует реверсивный механизм взимания налога с продаж (General Sales Tax, GST) при налогообложении трансграничных сделок с цennыми металлами. В странах ЕС реверсивный НДС в рамках Союза применяется исключительно для трансграничных сделок B2B для ограниченного перечня товаров, в том числе, мобильных телефонов, компьютерных чипов, драгоценных металлов, микропроцессоров, автомобилей и другие товаров, в торговле которыми особо распространены карусельные схемы. В трансграничной торговле услугами реверсивный НДС используется для поставок услуг в цифровом формате, включая телекоммуникационные и услуги вещания [111]. Аналогичным образом, Великобритания использует реверсивный НДС в трансграничных сделках B2B для отдельных видов товаров и услуг, перечень которых схож с применяемым в ЕС.

¹² Фундаментальная реформа НДС, в основе которой лежала бы отмена нулевой ставки НДС при экспорте, здесь не рассматривается

Тем не менее, использование реверсивного механизма НДС при трансграничных операциях имеет ряд недостатков, ограничивающих его распространение.

1. Применение реверсивного НДС к ограниченному перечню товаров приводит к тому, что карусельные схемы «переходят» на другие товары.

2. Наличие в одной поставке товаров, к которым применяются различные механизмы взимания НДС, усложняет администрирование.

3. Реверсивный НДС, применяемый ко всем без исключения товарам и услугам в международной торговле, позволил бы избежать указанных проблем, однако, по сути, это превратило бы НДС в одноступенчатый налог с розничных продаж (single-stage retail sales tax), при котором уплата налога приостанавливается до тех пор, пока товары не будут проданы конечным потребителям. Это означает, что прекращая постепенное накопление платежей НДС на различных этапах производства и распределения и вместо этого взимая все доходы от НДС при конечной продаже, система подвергается значительно большим рискам потери доходов из-за неучтенных продаж конечным потребителям. При налоге с розничных продаж налоговые поступления исчезают в полном объеме, если продажа конечным потребителям по каким-то причинам остается незадекларированной, тогда как при НДС потери ограничиваются разницей между НДС, подлежащим уплате при конечной продаже, и НДС, уже собранным на более ранних этапах [105, с. 174-176; 104, с. 849-850].

Обратное удержание НДС (Reverse Withholding)

Этот механизм предполагает непосредственную уплату покупателем (в сделке B2B) части или всего НДС, подлежащего уплате. Как и в случае с реверсивным НДС, продавец по-прежнему несет ответственность за уплату исходящего НДС, но получает вычет на сумму, удержанную покупателем. В зависимости от части НДС, которую покупатель должен удержать, это уменьшит или даже исключит возможность получения доходов за счет незаконных требований о возмещении, поскольку компании-экспортеры самостоятельно уплатят часть или весь НДС за свои покупки, который они впоследствии законным образом вернут. Важным преимуществом этого механизма является возможность его применения страной в одностороннем порядке, без необходимости корректировки глобальных принципов взимания НДС, а ключевым недостатком – сложность доказать факт получения продавцом вычета для удержания только в том случае, когда сделка действительно состоялась. На сегодняшний день механизм обратного удержания НДС применяется в ряде стран Латинской Америки и Африки [104, с. 849-850].

Система «счетов НДС» (VAT accounts)

В рамках этой системы продавцы обязаны открыть отдельный банковский счет, на который они будут переводить сумму НДС, взимаемую со своих клиентов. Возврат НДС

будет осуществляться только в том случае, если власти смогут проверить, что соответствующий платеж НДС был произведен. Похожий механизм применяется в Болгарии.

Обязательное присутствие третьей стороны в качестве гаранта уплаты НДС (compulsory use of a third party to guarantee VAT payments)

Этот инструмент, использование которого предполагается в отраслях, наиболее подверженных карусельному мошенничеству, подразумевает, что потенциальный исчезнувший продавец должен получить гарантию третьей стороны о том, что он уплатит НДС. Основная сложность его применения на практике заключается в связанных с этим расходах: премия банкам и другим гарантам за риск неисполнения обязательств приведет к росту бремени на законопослушные компании в данных отраслях [105, с. 174-176].

1.2 Администрирование НДС

Применение SAF-T Standard Audit File for Tax – международного стандарта электронного обмена данными между организациями-налогоплательщиками и налоговыми органами, разработанный для упрощения и унификации налоговой отчетности. Используется странах ЕС и ОЭСР.

Использование управляющих инструкций (Control Statements) – дополнений к декларациям по НДС. Это перечень продаж (иногда покупок) в электронном формате, которые налоговые органы могут сравнивать с декларациями по НДС и отчетами контрагентов с целью выявления расхождений. В среднесрочной перспективе предполагается их замена на электронные счета-фактуры по НДС, представляемые в режиме реального времени (e-invoice VAT reporting, E-invoicing) в рамках реализации инициативы ЕС «НДС в цифровую эпоху».

Инициатива «НДС в цифровую эпоху» (VAT in the Digital Age, ViDA)

В декабре 2022 года Европейская комиссия опубликовала проект инициативы «НДС в цифровую эпоху», одной из главных целей которой продекларировано повышение устойчивости системы НДС стран ЕС к карусельному мошенничеству.

05 ноября 2024 года Министры финансов стран ЕС дали политическое согласие на имплементацию мероприятий в рамках этой инициативы (таблица 3).

Таблица 3 – Принципы и сущность инициативы ЕС «НДС в цифровую эпоху»

Принцип	Сущность	Этапы внедрения и их основное содержание
Требования к цифровой отчетности (Digital Reporting Requirements, DRR)	Внедрение e-invoicing и создание систем цифровой отчетности с целью упрощения обмена налоговой информацией между странами ЕС, стандартизации процессов e-invoicing во всех государствах-членах, сокращению масштабов мошенничества при уплате НДС.	<p><i>2025:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Внедрение e-invoicing во всех странах ЕС для внутренних транзакций B2B и B2C. <p><i>Июль 2030:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – E-invoicing станет обязательным для внутренних транзакций B2B и B2C и операций с реверсивным НДС. – Национальные системы e-invoicing должны быть приведены в соответствие со стандартами ЕС (до января 2035 года) – Предприятия-плательщики НДС должны выставлять электронные счета (в стандартном формате ЕС) в течение 10 дней с момента поставки товаров или услуг (или после оплаты, если она была произведена раньше).
Платформенная экономика (Platform Economy)	Оптимизация взимания НДС на различных онлайн-платформах, многие из которых в настоящее время не облагаются НДС, поскольку предоставляются физическими лицами или малыми предприятиями, которым не требуется регистрироваться для уплаты налога.	<p><i>Январь 2023 (официально – июль 2028):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Вводится категория «предполагаемого поставщика» (<i>deemed supplier</i>) – лица, использующего электронный интерфейс (онлайн-платформу) для поставки товаров и услуг, зарегистрированного в качестве плательщика НДС. – Онлайн-платформы, предлагающие пассажирские перевозки или краткосрочную аренду жилья, будут отвечать за сбор НДС с клиентов и его уплату от имени поставщиков услуг, которые не занимаются этим самостоятельно.
Единое окно (One-Stop Shop, OSS) для регистрации НДС	Создание единой системы регистрации [для уплаты] НДС (single VAT registration system, SVR), позволяющую компаниям управлять своими налоговыми обязательствами по всему ЕС с помощью единой регистрации с целью упрощения уплаты налога для компаний, работающих в нескольких юрисдикциях	<p><i>Июль 2028:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Внедрение реверсивного НДС при работе с «не учрежденными» (<i>non-established</i>) поставщиками – лицами, поставляющими товары или услуги и не имеющими постоянного представительства в государстве. – Расширение сферы действия OSS на: <ul style="list-style-type: none"> • продажи B2C электроэнергии или газа, в пределах страны; • движение запасов в пределах ЕС, предназначенных для последующих прямых продаж потребителям.

Источник: составлено автором по данным [112; 113].

В контексте противодействия мошенничеству с НДС в трансграничных сделках предполагается, что реализация этих мер приведет к сокращению его масштабов вследствие возможности получения информации в реальном времени и роста эффективности налогового контроля за счет усовершенствованных систем анализа рисков, а также сократит расходы на соблюдение налогового законодательства (ожидаемая экономия составит 4,3 млн евро) [114].

2. Административное и институциональное сотрудничество стран в целях противодействия уклонению от уплаты НДС в трансграничной торговле (на примере государств ЕС)

Сотрудничество и обмен информацией по НДС для борьбы с трансграничным мошенничеством в странах ЕС происходит, прежде всего, в рамках общеевропейской

системы по борьбе с уклонением от уплаты налогов – Eurofisc, созданной в 2010 году. На сегодняшний день она включает представителей 27 стран-членов ЕС и Норвегии. Основная деятельность Eurofisc включает совместную обработку и анализ данных по НДС; координацию действий на основании этого анализа; обеспечение доступа к данным об импорте, освобожденном от НДС; обмен информацией непосредственно с Европолом (полицейской службой ЕС) и OLAF (Европейским бюро по борьбе с мошенничеством). Должностные лица Eurofisc могут предпринимать соответствующие действия на национальном уровне, например, официально запрашивать необходимую информацию, проводить аудит, отменять регистрацию плательщиков НДС.

Одним из ключевых инструментов деятельности Eurofisc является сетевой анализ транзакций (Transaction Network Analysis, TNA) – система обеспечения доступа к информации о трансграничных транзакциях в странах ЕС и использующая инструменты интеллектуального анализа данных для выявления налогового мошенничества, включая карусельные схемы. С использованием TNA, помимо прочего, определяются агрегированные показатели противодействия мошенничеству с НДС в трансграничных сделках (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели противодействия мошенничеству с НДС в трансграничной торговле стран ЕС (на основе данных TNA)

Агрегированный показатель WF1 включает данные по карусельному мошенничеству с НДС и, начиная с 2021 года, по мошенничеству в рамках таможенной процедуры CP42 – механизма, который используется импортером из ЕС для освобождения от уплаты НДС в том случае, если товар впоследствии поставляется в другую страну ЕС; в подобных ситуациях НДС подлежит уплате в последнем пункте назначения.				
	2020	2021	2022	2023
Сумма выявленных мошеннических или подозрительных транзакций, € млн. WF1	3 300	8 100	10 874	12 735
Сумма выявленных мошеннических транзакций по CP42, € млрд.		1,5	1,2	2,0
Количество идентифицированных мошенников в схемах с НДС WF1	2 093	2 161	2 907	3 492
Количество подозреваемых в совершении мошеннических действий, снятых с учета как плательщики НДС WF1	495	775	1 942	2 352
Количество выявленных эпизодов с карусельными схемами			1 953	2 296
Количество сетей торговых компаний, рассматриваемых как высокорисковые с точки зрения мошенничества (минимум 5 участников) WF1			116	121
Количество компаний, задействованных в мошеннических эпизодах в странах ЕС WF1			632	582

Источник: составлено автором по данным Eurofisc outcomes

Для контроля трансграничных платежей в рамках электронной торговли, осуществляемых поставщиками платежных услуг (payment service providers, PSP), с 01 января 2024 года в ЕС используется Центральная электронная систему платежной

информации (Central Electronic System of Payment information, CESOP) – режим автоматического обмена информацией о соответствующих транзакциях между государствами-членами. Поставщики платежных услуг обязаны передавать информацию о клиентах (бенефициарах), получающих свыше 25 трансграничных платежей в квартал, налоговым органам соответствующих стран ЕС. В соответствии с правилами защиты данных, предоставляется только информация о самих бенефициарах и суммах полученных платежей; сведения о клиентах бенефициаров и целях платежа не передаются. Эта информация через Eurofisc направляется экспертам по борьбе с мошенничеством стран-членов с целью выявления иностранных продавцов, которые не регистрируются в стране назначения или продавцов, занижающих суммы сделок.

В целом, меры налоговой политики, административное и институциональное сотрудничество, реализуемые в целях противодействия незаконной деятельности, наряду с преимуществом в виде сокращения масштабов мошенничества с НДС, имеют важный недостаток, проявляющийся в возникновении негативных экстерналий. Эти эффекты заключаются в том, что сложность исполнения налоговых процедур, бюрократия, увеличение сроков выплат возмещения НДС и т.д. негативно отражаются на деятельности законопослушных экономических агентов. Поэтому основной задачей при разработке и имплементации мер противодействия мошенничеству с НДС является поиск баланса между сокращением дополнительного бремени администрирования НДС на бизнес в целом, защитой самого бизнеса от мошенничества и минимизацией потерь государственного дохода от противоправных действий.

4.3 Особенности противодействия уклонению от уплаты налогов физическими лицами

Уклонение от уплаты налогов юридическими лицами, инструменты и методы противодействия исследуются в течение длительного времени, тогда как изучение противоправных действий граждан, связанных с неуплатой налогов, активизировалось сравнительно недавно, чему в значительной мере способствовали расследования масштабных схем ухода от налогов физическими лицами, в том числе, высокопоставленными чиновниками и популярными личностями – Swiss Leaks (2015), Панамские документы (2015), Pandora Papers (2021), CumEx Files (2018).

По оценкам Global Tax Evasion Report (2024), на сегодняшний день около 25% мировых финансовых активов физических лиц, хранящихся за пределами страны проживания их владельцев (global offshore financial wealth), не облагаются налогом за счет

применения различных схем налоговой оптимизации и уклонения от уплаты налогов¹³. Эти активы включают банковские депозиты и портфели ценных бумаг (акции, облигации, паи инвестиционных фондов) [115; Р.7-8, 19].

Уклонение от уплаты налогов является основной причиной сокрытия физическими лицами своих активов, прежде всего, в налоговых гаванях и международных финансовых центрах (International financial centres, IFC). Другими мотивами могут служить укрывательство доходов от преступной деятельности, утаивание активов от членов семьи, деловых партнеров, конкурентов, кредиторов. Безусловно, существуют и легитимные причины перемещения активов в налоговые гавани: международные инвестиции, защита от политической и экономической нестабильности и т.д., но в этих ситуациях требования налогового законодательства соблюдаются налогоплательщиком в полной мере.

Уход от уплаты налогов также может быть обусловлен низкой налоговой моралью – внутренней мотивацией человека к уплате налогов. У людей могут быть внутренние мотивы платить налоги или чувствовать вину за несоблюдение налогового законодательства. Также высокий уровень налоговой морали могут определять и «взаимные мотивы», например, убеждение в том, что государство в обмен на получение дохода в виде налогов предоставляет социальные блага налогоплательщикам или обществу в целом [116]. В странах с низким уровнем налоговой морали граждане считают неуплату налогов приемлемой, уклонение от уплаты налогов – рациональным и оправданным [117]. Рост уровня налоговой морали в обществе приводит к увеличению моральных издержек уклонения от уплаты налогов, и, как следствие, к сокращению его масштабов [118].

Причины уклонения от уплаты налогов физическими лицами различаются и на уровне отдельных экономик. Например, основной причиной уклонения физическими лицами в Швеции и Дании является избегание уплаты налога на доход от капитала и индивидуального подоходного налога, тогда как в Франции и Финляндии правила наследования и последующее налогообложение наследства выступают ключевыми мотивами уклонения. Родители выводят активы из страны до того, как их дети получат право на наследование, тем самым, избегая уплаты налога на наследство в стране резидентства после возникновения этого права. В Испании и Италии уклонение от уплаты налогов физическими лицами направлено на неуплату индивидуального подоходного налога, ставка которого может достигать 50% в зависимости от региона проживания налогоплательщика. В Португалии основной причиной уклонения является необходимость

¹³ Уклонение от уплаты налогов (tax evasion) физическими лицами – неправомерные действия, результатом которых является сокрытие или игнорирование налоговых обязательств. Налоговое планирование (tax planning, tax avoidance) физических лиц – минимизация налоговых обязательств законными способами.

уплаты физическими лицами налога на доход от прироста капитала, продажи ценных бумаг и недвижимости – соответствующие ставки составляют от 25% до 28%. В Австралии затраты физических лиц на соблюдение налогового законодательства, наряду с высокой ставкой подоходного налога, выступают ключевыми факторами уклонения. В Бразилии и других странах Латинской Америки традиционные для других экономик причины уклонения (прежде всего, высокие ставки налогов), дополняются исторической спецификой: впервые на континенте налоги были введены колонизаторами, что определило негативное отношение граждан к налогам в принципе.

Типы облагаемого дохода (доход от трудовой деятельности, доход от прироста капитала), прогрессия в индивидуальном подоходном налогообложении, правила налогообложения имущества и наследства влияют на уровень уклонения от налогов и размер активов, выводимых из страны физическими лицами.

Основным мотивом физических лиц для вывода из страны активов в целях уклонения от уплаты налогов на доход является различие в налоговых ставках в стране происхождения дохода и за рубежом. Страны используют льготные налоговые режимы (preferential tax regimes), прежде всего, для привлечения некоторых социально-экономических групп – работников определенных профессий или обладающих определенным уровнем доходов. С точки зрения отдельно взятой страны эта стратегия способна увеличить налоговые поступления и стимулировать внутреннюю занятость. Но в глобальном масштабе подобная налоговая конкуренция, «гонка уступок» (race to the bottom), приводит к сокращению совокупного налогового дохода стран. В самой стране усиливается горизонтальное неравенство и сокращается прогрессивность налога: люди с одинаковым доходом в конечном итоге уплачивают разную сумму налогов.

В таблице 4 представлены характеристики льготных налоговых режимов для физических лиц в странах Европы.

Таблица 4 – Преференциальные налоговые режимы в странах Европы

Доход, к которому применяются льготы	Страны, применяющие режим	Режимы, ед.	Затраты бюджета, € млн	Получатели, тыс. чел	Потери дохода*, € тыс.
Доход из иностранных источников	GRC, FRA, IRE, ITA, LUX, MLT, PRT, ESP, CHE, GBR	10	5141,1	102,4	64,55
Внутренний доход – доход, полученный в результате выполнения определенной деятельности в стране	AUT, BEL, CYP, DNK, FIN, FRA, IRE, ITA, LUX, NLD, SWE	15	2031,3	151,4	15,42
Пенсионный доход из иностранных источников	CYP, GRC, IRE, MLT, PRT	5	294,6	9,3	32,62

Примечание: в расчете на одного бенефициара

Источник: составлено авторами по данным [115, с. 10-11].

Как видно из таблицы 4, льготные налоговые режимы характеризуются высокими издержками применения, проявляющимися, в том числе, в недополучении налогового дохода.

Исследования уклонения от уплаты налогов определяют два типа международных финансовых центров, использующихся для сокрытия активов физических лиц.

1. Финансовый центр-получатель активов (wealth receiving IFC, Type I IFS) – страна, где большое количество нерезидентов владеют банковским счетом и держат активы, которые затем инвестируются в третью страну. Примерами финансовых центров типа I являются Бахрейн, Люксембург, Гонконг, Каймановы острова.

2. Финансовый центр-посредник (Type II IFS) – юрисдикция, в которой расположены подставные компании (shell companies) и другие инструменты «подтверждения» наличия активов. Существование таких центров приводит к некорректному отнесению показателей депозитов к резидентам этих центров и, как следствие, к неточностям в международной финансовой статистике.

Чаще всего международные финансовые центры в целях сокрытия капитала и ухода от уплаты налогов используются лицами с высокими и сверхвысокими доходами (high and ultra-high net worth individuals, HNWI; UHNWI), чистые активы которых составляют US \$ 1-50 млн, и свыше US \$50 млн, соответственно, включая недвижимость и другие активы¹⁴. Другие категории людей, использующие для этих целей финансовые центры – это граждане со средним уровнем дохода и доходами выше средних, прежде всего, врачи и юристы; иностранные работники; известные персоны (чиновники, знаменитости, известные бизнесмены, спортсмены). По оценкам Европейской Комиссии, странами-лидерами ЕС по количеству лиц со сверхвысокими доходами и по размеру активов, выведенных в международные финансовые центры, являются Германия, Франция, Италия и Испания [119, с. 74-75].

Основные механизмы, используемые физическими лицами для сокрытия дохода в международных финансовых центрах включают следующие.

1. Физический перевод наличных денег через национальные границы. Этот механизм используется в основном для финансовых центров, расположенных вблизи юрисдикции налогоплательщика.

2. Выставление счетов анонимными подставными компаниями на фиктивные услуги или роялти.

¹⁴ Наиболее часто используемые пороговые значения в исследованиях уклонения от уплаты налогов

3. Платежи на офшорные банковские счета, осуществляемые клиентами за трансграничные поставки товаров и услуг.

4. Использование удостоверений личности, полученных в рамках программ гражданства в обмен на инвестиции (citizenship-by-investment, CBI) или резидентство в обмен на инвестиции (residence-by-investment, RBI)¹⁵ для сокрытия истинной юрисдикции налогового резидентства физического лица, что приводит к неточной или неполной отчетности при обмене налоговой информацией между странами. По результатам анализа ОЭСР, на сегодняшний день 22 из свыше 100 программ CBI и RBI являются высокорисковыми с точки зрения уклонения от уплаты налогов – они гарантируют низкие ставки налога на доход от финансовых активов, размещенных в стране действия программы, без необходимости значительного физического присутствия плательщика в юрисдикции [120, с. 39].

На рисунке 1 представлена типовая схема уклонения физических лиц от налогообложения с использованием международных финансовых центров.



Источник: составлено авторами по данным [121, с. 25-26]

Рисунок 1 – Алгоритм уклонения физических лиц от налогообложения с использованием международных финансовых центров

¹⁵ Программа CBI – предоставление гражданства в основном или исключительно в обмен на финансовые инвестиции, без требований к значительному предварительному физическому нахождению в юрисдикции, выдавшей гражданство. Программа RBI – получение визы или разрешения на проживание в обмен на финансовые инвестиции. Основное различие между программами заключается в том, что CBI позволяет намного быстрее получить желаемое гражданство (и паспорт) после осуществления инвестиций.

Лица со сверхвысокими доходами могут привлекать в подобные схемы компании по управлению личным капиталом (personal wealth-holding companies). Использование персональных холдинговых компаний позволяет собственникам акционерных корпораций избегать законными методами уплаты налогов при распределении дивидендов: холдинги выступают номинальными владельцами акций корпорации и дивиденды, выплачиваемые корпорацией, формально получает холдинг, с освобождением их от уплаты индивидуального подоходного налога. Ряд стран, в том числе, США, для минимизации подобных практик автоматически облагают подоходным налогом дивиденды, полученные через персональные холдинговые компании, либо облагают дополнительным налогом нераспределенную прибыль таких холдингов [115, с. 66-70; 122, с. 40-42].

Уклонение от уплаты подоходных налогов вследствие перемещения активов в другие юрисдикции приводит к сокращению налоговых доходов государства, резидентом которого является налогоплательщик. Основным источником данных для измерения потерь бюджета является статистика международных финансово-экономических организаций – ОЭСР, МВФ, Банком международных расчетов (Bank of International Settlements, BIS). Ключевые подходы и методы к оценке потерь налоговых доходов в результате уклонения от уплаты налогов резидентами путем перемещения активов за рубеж представлены в таблице 5.

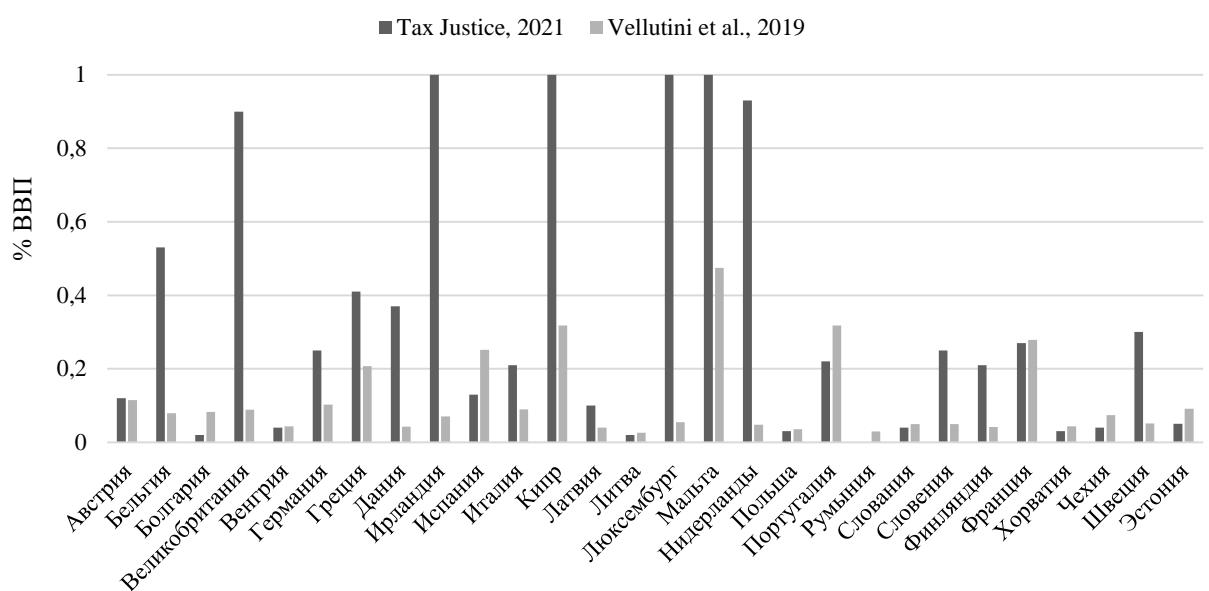
Таблица 5 – Оценка потерь налоговых доходов в результате уклонения от уплаты налогов физическими лицами

Исследование	Методология и методы	Расчетный размер налоговых потерь
Henry (2012)	Экстраполирование данных BIS о трансграничных депозитах физических лиц	2010: US \$189 млрд в странах мира
Pellegrini et al. (2016)	Распределение данных об офшорных активах между странами на основе данных МВФ о портфельных инвестициях (Coordinated Portfolio Investment Survey, CPIS)	2001-2013: US \$20 – US \$42 млрд ежегодно при налогообложении доходов от капитала. 2001-2013: US \$2,1 – US \$2,8 трлн при налогообложении дохода, незадекларированного в стране происхождения, и переведенного в офшор
Zucman (2017)	Несоответствие показателей активов и обязательств в странах мира (агрегированные показатели)	2016: US \$163 млрд
МВФ (2018)	Распределение глобальных офшорных финансовых активов между странами, с использованием данных Национального банка Швейцарии (Swiss National Bank)	2016: 0,1% ВВП при налогообложении финансовых активов
State of Tax Justice (2021)	Распределение глобальных офшорных финансовых активов между странами, использованием агрегированных данных BIS	2020: US \$171 млрд при налогообложении дохода от использования финансовых активов. Потери стран с высоким уровнем дохода составили свыше US \$168 млрд
Vellutini et al. (2019)	<pre> graph TD A[Глобальные офшорные активы] --> B[Оценка глобальных офшорных активов] A --> C[Распределение глобальных офшорных активов по странам] A --> D[Оценка уклонения от уплаты налогов] B --> E[Офшорные активы в Стране 3] B --> F[Офшорные активы в Стране 2] B --> G[Офшорные активы в Стране 1] E --> H[Задекларированный] E --> I[Незадекларированный] F --> H F --> I G --> H G --> I H --> J[Уклонение от уплаты налога на доход и избыточную выгоду] I --> J J --> K[Совокупное уклонение в Стране 1] K --> L[Уклонение от уплаты налога на доход от капитала] K --> M[Уклонение от уплаты налога на подоходного налога в стране присоединения] L --> N[Доход от Задекларированный капитал] L --> O[Незадекларированный капитал] M --> P[Первоначальный доход] M --> Q[Задекларированный] M --> R[Незадекларированный] </pre>	2016: €45,66 млрд в ЕС-27
European Commission (2021)		2004-2018: €51 млрд или 0,34% ВВП ежегодно в ЕС-27. Налоговые потери значительно варьируются с течением времени: €27 млрд в 2005 г. и €124 млрд в 2018 г.

Источник: составлено авторами по данным [119; 121; 123, с. 46-47; 124-126]

Также важным источником данных являются выборочные случайные проверки (stratified random audits), которые помогают выявить незадекларированные доходы от самозанятости, злоупотребление налоговыми вычетами (abuses of tax credits) и другие относительно простые формы уклонения от уплаты налогов. Тем не менее, такие выборочные проверки не позволяют идентифицировать уклонение от уплаты налогов лиц с высоким и сверхвысоким уровнем доходов, прежде всего, по причине использования последними сложных схем ухода от налогов с привлечением юридических и финансовых посредников, обнаружение которых потребовало бы намного больше ресурсов, чем доступно налоговым органам при проверках.

На рисунке 2 представлены предполагаемые потери налогового дохода стран Европы в результате уклонения от уплаты налогов физическими лицами путем перемещения активов за рубеж.



Источник: составлено авторами по данным EU Tax Observatory

Рисунок 2 – Предполагаемые потери налогового дохода стран Европы вследствие трансграничного уклонения от уплаты налогов физическими лицами

Как свидетельствуют данные рисунка 2., максимальные значения за 2019 и 2021 год наблюдаются для Мальты и Кипра, что обусловлено, прежде всего, относительным значением показателя. Абсолютные значения потерь налогового дохода в регионах мира, в том числе, в Европе, вследствие перемещения активов за рубеж физическими лицами представлены в таблице 6.

Таблица 6 –Потери налогового дохода вследствие перемещения средств физическими лицами за рубеж – совокупные данные по региону мира и ТОП-3 стран региона с максимальным размером налоговых убытков

	Потери налогового дохода, USD млн, 2021
Азия	24554,8
Китай	10012,9
Япония	5065,4
Тайвань	2967,5
Африка	2320,5
Ангола	180,4
Нигерия	250
ЮАР	648,6
Европа	99204
Великобритания	25482,4
Ирландия	13728,6
Люксембург	10292,2
Латинская Америка	3336
Мексика	765,1
Панама	548,7
Венесуэла	305,7
Океания	2236,2
Австралия	1820
Новая Зеландия	173
Северная Америка	38405,2
Канада	1826
США	36578,1

Источник: составлено авторами по данным [123].

Для России этот показатель за 2021 год составил 411,6 USD млн (21 место среди стран Европы). Совокупные потери налогового дохода стран мира вследствие перемещения активов физическими лицами за рубеж достигли 171 USD млрд (таблицы 4-5), что соответствует 0,18% мирового ВВП. Масштаб уклонения обуславливает необходимость разработки механизмов противодействия в целях сокращения неравенства, снижения налоговых убытков, предотвращение недобросовестной налоговой конкуренции.

Противодействие уклонению от уплаты налогов физическими лицами

1. Обмен финансовой информацией между странами

На сегодняшний день обмен налоговой и финансовой информацией между странами является наиболее эффективным инструментом предотвращения ухода от уплаты налогов физическими лицами. Основные инициативы стран в этой сфере представлены в таблице 7.

Таблица 7 –Инициативы в сфере обмена информацией для борьбы с уклонением от уплаты налогов физическими лицами

Объединение / Инициатива	Содержание
ОЭСР (2014) Автоматический обмен информацией (Automatic Exchange of Information, AEOI), в том числе, Стандарт автоматического обмена информацией о финансовых счетах в налоговых целях (Standard for Automatic Exchange of Financial Account Information in Tax Matters)	Единый стандарт отчетности (Common Reporting Standard, CRS) в рамках АЕОИ представляет собой стандарт автоматического обмена налоговой и финансовой информацией. Определяет информацию о финансовых счетах, подлежащую обмену; финансовые учреждения, которые должны предоставлять отчетность; различные типы счетов и налогоплательщиков, на которых распространяется действие; общие процедуры комплексной проверки, которым должны следовать финансовые учреждения. Информация, собранная посредством CRS, включает в себя сведения о владельце счета, общий баланс счета на конец года и любой полученный доход в виде процентов или дивидендов. Информация о деньгах, внесенных на счет, не передается. По состоянию на декабрь 2024 CRS принят 125 странами мира.
ЕС (2011) Директива об административном сотрудничестве (The Directive on Administrative Cooperation in the field of taxation], DAC), с изменениями и дополнениями	Предусматривает автоматический обмен информацией между государствами-членами по доходам физических лиц, отличным от процентов: доход от трудовой деятельности; пенсионный доход; вознаграждения директоров; доход от недвижимого имущества; продукты страхования жизни (DAC1). В зависимости от типа информации обмен осуществляется автоматически, по запросу и спонтанно. Модификации Директивы, затрагивающие налогообложение доходов физических лиц, касаются обмена сведениями 1) о финансовых активах и счетах (DAC2); 2) о потенциально недобросовестных трансграничных соглашениях (DAC6); 3) о доходе продавцов онлайн-платформ (DAC7); о криptoактивах (DAC8).
США (2010) Закон о налогообложении иностранных счетов (FATCA)	Иностранные финансовые учреждения обязаны сообщать информацию о финансовых счетах граждан США в Налоговую службу США (Internal Revenue Service IRS). В случае несоблюдения требований эти организации обязаны уплатить штраф в размере 30% от суммы платежей из источников в США. В 2012 году Закон был дополнен серией межправительственных соглашений, которые имплементируют FATCA на уровне страны. По состоянию на 2024 год 112 стран, включая ключевые офшорные финансовые центры, согласились на обмен информацией; подписано свыше 4900 двусторонних соглашений, в соответствии с которыми налоговые администрации обмениваются финансовой информацией.
Программы добровольного раскрытия информации (Voluntary Disclosure Programmes)	Цель – возможность урегулирования налоговых споров для налоговых органов стран, не являющихся участниками международных и двухсторонних соглашений об обмене налоговой информацией. Они позволяют сократить административные расходы на принудительные аудиторские проверки, судебные разбирательства, одновременно позволяя обеспечить уплату налогов и получить доход.

Источник: составлено авторами по данным [119, с. 33-35; 121, с. 37-47; 115, с. 27-28; 127].

По оценкам Global Tax Evasion Report (2024), благодаря автоматическому обмену банковской информацией, уклонение от уплаты налогов физическими лицами за счет перевода активов в офшоры сократилось примерно в три раза менее чем за 10 лет. До 2013 года домохозяйства владели эквивалентом 10% мирового ВВП в виде финансовых активов налоговых гаванях по всему миру, большая часть которых не была задекларирована и принадлежала гражданам с высоким доходом.

Тем не менее, обмен информацией между странами в полной мере невозможен из-за двух основных проблем. Во-первых, по-прежнему не все офшорные финансовые учреждения соблюдают требования передачи отчетности, в том числе, по причине опасения потери клиентов. Во-вторых, не на все виды активов распространяются требования автоматического обмена банковской информацией. К таким активам относится, прежде всего, недвижимость [115, с. 7-8].

2. Международное сотрудничество

Основная цель международного сотрудничества – это избегание «гонки уступок», регулирование недобросовестной налоговой конкуренции (harmful tax practices), возникающей вследствие применения преференциальных налоговых режимов, прежде всего, для состоятельных лиц. Главным бенефициаром сотрудничества являются небольшие страны и страны с низким уровнем дохода, поскольку они в большей степени уязвимы к международной мобильности факторов производства и более ограничены в своих возможностях управлять ею в одностороннем порядке.

3. Меры налоговой политики

Основные существующие на сегодняшний день предложения связаны с реформированием налогообложения лиц со сверхвысоким уровнем доходов (как основных субъектов уклонения) и носят дискуссионный характер.

3.1. Введение всеобщего минимального налога на активы/богатство (coordinated global minimum wealth tax) для лиц со сверхвысоким уровнем доходов

По оценкам Global Tax Evasion Report [115], введение такого налога способно сократить масштаб уклонений, поскольку всеобщие минимальные налоги гарантируют, что независимо от конкретных исключений, льгот или стратегий уклонения от уплаты налогов, которые могут использовать состоятельные налогоплательщики, фактически уплаченный налог не может быть ниже определенной суммы. Взимание этого налога по ставке 2% обеспечит дополнительные поступления в размере US \$250 млрд, при количестве плательщиков, не превышающем 3000 человек (таблица 8).

Таблица 8 – Потенциальный доход от взимания всеобщего минимального налога на активы

Регион	Количество миллиардеров, чел.	Совокупные активы, US\$ млрд	Уплачиваемый индивидуальный подоходный налог, US\$ млрд	Доход от взимания 2% налога на активы, US\$ млрд
Европа	499	2418	6,1	42,3
Северная Америка	835	4822	24,1	72,3
Восточная Азия	838	3446	8,6	60,3
Южная и Юго-Восточная Азия	260	991	2,5	17,3
Латинская Америка	105	419	1,04	7,3
Африка к югу от Сахары	11	52	0,13	0,91
Ближний Восток и Северная Африка	75	182	0,45	3,2
Россия и Центральная Азия	133	586	1,5	10,3
Итого	2756	12916	44,4	213,9

Примечание: Минимальный налог рассчитывается как 2% от стоимости активов миллиардеров за вычетом суммы индивидуального подоходного налога, который они уже уплачивают.

Источник: составлено авторами по данным [115, с. 11-13].

В качестве налоговой базы предлагается использовать совокупные чистые активы (таблица 8) по их текущей рыночной стоимости, поскольку потоки доходов и потребительские расходы лиц со сверхвысокими доходами сложно идентифицировать. Как инструмент современной налоговой политики, всеобщее налогообложение дохода состоятельных граждан по минимальной ставке имеет ряд потенциальных преимуществ.

- Обеспечение роста доходов в контексте нарастающих потребностей в государственных инвестициях в образование, здравоохранение, инфраструктуру и «зеленую» экономику.
- Сдерживание роста экономического неравенства.
- Повышение налоговой дисциплины и поддержка обществом налоговых реформ за счет повышения доверия к правительству. Правительство, которое продемонстрировало способность облагать налогом наиболее богатых, тем самым, обеспечив соблюдение принципа справедливости, с большей вероятностью будет пользоваться доверием граждан.
- Повышение уровня налоговой морали в обществе.
- Сдерживание международной налоговой конкуренции: введение этого налога критической массой стран позволило бы остановить «гонку уступок», поскольку разница в эффективных ставках было бы крайне незначительной [122, с. 30-33].

При этом, обеспечение беспрецедентного уровня международной налоговой координации стран для введения всеобщего минимального налога является основным вызовом для реализации этой инициативы на практике.

3.2 Прогрессивное налогообложение лиц со сверхвысокими доходами – налогообложение прироста капитала и налогообложение наследства

Прирост капитала составляет наиболее существенную часть дохода состоятельных граждан, облагаемую по максимальным ставкам шкалы подоходного налога. В то же время, налогообложение прироста капитала в большинстве стран облагается по более низким эффективным ставкам, чем другие виды доходов. С учетом этого, прогрессивность налоговой системы применительно к лицам со сверхвысокими доходами, не достигает своей цели.

Это обуславливает значительное внимание со стороны развитых стран к реформированию налогообложения доходов физических лиц от капитала и в виде наследства. Основные меры, направленные на повышение прогрессивности налогов для лиц со сверхвысокими доходами, связаны с дальнейшим ростом максимальных ставок подоходного налога и улучшением налогового контроля. Важнейшим препятствием реализации подобных мероприятий на практике, усложняющим потенциал прогрессивного налогообложения, является глобализация, упрощающая перемещение факторов производства в более благоприятные налоговые юрисдикции.

Выводы к разделу 4

Анализ особенностей оппортунистического поведения различных групп экономических агентов в части уклонения от уплаты налогов позволил сформулировать следующие основные выводы.

1. Выявлено, что ключевыми фискальными драйверами перемещения активов физических лиц за границу являются (в порядке убывания) налоги на прирост капитала, налоги на наследство, индивидуальные подоходные налоги.

2. Установлено, что меры налоговой политики, административное и институциональное сотрудничество, реализуемые в целях противодействия незаконной деятельности, наряду с преимуществом в виде сокращения масштабов мошенничества с НДС, имеют важный недостаток, проявляющийся в возникновении негативных экстерналий. Эти эффекты заключаются в том, что сложность исполнения налоговых процедур, бюрократия, увеличение сроков выплат возмещения НДС и т.д. негативно отражаются на деятельности законопослушных экономических агентов.

3. Соответственно, основная задача при разработке и имплементации мер противодействия мошенничеству с НДС может быть определена как поиск баланса между сокращением дополнительного бремени администрирования НДС на бизнес в целом, защитой самого бизнеса от мошенничества и минимизацией потерь государственного дохода от противоправных действий.

4. Выявлено, что неправомерное использование налоговых льгот вызывает различные искажения, прежде всего, в сфере иностранных инвестиций и внешней торговли, выступая риском для экономической безопасности страны. Преимущественно это характерно для стран, где непрозрачность налогового законодательства «содействует» незаконному использованию льгот в части трансфертного ценообразования, как инструмента перемещения прибыли ТНК, и мошенничества с НДС, в том числе, в электронной торговле.

5. Установлено, что основными субъектами уклонения, деятельность которых приводит к максимальным потерям налоговых поступлений, являются лица с высоким и сверхвысоким уровнем дохода, использующие финансовых и юридических посредников для размещения своих активов в международных финансовых центрах.

6. Определено, что с точки зрения налоговой теории оптимальным инструментом сокращения потерь от трансграничного уклонения от уплаты налогов выступает всеобщий минимальный налог на богатых.

7. Анализ современного инструментария противодействия уклонению от уплаты налогов позволило установить, что наиболее эффективным методом противодействия уклонению является обмен налоговой и финансовой информацией между юрисдикциями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, проведенного в рамках первого этапа НИР, получены следующие основные результаты.

В рамках решения задачи исследования, связанной с выявлением основных последствий антироссийских санкций для внешней торговли России и отдельных секторов внутреннего рынка, авторами проведен анализ динамики внешнеторговых товарных операций России с отдельными странами и регионами мира. Значимость в современных условиях высокотехнологичных товаров и технологических решений обусловила отдельное исследование особенностей санкций, затрагивающих высокотехнологичные отрасли экономики.

Анализ внешней торговли товарами России и стран ЕС выявил сокращение внешнеторговых потоков по всем крупным товарным группам. При этом наблюдались различные темпы сокращения импорта российских энергоносителей в ЕС за 2021-2025 гг.: наиболее существенно (в 28 раз) сократился импорт продуктов нефтеперарботки; более, чем в раза – импорт природного газа (в газообразном состоянии), и менее, чем в 1,5 раза – импорт сжиженного природного газа.

Падение цен на природный газ с пиковых значений 2022-2023 гг., которые наблюдались после введения ограничений европейскими импортерами российского газа, а также ответных действий РФ, связано главным образом с переориентацией стран Европы на импорт сжиженного природного газа, прежде всего, из США. Этот процесс связан с негативными последствиями для некоторых развивающихся стран, таких как Бангладеш и Пакистан, где наблюдаются негативные сдвиги в цепочках поставок сжиженного газа, от которых зависит их экономика.

В результате введения санкций произошли сдвиги в цепочках стоимости, связанные с переориентацией стран Европы на других поставщиков сырья, энергоресурсов, стали и чугуна, которые удалены географически. Ориентация на новых поставщиков требует необходимости формирования новых логистических цепочек и готовности нести возросшие транспортные издержки, что может привести к росту конечных цен товаров на рынках страны-импортера. Перестройка логистических цепочек по энергоносителям и сельскохозяйственному сырью затронула как смежные отрасли (производство чипов, для которого нужен алюминий и никель, экспортруемый Россией; сельское хозяйство в целом из-за сокращения экспорта российских удобрений), так и трети страны, непосредственно не задействованные в санкционных эпизодах.

Анализ характера санкционных ограничений позволил выявить, что ключевым направлением санкций в отношении высоких технологий и искусственного интеллекта является экспортный контроль. Основные проблемы, с которыми сталкивается экспортный контроль товаров и услуг, связанных с использованием искусственного интеллекта: сложность классификации; отсутствие унифицированных стандартов в странах-инициаторах, прежде всего, в ЕС, США и Великобритании; проблемы определения контролируемых лиц/непреднамеренного доступа.

Ключевые проблемы, с которыми сталкиваются страны-инициаторы, при введении санкций против России, касаются как общих вопросов, присущих санкциям как инструменту политики, так и особенностям антироссийских санкций. В числе последних: высокая степень произвольности; неточность обоснования вводимых санкций, прежде всего, в отношении взаимосвязи между субъектами санкций и политикой России; существование санкций в качестве формы квазиуголовной ответственности без надлежащей правовой процедуры или применения уголовно-правовых гарантий, таких как презумпция невиновности.

Для изучения совокупности свойств компромиссных решений в теоретико-игровых моделях и задачах теории принятия решений, адаптируемых к условиям антироссийских экономических санкций, авторами исследованы особенности принятия решений экономическими агентами в условиях неопределенности и неполноты информации, рассмотрены различные типы задач оптимизации в условиях ограниченности ресурсов. Вышеуказанное исследование позволило прийти к следующим основным выводам.

По результатам исследования игры заполнения с ограничениями на поток разработан алгоритм установления, в каких случаях равновесное распределение игроков в рассматриваемой игре близко к социальному оптимуму, а в каких может существенно отклоняться от него. Полученный результат является значимым для дальнейшего исследования в рамках проекта, прежде всего, в части определения стратегий поведения экономических агентов в условиях санкционных ограничений.

Найдено равновесие Байеса-Нэша с учетом априорного распределения вероятностей естественного состояния, а также определены ограничения на параметры модели (доля инвестора в проекте и процентная ставка) при исследовании венчурного инвестирования как примера реализации концепции ресурсоподобного риска.

Подтверждена гипотеза о существовании положительной премии моментума и установлено наличие устойчивого эффекта моментума на российском фондовом рынке в периоде 2015–2020 гг.. Краткосрочные и среднесрочные стратегии экономических агентов

являются предпочтительными с точки зрения воспроизводимости и эффективности в локальном контексте. При этом, концентрация активов с высокой реализованной волатильностью в фазе формирования усиливает нестабильность доходности и повышает вероятность наступления резких просадок стратегии в условиях неопределенности и рыночных потрясений.

Как следствие, это позволило обосновать практическую применимость моментум-стратегий экономических агентов, адаптированных к специфике российского рынка, а также в задачах активного управления портфелями, в условиях неполноты информации.

Дальнейшее исследование возможностей современного математического инструментария (а именно, математической лингвистики) для решения задач исследования, позволило выявить, что на сегодняшний день, использование систем искусственного интеллекта для перевода оправдано в рутинных, низкорисковых задачах. Однако в сценариях высокой ответственности полная автоматизация недопустима. Искусственный интеллект не способен (и в ближайшее время не будет способен) адекватно заменить человека-эксперта в вопросах, касающихся этики, эмоций и скрытых культурных смыслов. Данное заключение является существенным для дальнейшего исследования поведения экономических агентов, на которое воздействует, в том числе, интеграция искусственного интеллекта в бизнес-процессы.

В рамках решения задачи проекта, связанной с формированием стратегий поведения экономических агентов в условиях неопределенности и ограниченности ресурсов, авторами исследованы особенности поведения отдельных целевых групп агентов: страховых компаний и государства как регулятора страхового рынка; застройщиков (девелоперов) на внутреннем рынке.

Применительно к рынку страхования, полученные результаты включают разработку комплекса дифференцированных стратегий для государственных органов и страховых компаний (на примере стран БРИКС), определение основных задач управления киберрискаами в условиях геополитической неопределенности на национальном уровне и на уровне страховых компаний.

Исследование современного рынка жилищного строительства показало, что наиболее существенное влияние на его развитие рынка оказало изменение ключевой ставки, вызванное, в том числе, и экономическими санкциями-2022. В момент существенного роста разрыва между официальным уровнем ключевой ставки и ставкой по льготным ипотечным программам изменилось поведение застройщиков – они активизировали свою деятельность, однако пространственные её особенности изменились:

интенсивнее осваивались зоны серого пояса в ядре агломерации, поскольку это снижало зависимость застройщиков от ипотечного кредитования.

Важное значение для дальнейшего исследования поведения экономических агентов имеют определенные авторами адаптационные стратегии застройщиков на рынке Санкт-Петербурга и агломерационной зоны, в том числе:

- стратегия пространственной экспансии (для местных застройщиков);
- стратегия «освоения Северной столицы» (для федеральных и региональных застройщиков из других регионов);
- стратегия экспансии местных застройщиков в пригородную зону;
- стратегия постепенного отказа от наиболее масштабных кварталов эконом-класса в «городах-спальнях».

Исследование основных преимуществ ЕИСЖС позволило обосновать возможность использования этого источника данных для рассмотрения жилищного строительства в корпоративно-территориально-отраслевом разрезе.

Практическую значимость имеет предложенный авторами способ получения атрибутивных и пространственных данных из ЕИСЖС по каждому жилому объекту на исследуемой территории, а также подход к обработке полученных данных. Результаты исследований могут быть в дальнейшем использованы для комплексных исследований жилищного строительства с учетом особенностей поведения девелоперов, как экономических агентов на внутреннем рынке, и их адаптаций к внешним шокам, в том числе к антироссийским санкциям.

С учетом того, что условия неопределенности и ограниченности ресурсов, усиленные санкционным давлением, способны стимулировать экономических агентов к оппортунистическому поведению, авторами исследованы особенности уклонения от уплаты налогов различными типами экономических агентов.

Выявлено, что ключевыми фискальными драйверами перемещения активов физических лиц за границу являются (в порядке убывания) налоги на прирост капитала, налоги на наследство, индивидуальные подоходные налоги. При этом, меры налоговой политики, административное и институциональное сотрудничество, реализуемые в целях противодействия незаконной деятельности, наряду с преимуществом в виде сокращения масштабов мошенничества с НДС, имеют важный недостаток, проявляющийся в возникновении негативных экстерналий. Эти эффекты заключаются в том, что сложность исполнения налоговых процедур, бюрократия, увеличение сроков выплат возмещения НДС и т.д. негативно отражаются на деятельности законопослушных экономических агентов.

Также неправомерное использование налоговых льгот вызывает различные искажения, прежде всего, в сфере иностранных инвестиций и внешней торговли, выступая риском для экономической безопасности страны. Преимущественно это характерно для стран, где непрозрачность налогового законодательства «содействует» незаконному использованию льгот в части трансфертного ценообразования, как инструмента перемещения прибыли ТНК, и мошенничества с НДС, в том числе, в электронной торговле.

Основными субъектами уклонения, деятельность которых приводит к максимальным потерям налоговых поступлений, являются лица с высоким и сверхвысоким уровнем дохода, использующие финансовых и юридических посредников для размещения своих активов в международных финансовых центрах.

На последующих этапах реализации проекта предполагается использование полученных результатов при формировании стратегий взаимодействия экономических агентов в условиях санкционных ограничений – как стимула к оппортунистическому поведению, прежде всего, в части решения задачи оптимизации налоговой нагрузки.

В целом, полученные на первом этапе результаты являются результатами самостоятельных исследований участников авторского коллектива, обладают научной новизной, а также формируют задел для последующих этапов реализации проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hufbauer G.C., Schott J.J., Elliott K.A., Oegg B. Economic Sanctions Reconsidered. 3d ed. - Washington, DC: Peterson Institute for International Economics, 2007. - 248 p.
2. Белозёров С.А., Соколовская Е.В. Экономические санкции-2022 и контрсанкционная политика России в финансовом секторе / Материалы междунар. науч. конф. Седьмой международный экономический симпозиум – 2023. СПб.: ООО «Скифия-принт», 2023. - С. 265-271.
3. Белозёров С.А., Соколовская Е.В. Экономические санкции и их влияние на страховой рынок России / Сб. трудов XXIII Междунар. науч.-практ. конф. Современная модель развития страхового рынка: приоритеты и возможности / Санкт-Петербургский государственный университет, Всероссийский союз страховщиков. СПб.: : Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2022. - С. 127-132.
4. Гринберг Р.С., Белозёров С.А., Соколовская Е.В. Оценка эффективности экономических санкций. Возможности систематического анализа // Экономика региона. - 2021. - Т. 17, вып. 2. - С. 354-374. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-2-1
5. Lavdari F., Lavdari X. MFN Yes, MFN No? Trade Developments between the EU and Russia and the Principle of Most-Favored-Nation. Policy Perspectives. - 2022. - Vol. 19(2). - P. 61-87.
6. Standard International Trade Classification, SITC. ver.4. URL: <https://unstats.un.org/unsd/trade/sitcrev4.htm> (дата обращения: 15.11.2025)
7. Official Journal of the European Union, L 111, of 8 April 2022
8. Official Journal of the European Union L 259. Vol. 65. Legislation. 6 October 2022.
9. EU imports of energy products – latest developments. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_imports_of_energy_products_-_latest_developments (дата обращения: 15.11.2025)
10. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act) / Official Journal of the European Union 12.7.2024.
11. Индикаторы цифровой экономики: 2025: статистический сборник / В.Л. Абашкин, Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский, Л.М. Гохберг и др.; - Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». - М.: НИУ ВШЭ, 2025.

12. Трофимова Г.А. Цифровая трансформация в России в условиях санкций // Журнал прикладных исследований. - 2022. - 1(8). - С. 104-107.
13. Markowitz H. Portfolio Selection. The Journal of Finance. 1952. - N7. - P. 77 - 91.
14. Кумачева С.Ш. Концепция ресурсноподобного риска на примере венчурного инвестирования в России. Сборник трудов XXV Международной научно-практической конференции ВСС. - Москва, 2024. - С. 221-229.
15. Приходько Р.В. Инновационные риски: содержание и способы предотвращения // Научный журнал НИУ ИТМО. Экономика и Экологический менеджмент. - 2022. - №2. - С.22-128. DOI:10.17586/2310-1172-2022-16-2-122-128.
16. Банников А.Ю., Соколов Д.С. Опыт страхования рисков инвестиционных и инновационных проектов в России // Государственный Советник. - 2016. №2. - С. 32-36.
17. Damodaran A. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. - 3rd Edition, Wiley, Hoboken, 2012.
18. Greenfield M. F. Risk management 'Risk as a resource'. 1998. URL: <http://www.hq.nasa.gov/occe/codeq/risk/risk.pdf> (дата обращения: 15.11.2025).
19. Harsanyi J. C. () Games with Incomplete Information Played by Bayesian Players, I-III. Management Science - 1967/68. N14(3). - P. 159 - 183 (Part I), N14(5). - P. 320 - 334 (Part II), N14(7).- P. 486 - 502 (Part III).
20. Zamir S. Bayesian Games: Games with Incomplete Information. Encyclopedia of Complexity and Systems Science. - 2008. - P. 426_454. Encyclopedia of Complexity and Systems Science. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-329>.
21. Sharpe W. F., Alexander G. J., Bailey, J.V. Investments. - Prentice Hall, 1998. - 962 p.
22. Aumann R., Hart S. Handbook of Game Theory with Economic Applications. - 1994. vol.2. - P. 735 - 1520.
23. Pechersky S. L., Belyaeva A. A. Game Theory for Economists. 2001. - St.Petersburg: European University (in Russian).
24. Petrosyan L. Zenkevich N., Shevkoplyas E. Game theory. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2012. - 432 p. (in Russian).
25. Gibbons R. Game Theory for Applied Economists. Princeton University Press, 1992. - P. 144 - 152.
26. Fama E. F. Efficient capital markets: a review of theory and empirical work // American Economic Review. - 1970. - Vol. 58, No. 3. - P. 383-417. DOI: 10.2307/2325486.
27. Moskowitz T. J., Grinblatt M. Do industries explain momentum? // Journal of Finance. - 1999. - Vol. 54, No. 4. - P. 1249-1290.

28. Asness C. S., Moskowitz T. J., Pedersen L. H. Value and momentum everywhere // *Journal of Finance*. - 2013. - Vol. 68, No. 3. - P. 929-985. DOI: 10.1111/jofi.12021.
29. Barroso P., Santa-Clara P. Momentum has its moments // *Journal of Financial Economics*. - 2015. - Vol. 116, No. 1. - P. 111-120. DOI: 10.1016/j.jfineco.2014.11.010.
30. Daniel K., Moskowitz T. J. Momentum crashes // *Journal of Financial Economics*. - 2016. - Vol. 122, No. 2. - P. 221-247. DOI: 10.1016/j.jfineco.2015.12.002
31. Moskowitz T. J., Ooi Y. H., Pedersen L. H. Time series momentum // *Journal of Financial Economics*. - 2012. - Vol. 104, No. 2. - P. 228-250. DOI: 10.1016/j.jfineco.2011.11.003.
32. Микова Е. С., Теплова Т. В. Особенности моментум-стратегий на российском фондовом рынке // *Финансовые исследования*. - 2013. - № 4 (41). - С. 16-32.
33. Назарова В. В., Лещев С. И. Исследование моментум-эффекта в динамике цен высоколиквидных акций на российском рынке ценных бумаг // *Финансовый журнал*. - 2023. - Т. 15, № 1. - С. 58-73. DOI: 10.31107/2075-1990-2023-1-58-73.
34. Jegadeesh N., Titman, S. Returns to buying winners and selling losers: implications for stock market efficiency // *Journal of Finance*. - 1993. - Vol. 48, No. 1. - P. 65-91. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1993.tb04702.x.
35. Miller C.W., Yang I. Optimal control of conditional value-at-risk in continuous time. *SIAM Journal on Control and Optimization*. - 2017. - vol. 55. - N.2. - P. 856-884. doi:10.1137/16M1058492.
36. Bjork T., Murgoci A. A general theory of markovian time inconsistent stochastic control problems. - SSRN - 2010. DOI: 10.2139/ssrn.1694759
37. Uryasev S., Rockafellar R.T. Conditional value-at-risk: optimization approach In: Uryasev S., Pardalos P.M. (eds) *Stochastic Optimization: Algorithms and Applications*. Applied Optimization, 2001. - vol. 54. - Boston: Springer, 2001. DOI:10.1007/978-1-4757-6594-6_17.
38. Oksendal B., Sulem A. *Applied stochastic control of jump diffusions*. NY.: Springer Cham, 2019. - 436 p.
39. Rosenthal R.W. A class of games possessing pure-strategy Nash equilibria // *International Journal of Game Theory*. - 1973. - V. 2, - No 1. - P. 65-67.
40. Ackermann H., Roglin H., Vocking B. Pure Nash equilibria in player-specific and weighted congestion games // *Theoretical Computer Science*. - 2009. - V. 410. - No 17. - P. 1552-1563.
41. Fanelli A., Moscardelli L. On best response dynamics in weighted congestion games with polynomial delays // *Distributed Computing*. - 2011. - V. 24. - No 5. - P. 245-254.

42. Harks T., Klimm M., Mohring R.H. Characterizing the existence of potential functions in weighted congestion games // Theory of Computing Systems. - 2011. - V. 49. - No 1. - P. 46-70.
43. Milchtaich I. Congestion games with player-specific payoff functions // Games and Economic Behavior. - 1996. - V. 13. - No 1. - P. 111-124.
44. Nikitina N.N., Mazalov V.V. Potential in Congestion Game with Different Types of Vehicles // Doklady Mathematics . - 2024. - V. 110. - P. S433–S439.
45. Gusev V.V. Cooperative congestion games: existence of a Nash- stable coalition structure // Optimization Letters. - 2022. - V. 16. - P. 2787–2801.
46. Stackelberg H. v. Marktform und Gleichgewicht. Berlin: Springer, 1934. (English Translated: The Theory of the Market Economy. Oxford: Oxford University Press, 1952)
47. Magnanti T.L., Wong R.T. Network design and transportation planning: models and algorithms // Transportation Science. - 1984. - Vol. 18. - P. 1-55.
48. Wong S.C., Yang H. Reserve capacity of a signal-controlled road network // Transportation Research Part B. - 1997. - Vol. 31. - P. 397-402.
49. Gao Z.Y., Wu J.J., Sun H.J. Solution algorithm for the bi-level discrete network design problem // Transportation Research Part B. - 2005. - Vol. 39. - P. 479-495.
50. Tobin R. L., Friesz T. L. Sensitivity Analysis for Equilibrium Network Flow // Transportation Science. 1988. Vol. 22, No 4. P. 231–293.
51. Tobin R. L. Sensitivity Analysis for Variational Inequalities // Journal of Optimization Theory and Applications. - 1986. - Vol. 48. - No 1. - P. 191-204.
52. Gairing M., Harks T., Klimm M. Complexity and Approximation of the Continuous Network Design Problem // SIAM Journal on Optimization. - 2017. - Vol. 27. -No 3. - P. 1554-1582.
53. Krylatov A.Yu. Global Optimum Search in the Network Design Problem // Computational Mathematics and Mathematical Physics.- 2024. - Vol. 64. - No. 10. - P. 2238-2255.
54. Wei B. Advancements and challenges in AI-driven creative translation: A comprehensive analysis. Applied and Computational Engineering. - 2024. N82. - P. 82-87. DOI:10.54254/2755-2721/82/20240937
55. Gorodishchev A. V., Gorodishcheva A. N., Kovalev G. P. Digital influencer factory: the price of word authority. In 2023 Communication Strategies in Digital Society Seminar (ComSDS) - P. 50-53. - IEEE. 2023, April
56. Mah P. M., Skalna I., Muzam, J. Natural Language Processing and Artificial Intelligence for Enterprise Management in the Era of Industry 4.0. Applied Sciences. - 2022. - N12(18). - P. 9207. DOI: 10.3390/app12189207.

57. Фалалеев А. Японский клён. - М.: Перспектива, 2019.- 176 с.
58. Рябцева Н. К. Современная лексикография, дополненная лингвистическая реальность и проблемы терминографии. Лингвистика и методика преподавания иностранных языков. - 2022. - N.1(16)). - С. 75.
59. Ning Wang, Sanchit Goel, Stephanie Ibrahim, Varsha D. Badal, Colin Depp, Erhan Bilal, Koduvayur Subbalakshmi, Ellen Lee. Decoding loneliness: Can explainable AI help in understanding language differences in lonely older adults?, Psychiatry Research. - 2024. - Vol.339. – 116078. DOI: 10.1016/j.psychres.2024.116078.
60. Kruzhilina T.V. On Text Understanding Modeling by Means of Artificial Intelligence Systems. Proceedings of the Southwest State University. – 2023. - N27(4). - P. 98-116. (In Russ.) DOI: 10.21869/2223-1560-2023-27-4-98-116
61. GiTHub URL:
<https://github.com/huggingface/evaluate/blob/main/metrics/bleu/README.md> (дата обращения: 15.11.2025).
62. Аркадьев В.А. Состояние сектора страхования жизни стран - участниц экономического объединения БРИКС // Страховое дело. - 2023. - № 9. - С. 19-25.
63. Белозеров С.А., Ли Т., Аркадьев В.А. Национальные особенности системы пенсионного страхования в Китае // Экономика и управление. - 2023. - №29(7). - С. 772-782. DOI:10.35854/1998-1627-2023-7-772-782 EDN: JZYWVZ
64. Cyber Insurance Coming of Age. Howden Insurance Group. July 2023. - 46 p.
65. Cyber Insurance and Its Potential Role in Risk Management Programs. Joint Statement. Federal Financial Institutions Examination Council. 2018 - 3 p.
66. Cyber insurance: strengthening resilience for the digital transformation. Swiss Re Institute. November 2022. - 29 p.
67. Allianz Risk Barometer. Identifying the major business risks for 2025. Allianz Commercial, 2025. - 46 p.
68. Белозёров С.А., Соколовская Е.В. Кибер-риски в условиях геополитических конфликтов: вызовы и возможности для страхования. Сб. трудов XXIV Междунар. науч.-практ. конф. Роль управления рисками и страхования в обеспечении устойчивости общества и экономики. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. - С. 190-194.
69. OECD. Encouraging Clarity in Cyber Insurance Coverage. The Role of Public Policy and Regulation. OECD, 2020. - 42 p
70. Updated Advisory on Potential Sanctions Risks for Facilitating Ransomware Payments. The U.S. Department of the Treasury's OFAC. September 21, 2021. - 6 p.

71. Куричева Е.К. Жилищное строительство в Московской агломерации: пространственные последствия // Вестник Московского университета. - Серия 5. География. - 2017. - № 3. - С. 87-90.
72. Махрова А. Г., Бабкин Р. А. Анализ пульсаций системы расселения Московской агломерации с использованием данных сотовых операторов // Региональные исследования. - 2018. - №. 2. - С. 68-78.
73. Бабкин Р. А. Пространственная структура Московской метрополии // Федерализм. - 2024. - Т. 29. - №. 2. - С. 110-130.
74. Пузанов А.С., Косарева Н.Б., Полиди Т.Д. Основные тенденции жилищной экономики российских городов // Городские исследования и практики. - 2015. - С. 34-55. DOI: 10.17323/usp00201534-55
75. Слука Н.А. Цели, задачи и проблемы корпоративной географии // Известия РАН. - Серия географическая. - 2016. - № 5. - С. 38-45. DOI: 10.15356/0373-2444-2016-5-38-45
76. Долгосрочные тренды в экономике, жилищной и градостроительной сферах крупнейших городских агломераций России, Фонд «Институт экономики города». Москва, 2023 год. URL: https://cbr.ru/Content/Document/File/156191/press_3.pdf (дата обращения: 20.04.2025).
77. Федеральная служба государственной статистики. URL: www.gks.ru (дата обращения: 25.04.2025).
78. Портфель кредитов населения и бизнеса в России впервые превысил 100 трлн рублей. URL: <https://www.forbes.ru/finansy/500007-portfel-kreditov-naseleniya-i-biznesa-v-rossii-vpervye-prevyshil-100-trln-rublej> (дата обращения: 25.04.2025).
79. Грушина О. В., Красноштанова Т. А. Кризисы XXI века, или, как выжить отрасли жилищного строительства в РФ // Государственное управление. Электронный вестник. - 2022. - №. 95. - С. 20-40.
80. Зубаревич Н. В. Регионы России в конце 2023 г.: удалось ли преодолеть кризисный спад? // Вопросы теоретической экономики. - 2024. - № 1. - С. 34-47. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2024_1_34_47
81. Логвинов И.А., Лачининский С.С. Возможность применения данных по многоквартирным домам фонда развития территорий при исследовании городских агломераций. ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Географический факультет МГУ, 2023. - Т. 29. Ч. 2. - С. 407-422. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-2-29-407-422
82. Манушин Д.В. Антисанкционная и санкционная экономическая политика России 2022–2025. Часть 2: Последствия войны санкций, управление изменениями, уточнение

понятий исследования // Russian Journal of Economics and Law. – 2024. - №18(1). - С. 36-69. DOI:10.21202/2782-2923.2024.1.36-69.

83. Постановление правительства РФ от 26 марта 2019 года N 319 «О единой информационной системе жилищного строительства» (с изменениями на 13 марта 2025 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/553953360?ysclid=m9pq06w8ov422292034> (дата обращения: 25.04.2025).

84. Sternik S.G., Safronova N.B. Financialization of real estate markets as a macroeconomic trend of the digital economy // Studies on Russian Economic Development. - 2021. - V. 32 No 6. - P. 676-682. DOI: 10.1134/S1075700721060149.

85. Единая информационная система жилищного строительства. URL: <https://xn--80az8a.xn--d1aqf.xn--p1ai/> (дата обращения: 25.04.2025).

86. Яков и Партнёры - Прогнозы развития отрасли девелопмента в России. URL: <https://yakovpartners.ru/publications/real-estate-survival-guide> (дата обращения: 25.04.2025).

87. Алексеенко А. П., Лаврентьев И. А., Латышева Н. Е. Оценка текущего состояния и перспектив развития жилищного строительства Дальневосточного федерального округа Российской Федерации. Вестник университета. - 2024. - №. 2. - С. 52-65.

88. Dogucu M., Çetinkaya-Rundel M. Web scraping in the statistics and data science curriculum: Challenges and opportunities // Journal of Statistics and Data Science Education. - 2021. - V. 29. - P. 112-122. DOI: 10.1080/10691898.2020.1787116.

89. Souza T. G. D., Fonseca F. D., Fernandes V. D. O., Pedrassoli J.C. Exploratory spatial analysis of housing prices obtained from web scraping technique // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. - 2021. - V. 43. – P. 135-140. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-135-2021.

90. Web Scraper - The #1 web scraping extension. URL: <https://webscraper.io/> (дата обращения: 25.04.2025).

91. Лымарь В.В., Карпов А.С., Краснова О.А. Применение параметрических методов для картирования морфологии городской застройки на примере Василеостровского района СанктПетербурга // Урбанистика. - 2021. - № 1. - С. 34-55. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.1.35029.

92. Геттнер А. География. Ее история сущность и методы. М.: Юрайт, 2020. - 426 с.

93. Логвинов И.А., Лачининский С.С., Нуриев Т.Р. Создание набора данных для исследования пространственно-временной динамики жилищного строительства на основе данных ГИС ЖКХ и дистанционного зондирования: принципы, инструменты, результаты. ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Географический факультет МГУ, 2024. - Т. 30. - Ч. 2. - С. 498-515. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-498-515.

94. Ester M. et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *kdd*. - 1996. - V. 96. - No. 34. - P. 226-231.
95. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Заварзин А.В., Лурье И.К., Рыльский И.А., Трофимов А.М., Флейс М.Э., Яровых В.Б. Основы геоинформатики. Учебное пособие для вузов. В 2-х книгах. Книга 1. М.: Академия, 2004. - 352 с.
96. Fan Y., Leung C. K. Y., Yang Z. Financial conditions, local competition, and local market leaders: The case of real estate developers // *Pacific Economic Review*. - 2022. - V. 27. - No. 2. - P. 131-193. DOI: 10.1111/1468-0106.12360.
97. Lachininskii S. S., Logvinov I. A., Sorokin I. S. Modern Methods for Studying the Spatial Structure of Urban Agglomerations (a Case Study of the St. Petersburg Urban Agglomeration) // *Regional Research of Russia*. - 2024. - V. 14. - No. 2. - P. 170-180. DOI: 10.1134/S2079970524600100.
98. Логвинов И. А. Крупномасштабное моделирование расселения населения Комсомольскана-Амуре по данным реестра объектов жилищного фонда. Вторая международная научнопрактическая конференция Студенческого научного общества Санкт-Петербургского государственного университета: сборник статей. СПб: Издательство Скифия, СПбГУ, 2024. - С. 184-191.
99. Потоцкая Т.И. Корпоративная география как научная парадигма отраслевого анализа // Творческое наследие А.С. Посникова и современность. - 2016. - № 10. - С. 97-104.
100. Пилипенко И. В. Жилищное строительство в России за 100 лет: динамика, итоги и социально-экономические проблемы // Вопросы экономики. - 2025. - № 1. - С. 134-158. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-1-134-158.
101. Domestic Resource Mobilization for Development: the Taxation Challenge. Issues Paper. - OECD Global Forum on Development, 2010.
102. Соколовская Е.В. Уклонение от уплаты НДС в трансграничной торговле («карусельные схемы») в странах ЕС и меры их предупреждения // Экономика и управление. - 2016. - №9 (131). - С. 60-66.
103. Keen M., Smith S. VAT Fraud and Evasion: What Do We Know, and What Can be Done? The IMF Working Paper. WP/07/31. 2007. - 35 p.
104. Buettner T., Tassi A. VAT fraud and reverse charge: empirical evidence from VAT return data // International Tax and Public Finance. - 2023. - Vol. 30. - P. 852-853. DOI: 10.1007/s10797-023-09776-y.
105. Smith S. VAT Fraud and Evasion. Ch. 9. In: The IFS Green Budget. The Institute for Fiscal Studies, 2007. - P. 167-177.

106. Asquith R. Is the fraud element of the EU VAT Gap accurate? 10.11.2024. URL: <https://vatcalc.com/eu/is-the-fraud-element-of-the-eu-vat-gap-accurate> (дата обращения: 15.11.2025).

107. E-commerce: many of the challenges of collecting VAT and customs duties remain to be resolved. - European Court of Auditors. European Union, 2019. - 66 p.

108. Fight against VAT fraud. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/taxation/vat/fight-against-vat-fraud_en (дата обращения: 15.11.2025).

109. The concept of Tax Gaps. Report III: MTIC Fraud Gap estimation methodologies. FISCALIS 2020 Tax Gap Project Group, subgroup VAT fraud (FPG/041). Publications Office of the European Union, 2018. - 51 p. DOI: 10.2778/418684

110. Chauhan D., Khan N.A. E-Commerce and Taxation Fraud // Afr.J.Bio.Sc. - 2024. - Vol. 6(14). - P.7656-7657. DOI: 10.48047/AJBS.6.14.2024.7651-7662.

111. Council Directive 2006/112/EC of 28 November 2006 on the common system of value added tax. OJ L 347. 11.12.2006. Article 194, Article 199; Council Directive 2022/890 of 3 June 2022 amending Directive 2006/112/EC as regards the extension of the application period of the optional reverse charge mechanism in relation to supplies of certain goods and services susceptible to fraud and of the Quick Reaction Mechanism against VAT fraud. OJ L 155.

112. VAT in the Digital Age (ViDA). 2024. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/taxation/vat/vat-digital-age-vida_en (дата обращения: 15.11.2025).

113. Political agreement reached on the EU's VAT in the Digital Age Proposal. 05.11.2024. URL: <https://www.meijburg.com/news/political-agreement-reached-eus-vat-digital-age-proposal> (дата обращения: 15.11.2025).

114. ViDA (VAT in the Digital Age) - The European Union Reaches an Agreement on Digital VAT Measures. 22.11.2024. URL: <https://edicomgroup.com/blog/vida-the-european-union-promotes-b2b-electronic-invoicing> (дата обращения: 15.11.2025).

115. Global Tax Evasion Report 2024. Alstadsaeter A., Godar S., P. Nicolaides, G. Zucman.. Eu-Tax Observatory. 2023. - 91 p.

116. Murtin F. et al. Trust and its determinants: Evidence from the Trustlab experiment. OECD Statistics Working Papers. - No. 2018/02. OECD Publishing, Paris 2018. - 75 p.

117. Sandmo A. The theory of tax evasion: A retrospective view // National Tax Journal. - 2005. - Vol. 58(4). - P. 643-663.

118. Lee K. Morality, tax evasion and equity // Mathematical Social Sciences. 2016. - Vol. 82. - P. 97-104.

119. Monitoring the amount of wealth hidden by individuals in international financial centres and impact of recent internationally agreed standards on tax transparency on the fight against tax evasion. Final Report. European Commission, 2021.

120. FATF/OECD, Misuse of Citizenship and Residency by Investment Programmes, FATF, Paris, France, 2023. DOI:10.1787/ae7ce5fb-en.

121. Vellutini C., Casamatta G., Bousquet L., Poniatowski G. Estimating International Tax Evasion by Individuals. - Final Report. - TAXUD/2015/CC/132. 2019. - 129 p.

122. Zucman G. A blueprint for a coordinated minimum effective taxation standard for ultra-high-net-worth individuals. - June 25, 2024. - 22 p.

123. The State of Tax Justice 2021. Tax Justice Network. - 72 p.

124. Zucman G. How Corporations and the Wealthy Avoid Taxes (and How to Stop Them).

The New York Times. 2017. URL:
<https://www.nytimes.com/interactive/2017/11/10/opinion/gabriel-zucman-paradise-papers-tax-evasion.html> (дата обращения: 15.11.2025).

125. Pellegrini V., Sanelli A., Tosti E. What do external statistics tell us about undeclared assets held abroad and tax evasion? Bank of Italy Occasional Paper, 367. 2016. - 51 p.

126. IMF Fiscal Monitor: Capitalizing on Good Times. April 2018. - 158 p.

127. Directive on Administrative Cooperation (DAC). 2024. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/taxation/tax-transparency-cooperation/administrative-co-operation-and-mutual-assistance/directive-administrative-cooperation-dac_en#evaluation-of-dac (дата обращения: 15.11.2025).

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Основные санкционные ограничения ЕС против РФ («пакеты санкций»)

19-й пакет санкций (23.06.2025 г.):

- включение в санкционные списки 62 лиц, включая поставщиков криптовалют
- запрет на импорт российского сжиженного природного газа в ЕС
- запрет на доступ в порт 117 судов
- запрет на операции с 5 российскими банками и другими банками третьих стран
- запрет на взаимодействие операторов ЕС с российской национальной системой платежных карт («Мир») или системой быстрых платежей (СБП)
- обязанность российских дипломатов заранее информировать государства-члены ЕС о поездках в Шенгенскую зону
- экспортные ограничения для 45 предприятий, в том числе, расположенных в третьих странах, которые поставляют товары и технологии двойного назначения
- дальнейшие запреты на экспорт товаров и услуг

18-й пакет санкций (18.07.2025 г.):

- санкции против 14 физических лиц и 41 организации
- снижение предельной цены на сырую нефть с 60 до 47,6 долларов за баррель
- запрет на импорт нефтепродуктов, произведенных из российской сырой нефти и поступающих из любой третьей страны
- запрет на доступ в порт 105 судов
- полный запрет на транзакции по «Северному потоку-1» и «Северному потоку-2»
- повышение запрета на предоставление специализированных услуг по обмену финансовыми сообщениями в ЕС российским банкам до полного запрета на транзакции и его применение к 22 российским банкам
- запрет на осуществление любых операций с Российским фондом прямых инвестиций
- Ограничения на экспорт товаров и технологий двойного назначения для 26 субъектов, часть из которых расположена в третьих странах
- дальнейшие запреты на экспорт

17-й пакет санкций (20.05.2025 г.):

- санкции против 17 физических и 58 юридических лиц
- запрет на доступ в порт и предоставление услуг, связанных с морскими перевозками, 189 судам
- ограничения на экспорт товаров и технологий двойного назначения для 31 нового субъекта, некоторые из которых расположены в третьих странах
- дополнительные ограничения на экспорт товаров, включая химические прекурсоры для энергетических материалов и запасные части для станков

16-й пакет санкций (24.02.2025 г.):

- санкции против 48 физических и 35 юридических лиц
- запрет на доступ в порт и предоставление услуг, связанных с морскими перевозками, 74 судам
- запрет на проведение операций с кредитными или финансами организациями, созданными за пределами России, которые используют «Систему передачи финансовых сообщений»
- запрет на предоставление специализированных услуг по обмену финансовыми сообщениями 13 региональным банкам
- ограничения на экспорт товаров и технологий двойного назначения для 53 предприятий, две трети которых расположены в третьих странах

- дальнейшие ограничения экспорта товаров и технологий в промышленности и энергетике
- приостановление действия лицензий на вещание 8 российских СМИ
- запрет на операции с некоторыми портами, шлюзами и аэропортами в России

15-й пакет санкций (16.12.2024 г.):

- санкции против 54 физических и 30 юридических лиц
- запрет на доступ в порт и предоставление услуг, связанных с морскими перевозками, 52 судам
- ограничения на экспорт товаров и технологий двойного назначения для 32 предприятий, часть из которых расположены в третьих странах
- запрет на признание и исполнение в ЕС решений российских судов, вынесенных на основании статьи 248 Арбитражного процессуального кодекса Российской Федерации
- оговорка, разрешающая разблокировать остатки денежных средств, хранящиеся в центральных депозитариях ценных бумаг ЕС
- продление сроков, применимых к некоторым изъятиям, необходимым для вывода инвестиций из России

14-й пакет санкций (24.06.2024 г.):

- санкции против 69 физических и 47 юридических лиц
- запрет на услуги по перевалке российского сжиженного природного газа на территории ЕС в целях его транспортировки в третьи страны
- запрет на новые инвестиции для завершения строящихся проектов СПГ
- запрет использования «Системы передачи финансовых сообщений» (СПФС)
- дополнительный контроль и ограничения импорта-экспорта
- запрет для политических партий, фондов и НКО принимать финансирование из России

13-й пакет санкций (23.02.2024 г.):

- санкции против 106 физических и 88 юридических лиц
- санкции против 27 организаций, включая организации, расположенные в третьих странах и участвующие в обходе торговых ограничений
- дополнительные ограничения на экспорт товаров двойного назначения

12-й пакет санкций (18.12.2023 г.):

- запрет на прямой или косвенный импорт, покупку или передачу алмазов, включая ювелирные изделия, из России
- пункт о запрете на поставки в Россию (новый пункт, который применяется к экспортёрам из ЕС и запрещает реэкспорт в Россию и реэкспорт для использования в России определенных товаров)
- укрепление двустороннего и многостороннего сотрудничества с третьими странами для воспрепятствования обходу санкций
- ужесточение экспортных ограничений в отношении товаров и технологий двойного назначения
- обеспечение соблюдения ограничения цен на нефть
- дополнительные ограничения на импорт товаров, в том числе, чугуна, медной и алюминиевой проволоки, фольгированных труб из России
- запрет на импорт сжиженного пропана

11-й пакет санкций (23.06.2023 г.):

- санкции против 71 физического лица и 33 организаций
- укрепление двустороннего и многостороннего сотрудничества с третьими странами для воспрепятствования обходу санкций

- запрет транзита товаров и технологий через Россию
- ужесточение экспортных ограничений

10-й пакет санкций (25.02.2023 г.):

- санкции против 87 физических и 34 юридических лиц
- запрет экспорта критически важных технологий и промышленных товаров
- запрет импорта асфальта и синтетического каучука
- приостановление лицензий на вещание RT Arabic и Sputnik Arabic
- ограничение возможностей для граждан России занимать любые должности в органах управления критически важных инфраструктур и организаций ЕС
- введение новых обязательств по отчетности для обеспечения эффективности запретов на замораживание активов
- ввели дополнительные санкции против 87 физических и 34 юридических лиц.

9-й пакет санкций (16.12.2022 г.):

запрет на:

- экспорт двигателей для беспилотников
 - экспорт товаров и технологий двойного назначения
 - инвестиции в горнодобывающий сектор
 - операции с Всероссийским банком развития регионов
 - предоставление услуг по рекламе, маркетинговым исследованиям и опросам общественного мнения
-
- приостановление действия лицензий на вещание 4 российских СМИ
 - санкции против 141 физического лица и 49 организаций

8-й пакет санкций (06.10.2022 г.):

- санкции против 30 физических лиц и 7 организаций
- установление ценового предела, связанного с морской транспортировкой российской нефти для третьих стран
- расширение ограничений на торговлю товарами и услугами с РФ, в том числе, товарами двойного назначения

7-й пакет санкций (21.07.2022 г.):

- санкции против 54 физических лиц и 10 организаций
- запрет на покупку, импорт или передачу золота российского происхождения, включая ювелирные изделия
- усиление контроля за экспортом товаров двойного назначения
- расширение существующего запрета на доступ в порты

6-й пакет санкций (03.06.2022 г.):

- санкции против 65 физических и 18 юридических лиц
- запрет на импорт из России сырой нефти и нефтепродуктов, при условии временного исключения для сырой нефти, поставляемой по трубопроводам
- запрет SWIFT для трех российских банков
- приостановка вещания в ЕС трех российских государственных СМИ

5-й пакет санкций (08.04 2022 г.):

- санкции против 217 физических и 18 юридических лиц.
- запрет на импорт из России угля и других твердых ископаемых видов топлива
- запрет российским судам заходить в порты ЕС
- запрет въезда в ЕС российским автопревозчикам

- запрет импорта различных товаров и товарных групп, в том числе, древесины, цемента, морепродуктов, спиртных напитков
- запрет экспорта в Россию авиатоплива и других товаров
- запрет депозитов на криптокошельки

4-й пакет санкций (15.03.2022 г.):

- санкции в отношении 15 физических и 9 юридических лиц
- запрет на все сделки с рядом государственных предприятий
- запрет на предоставление услуг по оценке кредитоспособности любому российскому лицу или организации
- запрет на новые инвестиции в российский энергетический сектор
- введение торговых ограничений на железо, сталь и предметы роскоши

3-й пакет санкций (28.02-03.03.2022 г.):

- санкции в отношении 26 лиц и одной организации
- запрет на операции с Центральным банком России
- запрет на пролет воздушного пространства ЕС и доступ в аэропорты ЕС для российских перевозчиков
- исключение 7 российских банков из системы SWIFT
- запрет на инвестирование, участие или иное содействие будущим проектам, софинансируемых Российским фондом прямых инвестиций
- запрет на продажу, поставку, передачу или экспорт банкнот евро в Россию или любому физическому или юридическому лицу или организации в России
- приостановка вещательной деятельности на территории ЕС СМИ «Спутник» и «Russia Today»

1-й пакет санкций, 2-й пакет санкций (22.02.-25.02.2022 г.):

- заморозка активов отдельных физических лиц
- целевые санкции против 478 физических лиц
- ужесточение экспортного контроля
- ужесточение критериев листинга
- согласование санкционных ограничений применительно к
 - финансовому сектору
 - энергетическому и транспортному секторам
 - товарам двойного назначения
 - визовой политике

Ранее в [5] была изучена схожая задача, в которой управляемая динамика является процессом диффузии и дополнительно накладывается условие выпуклости управляемого процесса по управлению, что дает возможность решать задачу, используя градиентные методы. В отличие от [5], в данной работе условие выпуклости не используется, а динамика является диффузионным процессом со скачками.

Доказывается теорема, которая является усилением теоремы, представленной в [1], но при этом не противоречит полученным в указанной работе результатам. Исходная задача сводится к двухуровневой задаче оптимизации, где внутренняя задача является классической, а внешняя решается с помощью проксимальных градиентных методов [6].

Говоря о практическом значении полученных результатов, следует отметить, что доказанная теорема может найти свое применение в областях управления рисками [7] или финансового анализа, связанного с моделированием стоимости сложных финансовых продуктов [8], и управления портфелем [9].

2. Постановка задачи. Пусть $E \subset \mathbb{R}^l$ – непустое борелевское подмножество с соответствующей Борелевской сигма-алгеброй $\mathcal{B}(E)$. Пусть $\pi(\cdot)$ – ограниченная положительная мера на $(E, \mathcal{B}(E))$. Обозначим $\mathfrak{L}^2(E, \mathcal{B}(E), \pi; \mathbb{R}^n)$ – пространство интегрируемых с квадратом функций $k(\cdot) : E \rightarrow \mathbb{R}^n$ таких, что $\|k(\cdot)\|_{\mathfrak{L}^2}^2 = \int_E |k(e)|^2 \pi(de) < \infty$.

Пусть $t_1 > 0$. Рассмотрим вероятностное пространство $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ с фильтрацией $\{\mathcal{F}_t\}_{t \in [0, t_1]}$, которая непрерывна справа и сигма-алгебра \mathcal{F}_0 полна. Пусть $\{W(t)\}_{0 \leq t \leq t_1}$ d -мерный винеровский процесс адаптированный к фильтрации $\{\mathcal{F}_t\}_{t \in [0, t_1]}$, $N(\cdot, \cdot)$ – пуассоновская мера, удовлетворяющая обычным условиям (например, [10], [11], пар. 1.1.5, 1.3.2), с мерой Леви π . Пусть $\tilde{N}(de, dt) = N(de, dt) - \pi(de)dt$ – пуассоновская маркингальная мера.

Введем в пространстве $[0, t_1] \times \Omega$ минимальную σ -алгебру \mathcal{P} , относительно которой измеримы все процессы, порожденные \mathcal{F}_t -измеримыми процессами с непрерывными слева траекториями. Сигма-алгебра \mathcal{P} называется сигма-алгеброй предсказуемых множеств [12].

Введем множество $\mathbb{A} \subset \mathbb{R}^k$, которое является компактным выпуклым множеством, и множество \mathcal{A} допустимых управлений, т.е. любой процесс $A \in \mathcal{A}$ – \mathcal{F}_t -предсказуем со значениями в \mathbb{A} [13] и $\mathbb{E} \int_0^{t_1} \|A(t)\|^2 dt < \infty$.

Управление $A \in \mathcal{A}$ влияет на состояние системы через следующее стохастическое дифференциальное уравнение:

$$\begin{aligned} dX^A(t) &= \mu(X^A(t), t, A(t))dt + \sigma(X^A(t), t, A(t))dW(t) + \\ &\quad + \int_E c(X^A(t-), t, A(t-), e)\tilde{N}(de, dt), \\ X^A(0) &= x_0 \in \mathbb{R}^n, \end{aligned} \tag{1}$$

где $t \in (0, t_1]$, $\mu : \mathbb{R}^n \times [0, t_1] \times \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{R}^n$, $\sigma : \mathbb{R}^n \times [0, t_1] \times \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{R}^{n \times d}$ и $c : \mathbb{R}^n \times [0, t_1] \times \mathbb{A} \times E \rightarrow \mathbb{R}^n$ – липшицевы, т.е. существует $K > 0$, для которого выполняется

$$\begin{aligned} &\|\mu(x, t, a) - \mu(x', s, a')\| + \|\sigma(x, t, a) - \sigma(x', s, a')\| + \\ &\quad + \|c(x, t, a, .) - c(x', s, a', .)\|_{\mathfrak{L}^2} \leq K(\|x - x'\| + |t - s| + \|a - a'\|), \\ &\|\mu(x, t, a)\| + \|\sigma(x, t, a)\| + \|c(x, t, a, .)\|_{\mathfrak{L}^2} \leq K(1 + \|x\| + \|a\|) \end{aligned}$$

для всех $x, x' \in \mathbb{R}^n$, $t, s \in [0, t_1]$ и для всех $a, a' \in \mathbb{A}$, где $\|\cdot\|$ – операторная норма.

Наложенные условия гарантируют, что для любого управления $A \in \mathcal{A}$ существует единственное решение X^A уравнения (1) при любых начальных данных [4], [14], [15].

Далее потребуются следующее обозначение: $\{X^{t,x,A}(s) | t \leq s \leq t_1\}$ – решение уравнения (1) при условии $X^A(t) = x$, где $(t, x) \in [0, t_1] \times \mathbb{R}^n$ и $A \in \mathcal{A}$.

Рассматриваем задачу минимизации на множестве \mathcal{A} функционала вида

$$\begin{aligned} V(0, x_0) &= \inf_{A \in \mathcal{A}} [\mathbb{E} J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} \inf_{y \in \mathbb{R}^m} \mathbb{E} f(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y)], \\ J_{t_0,x_0,t_1}(A) &= \int_{t_0}^{t_1} e^{-r(s-t_0)} h(X^{t_0,x_0,A}(s), A(s)) ds + e^{-r(t_1-t_0)} \phi(X^{t_0,x_0,A}(t_1)), \end{aligned} \quad (2)$$

где $(t_0, x_0) \in [0, t_1] \times \mathbb{R}^n$, $r > 0$ – дисконтирующий фактор, $A(s)$ – управление в момент времени s со значением в \mathbb{A} , $h : \mathbb{R}^n \times \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{R}$ – штрафная функция для управления и удержания управляемого процесса в определенном состоянии, $\phi : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ – терминальный штраф, функция $f : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ – также терминальный штраф, $g : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ – функция агрегации состояний системы для подстановки в функцию меры риска f .

Пусть, как в [4], [14], [16], функции h , ϕ , f , g непрерывны и имеют не более чем полиномиальный рост, т.е. существует $K > 0$:

$$|h(x, a)| + |\phi(x)| + |f(g(x), y)| + |g(x)| \leq K(1 + \|x\|^{n_1} + \|y\|^{n_2} + \|a\|^{n_3}),$$

для некоторых $n_1, n_2 \geq 2$, $n_3 \geq 1$ и всех $x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \mathbb{R}^m$, $a \in \mathbb{A}$, где $\|\cdot\|$ – евклидова норма для соответствующего пространства.

Подход к решению задачи с динамикой, не содержащей скачки, и более узким классом функционалов, в котором функционал J_{t_0,x_0,t_1} не содержит функцию h и экстремальная мера не дисконтировалась, рассмотрен в работе [1]. В данной работе этот подход получает свое развитие и адаптируется к более широкой постановке, в которой класс функционалов содержит функцию h в функционале J_{t_0,x_0,t_1} , динамика содержит скачки и дисконтируется экстремальная мера.

Замечание 1 У постановки есть следующая экономическая интерпретация. Терминальный штраф f в приложениях имеет смысл меры риска, например, CVaR [3] и т.п.. В случае управления портфелем $X^A(t)$ может характеризовать доходность портфеля в момент времени t , тогда как управление $A(t)$ будет обозначать долю в денежной позиции или в активе в момент времени t . Тогда, если функция f является некоторой метрикой риска, то управляем портфелем так, чтобы минимизировать риск в терминальном состоянии, который задается функциями ϕ и f , не забывая при этом, что функция h оказывает влияние на доходность на каждом временном отрезке. Например, функция h может характеризовать штраф за большую долю в денежной позиции или удержание убыточных позиций; следовательно, инвестор будет более или менее агрессивен в зависимости от значения функции h . Таким образом, функцию h можно использовать, чтобы штрафовать процесс за нахождение в нежелательных состояниях. В случае управления портфелем, штрафовать за слишком большую (малую) долю в активе или кэше.

Отметим, что, в отличие от [5], в данной работе не накладываются условия выпуклости динамики X^A по управлению A , а также условия выпуклости на функции h , ϕ , f и g , при этом динамика теперь содержит скачки, а экстремальная мера дисконтируется.

Задача (2) является несогласованной во времени [2], так как в последнем слагаемом присутствует нелинейная зависимость от математического ожидания, что препятствует использованию принципа Беллмана напрямую [2].

При использовании метода, предложенного в [1], решение несогласованной во времени задачи оптимального управления (2) сводится к задаче двухуровневой оптимизации, где внутренняя задача решается в рамках классической теории, а внешняя – с помощью проксимальных градиентных методов [6]. Для этого применяется следующее преобразование:

$$\begin{aligned} V(0, x_0) &= \inf_{A \in \mathcal{A}} \{ \mathbb{E} J_{0, x_0, t_1}(A) + e^{-rt_1} \inf_{y \in \mathbb{R}^m} \mathbb{E}[f(g(X^{0, x_0, A}(t_1)), y)] \} = \\ &= \inf_{y \in \mathbb{R}^m} \inf_{A \in \mathcal{A}} \mathbb{E}[J_{0, x_0, t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0, x_0, A}(t_1)), y)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, из (2) с учетом преобразования (3) получаем следующую постановку:

$$\begin{aligned} V(0, x_0) &= \inf_{y \in \mathbb{R}^m} \bar{V}_{0, x_0}(y), \\ \bar{V}_{0, x_0}(y) &= \inf_{A \in \mathcal{A}} \mathbb{E}[J_{0, x_0, t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0, x_0, A}(t_1)), y)], \\ J_{t_0, x_0, t_1}(A) &= \int_{t_0}^{t_1} e^{-r(s-t_0)} h(X^{t_0, x_0, A}(s), A(s)) ds + e^{-r(t_1-t_0)} \phi(X^{t_0, x_0, A}(t_1)). \end{aligned} \quad (4)$$

Чтобы решать задачу градиентными методами, необходимо нахождение проксимального суперградиента функции $\bar{V}_{0, x_0}(\cdot)$ или получение таких свойств этой функции, как полувогнутость (semiconcavity) [17], дифференцируемость или выпуклость. В данной работе исследуется вопрос получения конкретного вида проксимального суперградиента и свойства полувогнутости, после чего внешнюю задачу можно будет решать, используя проксимальные градиентные методы, как это предложено, например, в [6]. В последующих исследованиях более подробно по сравнению с [5] будет рассмотрен случай, когда функция \bar{V}_{0, x_0} выпукла. Внутренняя задача является классической, поэтому она может быть решена, например, с помощью уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана [4], [13], [14] или принципа максимума Понтрягина [16], [18].

Стоит отметить, что в [1] только функция f находилась под математическим ожиданием, поэтому авторы смогли получить соответствующие свойства функции $\bar{V}_{0, x_0}(y)$, только наложив на отображение $(A, y) \rightarrow f(g(X^A(t_1)), y)$ некоторые ограничения, такие как равномерная полувогнутость и совместная выпуклость.

Введем дополнительное предположение.

Предположение 1 Функция f равномерно полувогнута по x .

Определение 1 Рассмотрим функцию $\hat{f} : \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$. Функция \hat{f} называется M -полувогнутой (M -semiconcave) [17], [19], [20] если существует $M \geq 0$:

$$t\hat{f}(y_2) + (1-t)\hat{f}(y_1) - \hat{f}(ty_2 + (1-t)y_1) \leq \frac{M}{2}t(1-t) \|y_2 - y_1\|^2$$

для всех $t \in [0, 1]$, $(y_1, y_2) \in \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^m$, где $\|\cdot\|$ – норма в евклидовом пространстве \mathbb{R}^m .

Для M -полувогнутых функций выполняется следующее неравенство [17]:

$$\hat{f}(y_1) - \hat{f}(y) \leq (p, y_1 - y) + \frac{1}{2}M \|y_1 - y\|^2, \quad (5)$$

где $y_1 \in \mathbb{R}^m$, (\cdot, \cdot) – скалярное произведение, $p \in D^+$, D^+ – множество суперградиентов. При этом множество суперградиентов и проксимальных суперградиентов совпадает [17]. Так как по теореме Александрова у M -полувогнутых (как и у выпуклых) функций почти всюду существуют вторые производные (доказательство представлено в [20]), то

$$\hat{f}(y_1) - \hat{f}(y) \leq (\nabla_y \hat{f}(y), y_1 - y) + \frac{1}{2}M \|y_1 - y\|^2. \quad (6)$$

Замечание 2 Отметим, что константа M в (6) для всех суперградиентов одна и та же. Также далее везде, где пишется полуогнутая функция, предполагается, что используется M -полувогнутая функция.

Введем определение равномерно полуогнутой функции.

Определение 2 Рассмотрим функцию $f : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$. Функция $y \rightarrow f(x, y)$ равномерно полуогнута по x , если существует $M > 0$:

$$tf(x, y_2) + (1-t)f(x, y_1) - f(x, ty_2 + (1-t)y_1) \leq \frac{M}{2}t(1-t) \|y_2 - y_1\|^2$$

для всех $t \in [0, 1]$, $(x, y_1, y_2) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^m$.

Далее будем пользоваться следующим свойством равномерно полуогнутых функций, которое совпадает с определением, приведенным в [1].

Свойство 1 Пусть функция f равномерно полуогнута по x , тогда почти всюду

$$f(x, y + \xi) \leq f(x, y) + (\xi, \nabla_y f(x, y)) + \frac{1}{2}M \|\xi\|^2 \quad (7)$$

для всех $(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^m$ и всех $\xi \in \mathbb{R}^m$, где ∇_y – градиент по переменной y .

Доказательство. Доказательство следует из того, что для любого фиксированного $x \in \mathbb{R}$ функция $y \rightarrow f(x, y)$ полуогнута, поэтому для нее выполняется (6). Ввиду произвольности выбранного x и того, что константа M одна и та же для любого x , получаем (7). \square

Везде далее в местах, где используется свойство 1, не будет писаться, что оно выполнено почти всюду. В точках, где оно не выполняется, т.е. в тех, где не существует градиента $\nabla_y f(x, y)$, под ним будет предполагаться, что используется любой суперградиент функции f в точке $(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^m$, который всегда существует в силу того, что функция f непрерывна.

Введем функцию $G : [0, t_1] \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$:

$$G(t, z, x, y) = U(t, z, x) + e^{-r(t_1-t)} f(g(x), y),$$

где вещественнозначная функция U определена для всех $(t, z) \in [0, t_1] \times \mathbb{R}$ и $x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \mathbb{R}^m$ и не имеет особых точек.

Тогда для всех $(t, z, x, y) \in [0, t_1] \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ и всех $\xi \in \mathbb{R}^m$ получаем :

$$\begin{aligned} G(t, z, x, y + \xi) &= U(t, z, x) + e^{-r(t_1-t)} f(g(x), y + \xi) \leq U(t, z, x) + e^{-r(t_1-t)} f(g(x), y) + \\ &+ (\xi, e^{-r(t_1-t)} \nabla_y f(g(x), y)) + \frac{1}{2} e^{-r(t_1-t)} M \|\xi\|^2 = \\ &= G(t, z, x, y) + (\xi, e^{-r(t_1-t)} \nabla_y f(g(x), y)) + \frac{1}{2} e^{-r(t_1-t)} M \|\xi\|^2. \end{aligned}$$

Свойство 2 Пусть функция f равномерно полувогнута по x . Фиксируем $y \in \mathbb{R}^m$ и предположим, что существует управление $A_y^* \in \mathcal{A}$:

$$\bar{V}_{0,x_0}(y) = \mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A_y^*) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)].$$

Тогда существует $M > 0$:

$$\bar{V}_{0,x_0}(y + \xi) \leq \bar{V}_{0,x_0}(y) + (\xi, e^{-rt_1} \mathbb{E}[\nabla_y f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)]) + \frac{1}{2} e^{-rt_1} M \|\xi\|^2$$

для всех $\xi \in \mathbb{R}^m$, и

$$\nabla_y \bar{V}_{0,x_0}(y) = e^{-rt_1} \mathbb{E}[\nabla_y f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)] \in \partial \bar{V}_{0,x_0}(y), \quad (8)$$

где $\partial \bar{V}_{0,x_0}(y)$ – множество проксимальных суперградиентов функции \bar{V}_{0,x_0} в y .

Замечание 3 Обозначение $\nabla_y \bar{V}_{0,x_0}(y)$ используется в (8), поскольку, если $\partial \bar{V}_{0,x_0}(y)$ состоит только из одного элемента, то этот элемент совпадает с градиентом $\bar{V}_{0,x_0}(y)$ и $e^{-rt_1} \mathbb{E}[\nabla_y f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)]$.

Доказательство. Фиксируем $y \in \mathbb{R}^m$. Так как функция f равномерно полувогнута по x , то существует $M > 0$ такое, что почти всюду

$$G(t, z, x, y + \xi) \leq G(t, z, x, y) + (\xi, e^{-r(t_1-t)} \nabla_y f(g(x), y)) + \frac{1}{2} e^{-r(t_1-t)} M \|\xi\|^2 \quad (9)$$

для всех $(t, z) \in [0, t_1] \times \mathbb{R}$, $x \in \mathbb{R}^n$, $\xi \in \mathbb{R}^m$. Для упрощения дальнейших выкладок заметим, что при $t = t_0$ функция G имеет вид

$$G(t_0, z, x, y) = z + e^{-r(t_1-t_0)} \phi(x) + e^{-r(t_1-t_0)} f(g(x), y).$$

Пусть управление $A_y^* \in \mathcal{A}$:

$$\bar{V}_{0,x_0}(y) = \mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A_y^*) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)].$$

Применим неравенство (9) поточечно. Подставляем $\int_0^{t_1} e^{-rs} h(X^{0,x_0,A_y^*}(s), A_y^*(s)) ds$ вместо z , $X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)$ вместо x и $t = 0$, и берем математическое ожидание, тогда:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{0,x_0}(y + \xi) &\leq \mathbb{E}\left[\int_0^{t_1} e^{-rs} h(X^{0,x_0,A_y^*}(s), A_y^*(s)) ds + e^{-rt_1} \phi(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)) + \right. \\ &\quad \left. + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y + \xi)\right] \leq \mathbb{E}\left[\int_0^{t_1} e^{-rs} h(X^{0,x_0,A_y^*}(s), A_y^*(s)) ds + \right. \\ &\quad \left. + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y + \xi)\right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + e^{-rt_1} \phi(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)] + \\
& + (\xi, e^{-rt_1} \mathbb{E}[\nabla_y f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)]) + \frac{1}{2} e^{-rt_1} M \|\xi\|^2 = \\
& = \bar{V}_{0,x_0}(y) + (\xi, e^{-rt_1} \mathbb{E}[\nabla_y f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1)), y)]) + \frac{1}{2} e^{-rt_1} M \|\xi\|^2.
\end{aligned}$$

Первое неравенство выполняется в силу того, что в общем случае оптимальное управление в точке $y + \xi$ будет отличаться от управления A_y^* . (8) следует из определения проксимального суперградиента. \square

Таким образом, при выполнении предположения 1, функция \bar{V}_{0,x_0} имеет проксимальный суперградиент вида (8). Докажем теперь, что функция \bar{V}_{0,x_0} полувогнута. Фиксируем $t \in [0, 1]$ и $(y_1, y_2) \in \mathbb{R}^m \times \mathbb{R}^m$. Очевидно, что для любого управления $A \in \mathcal{A}$ выполнены следующие неравенства:

$$\begin{aligned}
(1-t)\bar{V}_{0,x_0}(y_1) & \leq (1-t)\mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y_1)], \\
t\bar{V}_{0,x_0}(y_2) & \leq t\mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y_2)].
\end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned}
\mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), ty_2 + (1-t)y_1)] + \frac{M}{2} t(1-t)e^{-rt_1} \|y_2 - y_1\|^2 & \geq \\
\geq (1-t)\mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y_1)] + \\
+ t\mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y_2)] & \geq (1-t)\bar{V}_{0,x_0}(y_1) + t\bar{V}_{0,x_0}(y_2).
\end{aligned}$$

В силу произвольности управления A получаем полувогнутость функции \bar{V}_{0,x_0} , которая почти всюду дифференцируема в силу теоремы Александрова [20], при этом ее градиент почти всюду совпадает с проксимальным суперградиентом равным $e^{-rt_1} \mathbb{E}[\nabla_y f(g(X^{0,x_0,A_y^*}(t_1), y))]$.

3. Ослабление предположения равномерной полувогнутости. Вернемся к предположению 1. Если функция $y \rightarrow f(x, y)$ ему не удовлетворяет, то необходимо модифицировать ее до равномерно полувогнутой с помощью инфимум свертки [1], [17], [19], [21].

Определение 3 Пусть функция $f : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ – непрерывна. Для $\epsilon > 0$ определим инфимум свертки:

$$f_\epsilon(x, y) := \inf_{z \in \mathbb{R}^m} [f(x, z) + \frac{\|y - z\|^2}{2\epsilon}]. \quad (10)$$

Отметим важные свойства инфимум свертки:

- Свойство 3** 1) $f_\epsilon \rightarrow f$ равномерно при $\epsilon \rightarrow 0$;
- 2) если функция f выпукла, то функция f_ϵ также выпукла;
- 3) если для каждого $x \in \mathbb{R}$ существует $K > 0$ такое, что $|f(x, y)| \leq K(1 + \|y\|)$ для всех $y \in \mathbb{R}^m$, то инфимум в (10) становится минимумом;
- 4) если функция f липшицева по y , то функция f_ϵ липшицева с той же константой;
- 5) функция f_ϵ равномерно ϵ -полувогнута.

Доказательство. Доказательство пункта 1 приведено в [19], пунктов 2, 3 и 4 в [17]. Докажем последний пункт. Фиксируем $\epsilon > 0$. Так как в инфимум свертке слагаемое $\|.\|^2$ является полувогнутой функцией (и выпуклой тоже), то, используя [17] (Теорема 3.5.3), получаем, что при любом фиксированном $x \in \mathbb{R}$ функция $f_\epsilon(x, .)$ ϵ -полувогнутая. Поскольку ϵ одно и то же для всех $x \in \mathbb{R}$, выполняется определение равномерной полувогнутости. \square

Таким образом, используя инфимум свертку, можно получить равномерно полувогнутую функцию из непрерывной и решить для нее задачу. При этом, благодаря пункту 1 свойства 3, будет выполняться сходимость к решению исходной задачи.

Рассмотрим ϵ -возмущенную функцию значения:

$$\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y) = \inf_{A \in \mathcal{A}} \mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f_\epsilon(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y)]. \quad (11)$$

Для функции f_ϵ в (11) предположение 1 выполнено, поэтому внешняя задача может быть решена с помощью проксимального градиентного метода.

Рассмотрим следующую функцию значения:

$$V_{0,x_0,\epsilon} = \inf_{y \in \mathbb{R}^m} \bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y) = \bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y_\epsilon^*), \quad (12)$$

где y_ϵ^* – это значение, при котором достигается инфимум задачи в (12).

Теперь рассмотрим вопрос о сходимости при $\epsilon \rightarrow 0$.

Свойство 4 Пусть функция $y \rightarrow f(x, y)$ – равномерно липшицева при всех $x \in \mathbb{R}$. Фиксируем $\epsilon > 0$, и пусть $y_\epsilon^* \in \mathbb{R}^m$ – значение, при котором достигается инфимум функции $\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}$, а $y^* \in \mathbb{R}^m$ – значение, при котором достигается инфимум функции V_{0,x_0} . Тогда существует C , зависящее только от функции f , r и t_1 , такое, что:

$$|\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y_\epsilon^*) - \bar{V}_{0,x_0}(y^*)| \leq C\epsilon. \quad (13)$$

Доказательство. Фиксируем $\epsilon > 0$. Так как функция f равномерно липшицева по x , то для всех $(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^m$ ([1], Свойство 7)

$$f_\epsilon(x, y) \leq f(x, y) \leq f_\epsilon(x, y) + C\epsilon,$$

где $C = \frac{1}{2}L^2$, L – константа Липшица функции f .

Тогда для всех $A \in \mathcal{A}$ и $y \in \mathbb{R}^m$ почти наверное выполнено

$$\begin{aligned} J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f_\epsilon(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y) &\leq J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y) \leq \\ &\leq J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} f_\epsilon(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y) + e^{-rt_1} C\epsilon. \end{aligned}$$

Берем математическое ожидание от обеих частей и, ввиду того, что управление A выбрано произвольным, получаем, что

$$\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y) \leq \bar{V}_{0,x_0}(y) \leq \bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y) + e^{-rt_1} C\epsilon. \quad (14)$$

Далее, беря y_ϵ^* и y^* как в условиях свойства 4 и следуя доказательству от противного в [1] (Теорема 5), получаем (13). \square

Таким образом, как только y_ϵ^* получено для некоторого малого ϵ , то можно вычислить интервал, в котором находится оптимальное значение $\bar{V}_{0,x_0}(y^*)$. Вследствие линейности длины этого интервала по ϵ , его длина будет стремиться к 0, как только $\epsilon \rightarrow 0$.

Если исходная формулировка не удовлетворяет условию равномерной полувогнутости, то можно воспользоваться рассмотренным ранее приближением.

4. Объединение результатов.

Объединим результаты предыдущих разделов. Перед этим запишем условия, одному из которых должна удовлетворять функция f , чтобы можно было применить метод.

Условие А:

Функция f равномерно полувогнута, при этом по аргументу y может быть полиномиальный рост.

Условие Б:

Функция f не равномерно полувогнута, но равномерно липшицева по x , и по аргументу y имеет не более, чем линейный рост.

Введем функцию:

$$\bar{f}_\epsilon = \begin{cases} f & \text{если } f \text{ удовлетворяет условию А,} \\ f_\epsilon & \text{если } f \text{ удовлетворяет условию Б,} \end{cases} \quad (15)$$

где f_ϵ – инфимум свертка функции f (10).

Теорема 1 Пусть $\mathbb{A} \subset \mathbb{R}^k$ – компактное выпуклое множество, а функции μ, σ, c – как в (1), h, ϕ, g, f – как в (2), и для всех $\epsilon > 0$ определим:

$$\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y) = \inf_{A \in \mathcal{A}} \mathbb{E}[J_{0,x_0,t_1}(A) + e^{-rt_1} \bar{f}_\epsilon(g(X^{0,x_0,A}(t_1)), y)], \quad (16)$$

где функция \bar{f}_ϵ из (15), $X^{0,x_0,A}$ – единственное сильное решение (1), J_{0,x_0,t_1} как в (2).

Тогда:

1) для всех $y \in \mathbb{R}^m$:

$$\nabla_y \bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y) := e^{-rt_1} \mathbb{E}[\nabla_y \bar{f}_\epsilon(g(X^{0,x_0,A_{y,\epsilon}^*(t_1)}, y))] \in \partial \bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y), \quad (17)$$

где $A_{y,\epsilon}^*$ – управление при фиксированном y , на котором достигается инфимум в (16), $\partial \bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y)$ – множество проксимимальных суперградиентов функции $\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}$ в y ;

2) если выполнено условие Б, то существует $C > 0$, зависящее только от константы Липшица функции f , r и t_1 , такое что:

$$\bar{V}_{0,x_0}(y_\epsilon^*) \leq \bar{V}_{0,x_0}(y^*) + C\epsilon, \quad (18)$$

где \bar{V}_{0,x_0} – как в (4), y^* и y_ϵ^* – значения, при которых достигается минимум \bar{V}_{0,x_0} и $\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}$ соответственно. Тогда $\bar{V}_{0,x_0}(y_\epsilon^*) \rightarrow V(0, x_0)$ при $\epsilon \rightarrow 0$, где $V(0, x_0)$ – как в (4).

Доказательство. 1) Доказательство следует из того, что предположение 1 выполнено для функции \bar{f}_ϵ , следовательно, справедливо свойство 2.

2) Из (13) получаем $|\bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y_\epsilon^*) - \bar{V}_{0,x_0}(y^*)| \leq C\epsilon$. Подставляя y_ϵ^* в (14), получаем $\bar{V}_{0,x_0}(y_\epsilon^*) \leq \bar{V}_{0,x_0,\epsilon}(y_\epsilon^*) + C\epsilon$. Из этих двух неравенств следует (18). \square

Теорема 1 дополняет результат [1].

5. Примеры. Приведем примеры функций, используемых в задачах управления рисками, которые представимы в виде экстремальных мер, для которых можно применить теорему 1.

1) Условная стоимость под риском CVaR [3]:

$$CVaR_\alpha(X) = \inf_{y \in \mathbb{R}} \mathbb{E}[y + \frac{1}{1-\alpha}(x-y)^+],$$

где $\alpha \in (0, 1)$ и $(x)^+ = \max(0, x)$. Функция $f(x, y) = y + \frac{1}{2}(x-y)^+$ является равномерно Липшицевой по x , имеет линейный рост по y . Также является выпуклой, при этом может быть потенциально не равномерно полуогнутой по x .

2) Медианное абсолютное отклонение [1] (Median absolute deviation):

$$MAD(X) = \mathbb{E}[|X - MED(X)|] = \inf_{y \in \mathbb{R}} \mathbb{E}|X - y|.$$

где MED – медиана. Функция $f(x, y) = |x - y|$ равномерно Липшицева по x , имеет линейный рост по y . Также является выпуклой, при этом может быть потенциально не равномерно полуогнутой по x .

3) Дисперсия [1]:

$$D(X) = \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}X)^2] = \inf_{y \in \mathbb{R}} \mathbb{E}(X - y)^2.$$

Функция $f(x, y) = (x - y)^2$ равномерно полуогнута по x , так как функция $\hat{f}(y) = y^2$ полуогнута, то, расписав неравенство в определении 1 для \hat{f} и подставив вместо аргумента y разность $x - y$, получим, что функция $f(x, y) = (x - y)^2$ равномерно полуогнута. Кроме того, она является совместно выпуклой по первому и второму аргументу, но не является возрастающей по первому аргументу x .

К риск метрикам, к которым не применима теорема 1 из-за нелинейной зависимости от математического ожидания, относятся экспектиль [22], энтропийная стоимость под риском (Entropic VaR) [23], стоимость под риском (VaR)[1] и т.п..

6. Оптимальное управление для внутренней задачи. Значение $\bar{V}_{0,x_0}(y)$ при фиксированных x_0 и y является оптимальным значением внутренней задачи оптимизации, которая является классической задачей стохастического оптимального управления. Тогда значение $\bar{V}_{0,x_0}(y)$ может быть найдено, например, с использованием принципа динамического программирования [4], [13], [14], т.е. через решение уравнения Гамильтона–Якоби–Беллмана (ГЯБ) [20], или принципа максимума Понтрягина [4], [16], [18]. Этим двум методам посвящено много работ, в том числе, исследуется вопрос об эквивалентности этих методов в [14], [16]. Так как целью работы является решение двухуровневой задачи оптимизации, то, в виду того, что внутренняя задача является вспомогательной, в данном исследовании для решения внутренней задачи будет использоваться уравнение ГЯБ.

Перед записью уравнения ГЯБ введем функцию $F : [0, t_1] \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{A} \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^{n \times n} \rightarrow \mathbb{R}$:

$$\begin{aligned} F(t, x, a, \Psi(t, x), \nabla_x \Psi(t, x), \nabla_x^2 \Psi(t, x)) := & -\nabla_x \Psi(t, x) \cdot \mu(x, t, a) - \\ & -\frac{1}{2} \text{tr}(\sigma(x, t, a)\sigma^T(x, t, a) \nabla_x^2 \Psi(t, x)) + r\Psi(t, x) - h(x, a) - \\ & - \int_E [\Psi(t, x + c(x, t, a, e)) - \Psi(t, x) - \nabla_x \Psi(t, x) \cdot c(x, t, a, e)] \pi(de), \end{aligned} \quad (19)$$

где функция $\Psi \in C^{1,2}([0, t_1] \times \mathbb{R}^n)$.

Запишем уравнение ГЯБ, которое в нашем случае имеет следующий вид [24]:

$$\begin{aligned} -\partial_t v_y(t, x) + \sup_{a \in \mathbb{A}} [F(t, x, a, v_y(t, x), \nabla_x v_y(t, x), \nabla_x^2 v_y(t, x))] &= 0, \\ v_y(t_1, x) &= e^{-rt_1} \phi(x) + e^{-rt_1} f(g(x), y) \end{aligned} \quad (20)$$

для всех $t \in [0, t_1]$, $x \in \mathbb{R}^n$ и $y \in \mathbb{R}^m$.

Для любого $y \in \mathbb{R}^m$ для случаев со скачками и без скачков уравнение (20) с наложенным ограничениями на функции μ , σ , c , h , ϕ , f и g имеет ровно одно вязкостное решение [13], [14], которое совпадает с функцией значения внутренней задачи оптимизации, поскольку функция значения также является вязкостным решением (20) [13], [14]. Тогда получаем, что $v_y(0, x_0) = \bar{V}_{0,x_0}(y)$, где x_0 – начальное значение системы (1).

Остается вопрос построения оптимального управления на основе функции значения. Для построения оптимальных управлений можно воспользоваться верификационными теоремами, при этом можно выделить два основных момента при их использовании.

Первый момент заключается в том, что управление должно быть допустимым, т.е. при его подстановке должно существовать решение уравнения (1). Это особенно актуально в случаях поиска управлений марковского типа [4], [16], [24], [25], поскольку при их подстановке в систему (1), функции μ , σ , c становятся в общем случае просто измеримыми, что не гарантирует существования решения. Для случая диффузии со скачками отметим работы [10], [26], в которых доказываются теоремы существования решения уравнения при различных условиях на коэффициенты. В случае, если скачков нет, т.е. $c \equiv 0$, то при условии равномерной параболичности [13], [24], решение будет существовать [24].

Второй момент заключается в гладкости функции значения. Если функция значения гладкая, то на ее основе можно построить управление марковского типа, которое будет оптимальным, если будет допустимым. В некоторых ситуациях можно априори понять, что функция значения будет гладкой, в работах [27–29] доказывается теорема Крылова–Эванса, как в локальном варианте [27], [28], так и в нелокальном [29], которая заключается в том, что при условии выпуклости уравнения по вторым производным, например, при наличии равномерной параболичности, оно будет иметь гладкое решение. Для ситуации, когда функция значения негладкая, возможно попытаться воспользоваться верификационными теоремами для вязкостных решений, которые не требуют гладкости функции значения. Отметим, что для случая без скачков в [24] доказана теорема, позволяющая строить кандидата на оптимальное управление марковского типа на основе вязкостного решения. Для случая скачков доказана аналогичная теорема [14].

После получения значения $\bar{V}_{0,x_0}(y)$ необходимо вычислить проксимальный суперградиент функции \bar{V}_{0,x_0} в точке y . Для этого необходимо получить оптимальное управление A^* в точке y , которое можно построить с помощью функции v_y , и подставить его в управляемую динамику (1). Затем следует найти значение проксимального суперградиента методом Монте-Карло с помощью (8).

6. Заключение. Основной результат проведенного исследования заключается в следующем. Методология [1] расширена на случай, когда функционал качества состоит из дисконтированной суммы функционала качества классической постановки и экстремальной меры и управляемая динамика содержит скачки: сформулирована и доказана теорема, позволяющая свести исходную несогласованную во времени задачу

стохастического оптимального управления к двухуровневой задаче оптимизации, где внутренняя задача имеет классический характер, а внешняя решается проксимальными градиентными методами. В случае невыполнения предположения о равномерной полуогнитости исходная функция аппроксимируется таким образом, чтобы удовлетворить этому предположению, после чего теорема показывает линейную сходимость аппроксимации к исходной задаче.

Полученная теорема может быть использована в задачах управления портфелем, где функционал качества имеет слагаемые из классической формулировки в дополнение к экстремальным метрикам, к которым относится, например, CVaR.

Литература

1. Miller C.W., Yang I. Optimal control of conditional value-at-risk in continuous time. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 2017, vol. 55, no. 2, pp. 856-884. doi:10.1137/16M1058492
2. Bjork T., Murgoci A. A general theory of markovian time inconsistent stochastic control problems. *SSRN*, 2010. doi:10.2139/ssrn.1694759
3. Uryasev S., Rockafellar R.T. Conditional value-at-risk: optimization approach. In: *Uryasev S., Pardalos P.M. (eds) Stochastic Optimization: Algorithms and Applications*. Applied Optimization, 2001, vol. 54, Boston: Springer, 2001. doi:10.1007/978-1-4757-6594-6_17
4. Oksendal B., Sulem A. Applied stochastic control of jump diffusions. NY.: Springer Cham, 2019, 436 p.
5. Kumacheva S., Novgorodtcev V. On the gradient method in one portfolio management problem. *Mathematics*, 2024, vol. 12, no. 19, p. 3086. <https://doi.org/10.3390/math12193086>
6. Clarke F.H., Ledyaev Y.S., Stern R.J., Wolenski P.R. Nonsmooth analysis and control theory. NY.: Springer-Verlag, 1998, 278 p. doi:10.1007/b97650
7. Smith K. M., Chapman M. P. On exponential utility and conditional value-at-risk as Risk-Averse Performance Criteria. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2023, vol. 31, no. 6, pp. 2555-2570. doi: 10.1109/TCST.2023.3274843
8. Gormin A, Kashtanov Y. Options pricing for several maturities in a jump diffusion model. *Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Methods*, 2010, Springer Nature, 2012, pp. 385-398.
9. Ieda M. Continuous-time portfolio optimization for absolute return funds. *Asia-Pacific Financial Markets*, 2022, vol. 29, April, pp. 675–696 <https://doi.org/10.1007/s10690-022-09365-9>
10. Логачев А.В., Махно С.Я. Стохастические уравнения с разрывной функцией скачков // Математические труды. 2017. Т. 20. № 1. С. 128–144. DOI: 10.17377/mattrudy.2017.20.108
11. Кузнецов Д.Ф. Стохастические дифференциальные уравнения: теория и практика численного решения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 816 с.
12. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики: В 2 т. Т. 1 : Факты, модели. М.: МЦНМО, 2016. 440 с.
13. Fleming W. H., Soner H.M. Controlled markov processes and viscosity solutions. NY.: Springer, 2006, 429 p. doi:10.1007/0-387-31071-1
14. Shi J.-T., Wu Z. Relationship between MP and DPP for the stochastic optimal control problem of jump diffusions. *Applied Mathematics and Optimization*, 2011, vol. 63, August, pp. 151–189. DOI: 10.1007/s00245-010-9115-8
15. Ikeda N., Watanabe S. Stochastic differential equations and diffusion processes. NY.: North-Holland Publishing Company, 1989, 478 p.

16. *Framstad N.C., Oksendal B., Sulem A.* Sufficient stochastic maximum principle for the optimal control of jump diffusions and applications to finance. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 2004, vol. 121, April, pp. 77–98.
<https://doi.org/10.1023/B:JOTA.0000026132.62934.9612>
17. *Cannarsa P., Sinestrari C.* Semiconcave functions, Hamilton-Jacobi equations, and optimal control. *Progress in Nonlinear Differential Equations and Their Applications*, vol. 58, Boston: Birkhauser, 2004, 304 p. doi:10.1007/b138356
18. *Болтянский В.Г., Гамкrelidзе Р.В., Понtryagin Л.С.* Теория оптимальных процессов. I. Принцип максимума // Изв. АН СССР. Сер. матем. 1960. Т. 24. Вып. 1. С. 3–42.
19. *Katzourakis N.* An introduction to viscosity solutions for fully nonlinear PDE with applications to calculus of variations in L². NY.: Springer, 2015, 123 p.
20. *Yong J., Zhou X.Y.* Stochastic controls Hamiltonian systems and HJB equations. NY.: Springer, 1999, 439 p.
21. Rockafellar R.T. *Convex analysis*. Princeton: University Press, 1970, 470 p.
22. *Bellini F., Bernardino E. D.* Risk management with expectiles. *The European Journal of Finance*, 2015, vol. 23, iss. 6, pp. 487–506. doi.org/10.1080/1351847X.2015.1052150
23. *Ahmadi-Javid A.* Entropic value-at-risk: a new coherent risk measure. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 2012, vol. 155, December, pp. 1105–1123.
24. *Zhou X.Y., Yong J., Li X.* Stochastic verification theorems within the framework of viscosity solutions. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 1997, vol. 35, iss. 1, pp. 243-253. doi:10.1137/S0363012995279973
25. *Guo X., Hu A., Zhang Y.* Reinforcement Learning for Linear-Convex Models with Jumps via Stability Analysis of Feedback Controls. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 2023, vol. 61, iss. 2, pp. 755-787. 10.1137/21M1414413
26. *Гихман И.И., Скороход А.В.* *Стochastic differential equations and their applications*. Киев: Наукова думка, 1982. 612 с.
27. *Krylov N.V.* Boundedly inhomogeneous elliptic and parabolic equations. *Mathematics of the USSR-Izvestiya*, 1983, vol. 20, iss. 3, pp. 459–492. doi:10.1070/IM1983v020n03ABEH001360
28. *Evans L.C.* Classical solutions of the Hamilton-Jacobi-Bellman equation for uniformly elliptic operators. *Transactions of the American Mathematical Society*, 1983, vol. 275, no. 1, pp. 245-255. doi:10.2307/1999016
29. *Caffarelli L., Silvestre L.* The Evans-Krylov theorem for nonlocal fully nonlinear equations. *Annals of Mathematics*, 2011, vol. 174, pp. 1163-1187.

2. Игра заполнения с ограничениями на поток

Рассмотрим множество $N = \{1, \dots, n\}$ доступных альтернатив (ресурсов), между которыми выбирает D игроков. Каждый игрок может выбрать одну и только одну альтернативу. Каждая альтернатива характеризуется строго возрастающей функцией стоимости (costs) $c_i(\cdot) \in C^1$, $i = \overline{1, n}$, положительной на множестве неотрицательных чисел. После того как все игроки сделали свой выбор, возникает поток x_i игроков, выбравших альтернативу i , для всех $i = \overline{1, n}$. Таким образом, в результате распределения всех игроков по множеству доступных альтернатив $x = (x_1, \dots, x_n)$, каждая из них характеризуется стоимостью равной $c_i(x_i)$, $i = \overline{1, n}$. Игра заполнения заключается в том, что игроки стремятся к минимизации индивидуальных затрат при условии взаимного влияния на величину затрат друг друга. Таким образом, возникает задача поиска равновесия по Нэшу или такого распределения игроков, при котором:

$$c_i(x_i) \begin{cases} = \lambda, & \text{если } x_i > 0, \\ \geq \lambda, & \text{если } x_i = 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

Действительно, ни один из игроков не может уменьшить свои затраты, индивидуально отклонившись от распределения, удовлетворяющего (2.1). При этом, λ можно рассматривать как равновесную стоимость доступных альтернатив.

Согласно лемме Гиббса, условию (2.1) удовлетворяет решение следующей оптимизационной задачи:

$$\min_x \sum_{i=1}^n \int_0^{x_i} c_i(u) du, \quad (2.2)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n x_i = D, \quad (2.3)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (2.4)$$

Другими словами, решение задачи (2.2)–(2.4) является равновесием по Нэшу в сформулированной выше игре заполнения. Таким образом, игра заполнения является потенциальной игрой с заданным в (2.2) потенциалом.

Как видно из приведенной постановки, число игроков, выбирающих любую из альтернатив, ничем не ограничено. Допустим, что каждую из альтернатив может выбрать не более, чем $d_i > 0$ игроков, для каждой $i = \overline{1, n}$. В таком случае, возникают ограничения на поток игроков, который может быть распределен на каждую из альтернатив:

$$x_i \leq d_i \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (2.5)$$

При этом, если D окажется больше суммы всех d_i , $i = \overline{1, n}$, то множество допустимых распределений игроков между доступными альтернативами окажется пустым. В связи с этим, введём дополнительное ограничение:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n d_i - \Delta,$$

где $\Delta \geq 0$ является задаваемым параметром, регулирующим совокупное число игроков, допускаемых к конкуренции за имеющиеся ресурсы с учётом ограничений (2.5). В таком случае, совокупное число игроков гарантировано не превысит суммы всех d_i , $i = \overline{1, n}$.

Сформулируем игру заполнения с ограничениями на поток в виде следующей задачи условной оптимизации:

$$\min_x \sum_{i=1}^n \int_0^{x_i} c_i(u) du, \quad (2.6)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n d_i - \Delta, \quad (2.7)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i = \overline{1, n}, \quad (2.8)$$

$$x_i \leq d_i \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (2.9)$$

Действительно, игра заполнения с ограничениями на поток также является потенциальной, поскольку каждый игрок стремится минимизировать свои индивидуальные затраты, которые определяются градиентом потенциальной функции, задаваемой в (2.6), с учётом ограничений на поток (2.7) и (2.9), при естественных требованиях неотрицательности (2.8).

В настоящей статье мы исследуем влияние величины Δ на распределение игроков между доступными альтернативами в игре заполнения с ограничениями на поток при аффинных функциях стоимости, а также зависимость значения цены анархии (PoA) от величины Δ в рассматриваемом случае:

$$\rho(\Delta) = \frac{\sum_{i=1}^n c_i(\hat{x}_i)\hat{x}_i}{\sum_{i=1}^n c_i(\bar{x}_i)\bar{x}_i}, \quad (2.10)$$

где \hat{x} является равновесным распределением игроков, а \bar{x} – социально оптимальным, для заданного значения Δ .

3. Аффинные функции стоимости

Пусть $c_i(x_i) = c_i^0 + k_i x_i$, $c_i^0 \geq 0$, $k_i > 0$, для любого $i = \overline{1, n}$. В таком случае справедлив следующий набор утверждений.

Лемма 3.1. *Существует λ такое, что равновесие по Нэшу в потенциальной игре заполнения (2.6) с ограничениями на поток (2.7)–(2.9) при аффинных функциях стоимости достигается следующим распределением игроков:*

$$x_i = \begin{cases} d_i, & \text{если } c_i^0 + k_i d_i \leq \lambda, \\ \frac{\lambda - c_i^0}{k_i}, & \text{если } c_i^0 < \lambda < c_i^0 + k_i d_i, \\ 0, & \text{если } c_i^0 \geq \lambda, \end{cases} \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (3.1)$$

Доказательство. Решение x оптимизационной задачи (2.6)–(2.9) удовлетворяет условиям Каруша–Куна–Таккера. Продифференцируем

Лагранжиан

$$L = \sum_{i=1}^n \int_0^{x_i} c_i(u) du + \lambda \left(\sum_{i=1}^n d_i - \Delta - \sum_{i=1}^n x_i \right) + \\ + \sum_{i=1}^n \mu_i (x_i - d_i) + \sum_{i=1}^n \xi_i (-x_i),$$

где λ и $\mu_i \geq 0$, $\xi_i \geq 0$, $i = \overline{1, n}$, являются множителями Лагранжа, по переменным x_i , $i = \overline{1, n}$, и приравняем результат к нулю:

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\sum_{s=1}^n \int_0^{x_s} c_s(u) du \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \left(\sum_{s=1}^n d_s - \Delta - \sum_{s=1}^n x_s \right) \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\sum_{s=1}^n \mu_s (x_s - d_s) \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\sum_{s=1}^n \xi_s (-x_s) \right) = \\ = c_i^0 + k_i x_i - \lambda + \mu_i - \xi_i = 0 \quad \forall i = \overline{1, n}.$$

Получаем, что

$$x_i = \frac{\lambda - c_i^0 - \mu_i + \xi_i}{k_i} \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (3.2)$$

При этом, согласно условиям дополняющей нежесткости:

$$\mu_i (x_i - d_i) = 0 \quad \forall i = \overline{1, n}, \\ \xi_i (-x_i) = 0 \quad \forall i = \overline{1, n}.$$

Другими словами, для $i \in N$, если $x_i = 0$, то $\mu_i = 0$, $\xi_i \geq 0$, а если $x_i = d_i$, то $\xi_i = 0$, $\mu_i \geq 0$. Если же $0 < x_i < d_i$ для некоторого $i \in N$, то $\mu_i = \xi_i = 0$ для такого i . Таким образом, в силу (3.2) получаем для $i \in N$:

- если $x_i = 0$, то

$$0 = \frac{\lambda - c_i^0 + \xi_i}{k_i} \geq \frac{\lambda - c_i^0}{k_i} \Rightarrow \lambda \leq c_i^0,$$

- если $x_i = d_i$, то

$$d_i = \frac{\lambda - c_i^0 - \mu_i}{k_i} \leq \frac{\lambda - c_i^0}{k_i} \Rightarrow \lambda \geq c_i^0 + k_i d_i,$$

- если $0 < x_i < d_i$, то

$$x_i = \frac{\lambda - c_i^0}{k_i} \Rightarrow 0 < \frac{\lambda - c_i^0}{k_i} < d_i \Rightarrow c_i^0 < \lambda < c_i^0 + k_i d_i.$$

Следовательно, приходим к тому, что если x является решением оптимизационной задачи (2.6)–(2.9), то существует λ такое, что

$$\begin{aligned} \text{если } x_i = 0, & \quad \text{то } \lambda \leq c_i^0, \\ \text{если } x_i = d_i, & \quad \text{то } \lambda \geq c_i^0 + k_i d_i, \quad \forall i \in N. \\ \text{если } 0 < x_i < d_i, & \quad \text{то } c_i^0 < \lambda < c_i^0 + k_i d_i, \end{aligned}$$

При этом, в силу выпуклости задачи (2.6)–(2.9), она имеет единственное решение, а значит для соответствующего единственного решения существует требуемая λ . Теперь, если предположить, что соответствующая $\lambda \leq c_i^0$, но при этом компонента решения $x_i > 0$ для некоторого $i \in N$, то, согласно полученным выше выводам, либо $\lambda \geq c_i^0 + k_i d_i > c_i^0$, либо $c_i^0 < \lambda < c_i^0 + k_i d_i$, то есть в любом случае $\lambda > c_i^0$. Другими словами, приходим к противоречию, доказывающему, что если $\lambda \leq c_i^0$, то соответствующая компонента решения $x_i = 0$. Таким же образом легко показать, что для произвольно выбранного $i \in N$, если $\lambda \geq c_i^0 + k_i d_i$, то $x_i = d_i$, а если $c_i^0 < \lambda < c_i^0 + k_i d_i$, то $x_i = (\lambda - c_i^0)/k_i$. Следовательно, распределение (3.1) является решением задачи (2.6)–(2.9) и равновесием по Нэшу в потенциальной игре (2.6) с ограничениями на поток (2.7)–(2.9). \square

Теорема 3.1. *Равновесие по Нэшу в потенциальной игре заполнения (2.6) с ограничениями на поток (2.7)–(2.9) при аффинных функциях стоимости достигается следующим распределением игроков:*

$$x_i = \begin{cases} d_i, & \text{если } \lambda \geq c_i^0 + k_i d_i, \\ \frac{\lambda - c_i^0}{k_i}, & \text{если } c_i^0 < \lambda < c_i^0 + k_i d_i, \\ 0, & \text{если } \lambda \leq c_i^0, \end{cases} \quad \forall i = \overline{1, n}, \quad (3.3)$$

$$\text{при } \lambda = \frac{\sum_{i \in N} d_i - \Delta - \sum_{i \in N_d} d_i + \sum_{i \in N_0^d} \frac{c_i^0}{k_i}}{\sum_{i \in N_0^d} \frac{1}{k_i}}, \quad (3.4)$$

здесь $N_0^d = \{i \in N \mid 0 < x_i < d_i\}$ и $N_d = \{i \in N \mid x_i = d_i\}$.

Доказательство. Рассмотрим сумму компонент решения x задачи (2.6)–(2.9):

$$\sum_{i \in N} x_i = \sum_{i \in N_0} x_i + \sum_{i \in N_0^d} x_i + \sum_{i \in N_d} x_i,$$

где $N_0 = \{i \in N \mid x_i = 0\}$. В силу (2.7) получаем:

$$\sum_{i \in N_0^d} x_i + \sum_{i \in N_d} x_i = \sum_{i \in N} d_i - \Delta. \quad (3.5)$$

Благодаря Лемме 3.1 выражение (3.5) приобретает вид:

$$\sum_{i \in N_0^d} \frac{\lambda - c_i^0}{k_i} + \sum_{i \in N_d} d_i = \sum_{i \in N} d_i - \Delta,$$

откуда приходим к

$$\lambda = \frac{\sum_{i \in N} d_i - \Delta - \sum_{i \in N_d} d_i + \sum_{i \in N_0^d} \frac{c_i^0}{k_i}}{\sum_{i \in N_0^d} \frac{1}{k_i}}.$$

□

Доказанные утверждения, помимо прочего, указывают на то, что равновесное по Нэшу распределение игроков между доступными альтернативами (3.3) в потенциальной игре заполнения (2.6) с ограничениями на поток (2.7)–(2.9) приводит к тому, что часть альтернатив оказывается совсем невостребованной (N_0), а востребованные альтернативы делятся на полностью заполненные (N_d) и частично заполненные (N_0^d). При этом, в множестве невостребованных альтернатив N_0 находятся те, стоимость которых даже при нулевом заполнении превышает или равна равновесной стоимости, а в множестве полностью заполненных N_d – те, чья стоимость даже при полном заполнении остается ниже или равной равновесной стоимости. В множестве же частично заполненных N_0^d оказываются альтернативы, чья стоимость после заполнения ненулевым равновесным потоком равняется равновесной стоимости. Таким образом, можно сказать,

что множество альтернатив N делится на подмножество *слишком дорогих* и оттого невостребованных альтернатив N_0 , подмножество *очень дешёвых* и потому полностью заполненных альтернатив N_0^d и подмножество альтернатив *средней стоимости* N_0^d , между которыми уравновешивается поток игроков, которым *не хватило места* при заполнении наиболее выгодных альтернатив.

В случае поиска социально оптимального распределения игроков минимизируется совокупная стоимость альтернатив, то есть решается следующая задача:

$$\min_x \sum_{i=1}^n c_i(x_i) x_i, \quad (3.6)$$

при ограничениях (2.7)–(2.9).

Теорема 3.2. *Социальный оптимум в условиях ограничений на поток (2.7)–(2.9) при аффинных функциях стоимости достигается следующим распределением игроков:*

$$x_i = \begin{cases} d_i, & \text{если } \lambda \geq c_i^0 + 2k_i d_i, \\ \frac{\lambda - c_i^0}{2k_i}, & \text{если } c_i^0 < \lambda < c_i^0 + 2k_i d_i, \quad \forall i = \overline{1, n}, \\ 0, & \text{если } \lambda \leq c_i^0, \end{cases}$$

$$pri \quad \lambda = \frac{\sum_{i \in N} d_i - \Delta - \sum_{i \in N_d} d_i + \sum_{i \in N_0^d} \frac{c_i^0}{2k_i}}{\sum_{i \in N_0^d} \frac{1}{2k_i}},$$

где $N_0^d = \{x_i \mid 0 < x_i < d_i\}$ и $N_d = \{x_i \mid x_i = d_i\}$.

Доказательство. Аналогично доказанными выше утверждениям. \square

4. Зависимость цены анархии от величины Δ

На основе полученных утверждений можно разработать вычислительные процедуры поиска равновесного по Нэшу и социально оптимального распределений игроков между доступными альтернати-

вами. При этом, не умаляя общности, будем предполагать, что альтернативы пронумерованы таким образом, что

$$c_1^0 \leq c_2^0 \leq \cdots \leq c_n^0. \quad (4.1)$$

Ниже представлен псевдокод разработанного алгоритма для поиска равновесного по Нэшу распределения игроков в таком случае (см. Algorithm 1). В самом деле, если расположить альтернативы в соответствии с (4.1), то, согласно Теореме 3.1, можно утверждать, что существует q такой, что

$$c_1^0 \leq \cdots \leq c_q^0 \leq \lambda \leq c_{q+1}^0 \leq \cdots \leq c_n^0,$$

при этом $x_i > 0$ для всех $i = \overline{1, q}$, в то время как $x_i = 0$ для всех $i = \overline{q+1, n}$. Более того, для тех $i = \overline{1, q}$, для которых справедливо $\lambda \geq c_i^0 + k_i d_i$, выполняется: $x_i = d_i$. По сути, алгоритм направлен на поиск соответствующего q , которое делит множество N на требуемые подмножества. Аналогичный алгоритм был разработан для поиска социально оптимального распределения игроков.

Рассмотрим результат применения разработанных алгоритмов на примере конкретных кейсов, приведенных в Таблицах 1–4. Во всех рассматриваемых случаях c_i^0 , $i = \overline{1, n}$, выстроены в соответствии с условием (4.1). Однако, порядок остальных параметров в разных кейсах меняется. Например, в кейсе №1 величины d_i и k_i выстроены по возрастанию $i = \overline{1, n}$.

Таблица 1: Параметры кейса №1.

$i =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c_i^0	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
d_i	720	740	760	780	800	820	840	860	880	900
k_i	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2

На рис. 1 представлен график изменения величины цены анархии при варьировании значения Δ с шагом 10 для кейса №1.

Algorithm 1 для поиска равновесия по Нэшу

1: найти q , $1 \leq q \leq n$, которая удовлетворяет неравенствам:

$$\sum_{i=1}^q \frac{c_q^0 - c_i^0}{k_i} < \sum_{i \in N} d_i - \Delta \leq \sum_{i=1}^q \frac{c_{q+1}^0 - c_i^0}{k_i},$$

при условии, что $q = n$, если

$$\sum_{i=1}^n \frac{c_n^0 - c_i^0}{k_i} \leq \sum_{i \in N} d_i - \Delta$$

2: $N_0^d \leftarrow \{1, \dots, q\}$, $N_d \leftarrow \emptyset$, $N_0 \leftarrow \{q+1, \dots, n\}$

3: **while** N_0 , N_0^d , или N_d изменяются **do**

4: проверить

$$\min_{j \in N_0^d} (c_j^0 + k_j d_j) \leq \frac{\sum_{i \in N} d_i - \Delta - \sum_{i \in N_d \cup \{j\}} d_i + \sum_{i \in N_0^d \setminus \{j\}} \frac{c_i^0}{k_i}}{\sum_{i \in N_0^d \setminus \{j\}} \frac{1}{k_i}} \quad (4.2)$$

5: **if** нервенство (4.2) верно **then**

6: $N_0^d = N_0^d \setminus \{j\}$, $N_d = N_d \cup \{j\}$

7: **end if**

8: проверить

$$\min_{s \in N_0} c_s^0 < \frac{\sum_{i \in N} d_i - \Delta - \sum_{i \in N_d} d_i + \sum_{i \in N_0^d} \frac{c_i^0}{k_i}}{\sum_{i \in N_0^d} \frac{1}{k_i}} \quad (4.3)$$

9: **if** нервенство (4.3) верно **then**

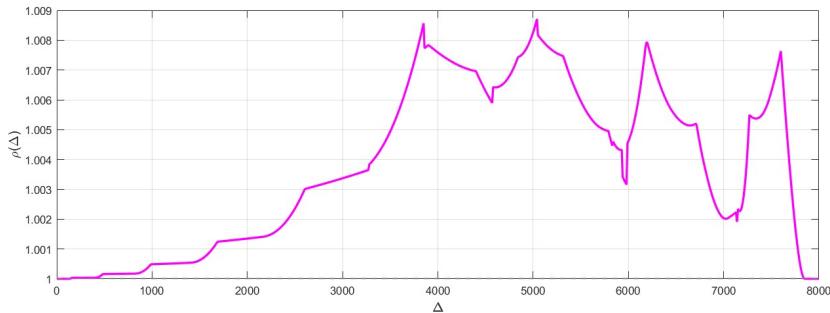
10: $N_0^d = N_0^d \cup \{s\}$, $N_0 = N_0 \setminus \{s\}$

11: **end if**

12: **end while**

13: вычислить x на основе (3.3) и (3.4)

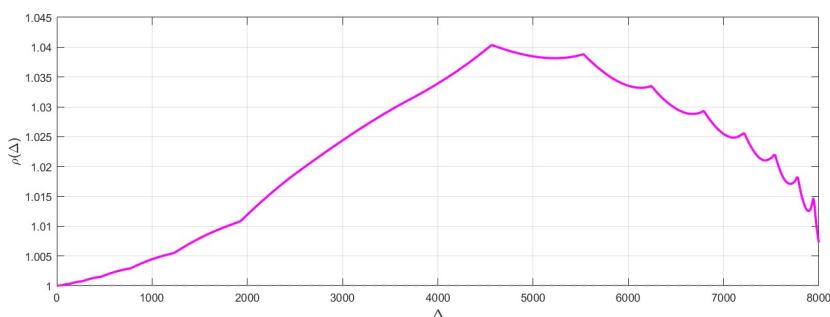
14: **return** x и N_0 , N_0^d , N_d

Рисунок 1. Зависимость цены анархии от величины Δ : кейс №1.

В кейсе №2 величины d_i выстроены по возрастанию, а k_i – по убыванию $i = \overline{1, n}$. На рис. 2 представлен график изменения PoA.

Таблица 2: Параметры кейса №2.

$i =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c_i^0	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
d_i	720	740	760	780	800	820	840	860	880	900
k_i	2	1.8	1.6	1.4	1.2	1	0.8	0.6	0.4	0.2

Рисунок 2. Зависимость цены анархии от величины Δ : кейс №2.

В кейсе №3 величины d_i выстроены по убыванию, а k_i – по возрастанию $i = \overline{1, n}$.

Таблица 3: Параметры кейса №3.

$i =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c_i^0	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
d_i	900	880	860	840	820	800	780	760	740	720
k_i	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2

На рис. 3 представлен график изменения величины цены анархии при варьировании значения Δ с шагом 10 для такого случая.

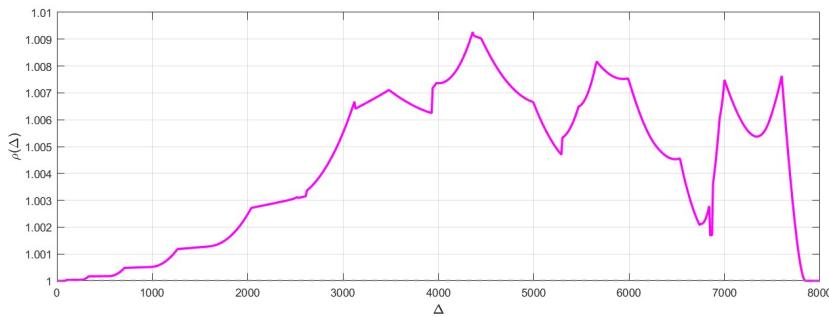


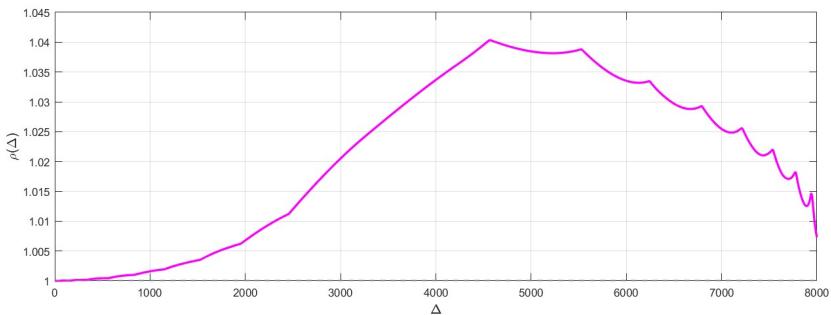
Рисунок 3. Зависимость цены анархии от величины Δ : кейс №3.

В кейсе №4 величины d_i и k_i выстроены по убыванию $i = \overline{1, n}$.

Таблица 4: Параметры кейса №4.

$i =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c_i^0	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
d_i	900	880	860	840	820	800	780	760	740	720
k_i	2	1.8	1.6	1.4	1.2	1	0.8	0.6	0.4	0.2

На рис. 4 представлен график изменения величины цены анархии при варьировании значения Δ с шагом 10 для такого случая.

Рисунок 4. Зависимость цены анархии от величины Δ : кейс №4.

Из графиков, в частности, видно, что чем ближе совокупное число игроков к минимально или максимально возможному с точки зрения существования допустимого распределения потоков, тем ближе равновесное распределение к социально оптимальному. Кроме того, наибольшее отклонение равновесия от социального оптимума, как правило, наблюдается для Δ в окрестности $\frac{1}{2} \sum_{i \in N} d_i$. При этом, в случаях расположенных по убыванию d_i и k_i , $i = \overline{1, n}$, последнее проявляется наиболее выразительно.

5. Приложения

В качестве одного из примеров применения игры заполнения с ограничениями на поток рассмотрим проблему моделирования рынка труда в контексте конкретной профессии. Допустим, есть множество N предприятий, которым требуются сотрудники определенной квалификации. Естественно предположить, что каждому предприятию нужно определенное конечное число таких сотрудников d_i , $i \in N$. Более того, естественно допустить, что чем больше сотрудников на предприятии, тем менее они ценятся, то есть зарплата одного сотрудника обратно пропорциональна числу таких сотрудников на предприятии. Вопрос: насколько социально оптимально будет вести себя рынок труда, если начнёт сокращаться число требуемых специалистов?

Исследуем поставленный вопрос, используя параметры кейса из

Таблицы 1. На рис. 5 представлено абсолютное отклонение величины совокупной стоимости в случае равновесия по Нэшу от социально оптимальных значений для разных Δ . Видно, что наибольшее отклонение равновесия от социального оптимума также наблюдается для Δ , находящейся в окрестности $\frac{1}{2} \sum_{i \in N} d_i$.

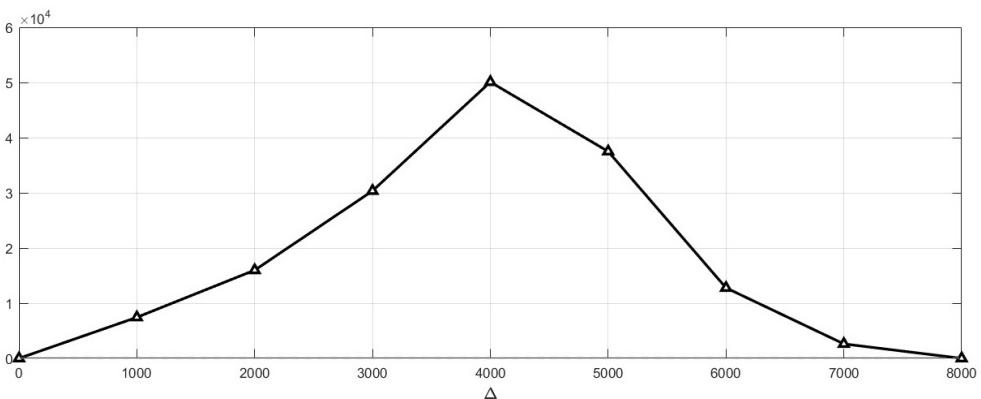


Рисунок 5. Абсолютное отклонение величины совокупной стоимости в случае равновесия по Нэшу от социально оптимальных значений при возрастании Δ : кейс №1.

При этом, в рассматриваемом случае также важно понимать каким образом будет влиять падение рынка труда (увеличение Δ) на обеспеченность предприятий сотрудниками требуемой квалификации. В таблицах 1 и 5 представлена динамика изменения множеств N_0 , N_0^d и N_d при возрастании Δ .

Видно, что в случае рынка появляются предприятия, вообще лишившиеся сотрудников, уже при $\Delta = 4000$, тогда как в случае социального оптимума, предприятия, вообще лишившиеся сотрудников, появляются только при $\Delta = 5500$. Другими словами, в кризисной ситуации падения числа доступных на рынке сотрудников, их распределение по предприятиям не рыночными механизмами может рассматриваться как механизм поддержки большего числа предприятий в статусе обеспеченных в определенном объеме квалифицированной рабочей силой. Действительно, если обратиться к Теоремам 3.1 и 3.2,

Таблица 5: Множества N_0 , N_0^d и N_d в случае равновесия по Нэшу

Δ	N_d	N_0^d	N_0
0	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	—	—
500	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}	{8, 9, 10}	—
1000	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	{7, 8, 9, 10}	—
1500	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	{7, 8, 9, 10}	—
2000	{1, 2, 3, 4, 5}	{6, 7, 8, 9, 10}	—
2500	{1, 2, 3, 4, 5}	{6, 7, 8, 9, 10}	—
3000	{1, 2, 3, 4}	{5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
3500	{1, 2, 3, 4}	{5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
4000	{1, 2, 3}	{4, 5, 6, 7, 8, 9}	10
4500	{1, 2, 3}	{4, 5, 6, 7, 8}	{9, 10}
5000	{1, 2, 3}	{4, 5, 6, 7}	{8, 9, 10}
5500	{1, 2}	{3, 4, 5, 6}	{7, 8, 9, 10}
6000	{1, 2}	{3, 4, 5}	{6, 7, 8, 9, 10}
6500	{1}	{2, 3, 4}	{5, 6, 7, 8, 9, 10}
7000	{1}	{2, 3}	{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}
7500	—	{1, 2}	{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}
8000	—	{1}	{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}

Таблица 6: Множества N_0 , N_0^d и N_d в случае социального оптимума

Δ	N_d	N_0^d	N_0
0	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	—	—
500	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}	{8, 9, 10}	—
1000	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	{7, 8, 9, 10}	—
1500	{1, 2, 3, 4, 5}	{6, 7, 8, 9, 10}	—
2000	{1, 2, 3, 4, 5}	{6, 7, 8, 9, 10}	—
2500	{1, 2, 3, 4}	{5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
3000	{1, 2, 3, 4}	{5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
3500	{1, 2, 3}	{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
4000	{1, 2, 3}	{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
4500	{1, 2, 3}	{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
5000	{1, 2}	{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	—
5500	{1, 2}	{3, 4, 5, 6, 7, 8}	{9, 10}
6000	{1}	{2, 3, 4, 5, 6, 7}	{8, 9, 10}
6500	{1}	{2, 3, 4, 5}	{6, 7, 8, 9, 10}
7000	{1}	{2, 3, 4}	{5, 6, 7, 8, 9, 10}
7500	—	{1, 2}	{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}
8000	—	{1}	{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}

то можно заметить, что в случае равновесного распределения имеет место оценка:

$$\sum_{i \in N} d_i - \Delta - \sum_{i \in N_d} d_i > \sum_{i \in N_0^d} \frac{c_q^0 - c_i^0}{k_i},$$

в то время как в случае социального оптимума:

$$2 \left(\sum_{i \in N} d_i - \Delta - \sum_{i \in N_d} d_i \right) > \sum_{i \in N_0^d} \frac{c_q^0 - c_i^0}{k_i}.$$

Таким образом, мощность множества $N_0^d \cup N_d$ может быть больше в случае социального оптимума, а значит мощность множества N_0 может быть меньше в таком случае.

Наконец, заметим, что если в качестве меры отклонения равновесия от социального оптимума использовать абсолютную разницу

(а не отношение) между величинами совокупной стоимости в случае равновесия по Нэшу и в случае социального оптимума, то выражительность закономерности, полученной для рассматриваемых кейсов, согласно которой наибольшее отклонение равновесия от социального оптимума наблюдается для Δ в окрестности $\frac{1}{2} \sum_{i \in N} d_i$, только возрастает (см. рис. 6–8).

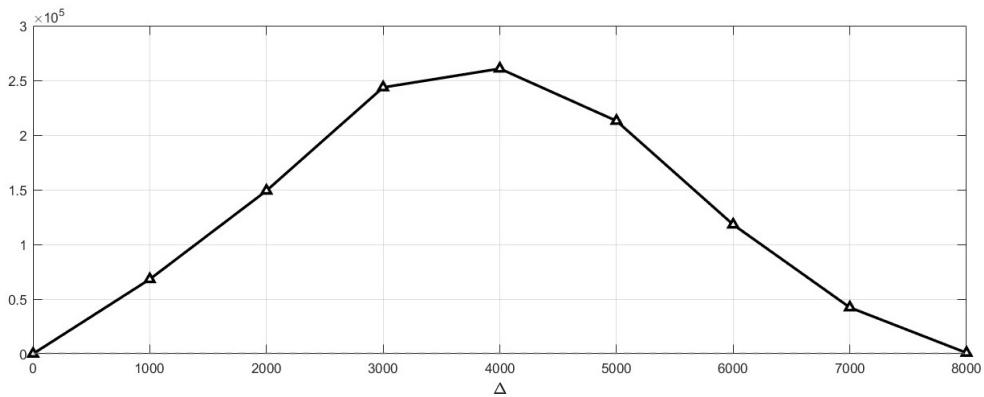


Рисунок 6. Абсолютное отклонение: кейс №2.

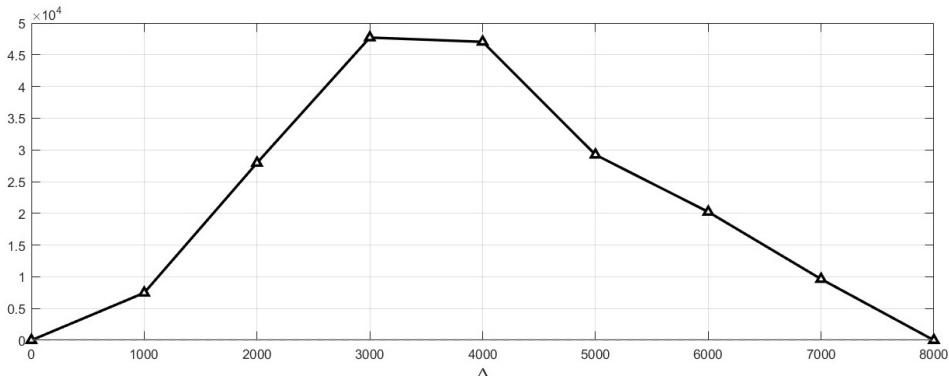


Рисунок 7. Абсолютное отклонение: кейс №3.

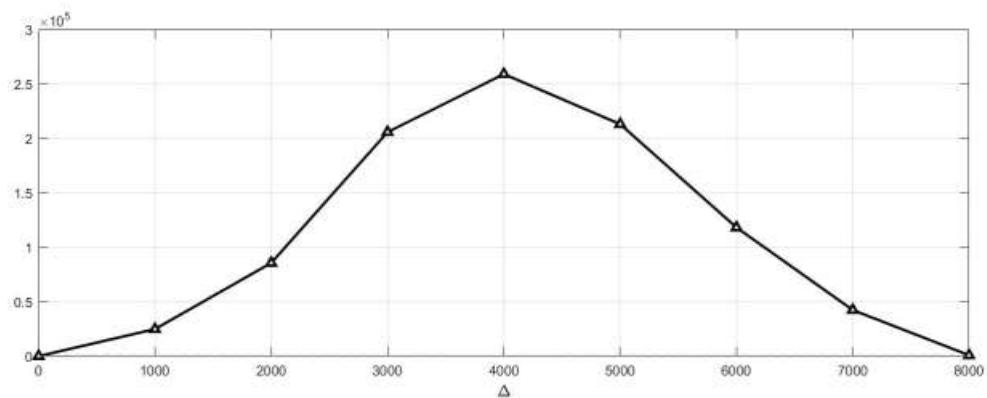


Рисунок 8. Абсолютное отклонение: кейс №4.

Список использованных источников

1. Ackermann H., Roglin H., Vocking B. Pure Nash equilibria in player-specific and weighted congestion games // Theoretical Computer Science. 2009. V. 410, No 17. P. 1552–1563.
2. Aland S., Dumrauf D., Gairing M., Monien B., Schoppmann F. Exact price of anarchy for polynomial congestion games // SIAM Journal on Computing. 2011. V. 40, No 5. P. 1211–1233.
3. Chau C.K., Sim K.M. The price of anarchy for non-atomic congestion games with symmetric cost maps and elastic demands // Operations Research Letters. 2003. V. 31, No 5. P. 327–334.
4. Correa J.R., Schulz A.S., Stier-Moses N.E. A geometric approach to the price of anarchy in nonatomic congestion games // Games and Economic Behavior. 2008. V. 64, No 2. P. 457–469.
5. Fanelli A., Moscardelli L. On best response dynamics in weighted congestion games with polynomial delays // Distributed Computing. 2011. V. 24, No 5. P. 245–254.
6. Gusev V.V. Cooperative congestion games: existence of a Nash-stable coalition structure // Optimization Letters. 2022. V. 16. P. 2787–2801.
7. Harks T., Klimm M., Mohring R.H. Characterizing the existence of potential functions in weighted congestion games // Theory of Computing Systems. 2011. V. 49, No 1. P. 46–70.
8. Holzman R., Law-Yone N. Strong equilibrium in congestion games // Games and Economic Behavior. 1997. V. 21, No 1-2. P. 85–101.
9. Milchtaich I. Congestion games with player-specific payoff functions // Games and Economic Behavior. 1996. V. 13, No 1. P. 111–124.
10. Milchtaich I. Internalization of social cost in congestion games // Economic Theory. 2021. V. 71. P. 717–760.
11. Milchtaich I. Social optimality and cooperation in nonatomic congestion games // Journal of Economic Theory. 2004. V. 114. P. 56–87.
12. Naroditskiy V., Steinberg R. Maximizing social welfare in congestion games via redistribution // Games and Economic Behavior. 2015. V. 93. P. 24–41.
13. Nikitina N.N., Mazalov V.V. Potential in Congestion Game with Different Types of Vehicles // Doklady Mathematics . 2024. V. 110. P. S433–S439.
14. Rosenthal R.W. A class of games possessing pure-strategy Nash equilibria // International Journal of Game Theory. 1973. V. 2, No 1. P. 65–67.

1. Формулировка задачи

Рассмотрим сеть в виде ориентированного графа $G = (V, E)$. Будем считать, что сеть состоит из n непересекающихся альтернативных путей (каналов), либо исходящих из единственного истока, либо входящих в единственный сток, либо исходящих из единственного истока и входящих в единственный сток. Множество всех таких непересекающихся альтернатив будем обозначать через I , $|I| = n$. Предположим, что каждая альтернатива i , $i \in I$, характеризуется величиной пропускной способности y_i , $y = (y_1, \dots, y_n)^T$ при $y \in \mathbb{R}^n$. При этом, будем считать, что величины пропускных способностей y_i , $i \in I$, являются переменными верхнего уровня двухуровневой задачи оптимизации топологии сети, каждая из которых может принимать допустимые значения от $l_i > 0$ до $u_i > 0$, т.е. y_i принадлежит множеству $Y_i = \{y_i | l_i \leq y_i \leq u_i\}$ для любого $i \in I$; $l = (l_1, \dots, l_n)^T$ и $u = (u_1, \dots, u_n)^T$. Более того, для каждого $i \in I$ введем непрерывно-дифференцируемую строго возрастающую выпуклую функцию на множестве вещественных неотрицательных чисел $g_i(\cdot)$, принимающую только неотрицательные значения. Функцией $g_i(y_i)$, $i \in I$, будет описывать бюджетные затраты, необходимые для увеличения пропускной способности альтернативы i с величины l_i до величины y_i , при $g_i(l_i) = 0$. При этом, общий бюджет, который может быть инвестирован в увеличение пропускной способности всех альтернатив не должен превышать U : $\sum_{i \in I} g_i(y_i) \leq U$. Таким образом, получаем область определения переменных верхнего уровня двухуровневой задачи оптимизации топологии сети:

$$Y = \left\{ y \in \mathbb{R}^n \mid \sum_{i \in I} g_i(y_i) \leq U \text{ и } l_i \leq y_i \leq u_i \quad \forall i \in I \right\}.$$

В свою очередь, будем считать, что как только допустимый набор величин пропускных способностей $y \in Y$ задан, поток $D > 0$ распределяется среди доступных альтернатив. Через x_i обозначим количество потока, распределенного по альтернативе i , $i \in I$: $D = \sum_{i \in I} x_i$ и $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ при $x \in \mathbb{R}^n$. Таким образом, получаем область определения переменных

нижнего уровня двухуровневой задачи оптимизации топологии сети:

$$X = \left\{ x \in \mathbb{R}^n \mid \sum_{i \in I} x_i = D \text{ и } x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \right\}.$$

Более того, будем считать, что каждая альтернатива i , $i \in I$, характеризуется функцией задержки (затрат) $f_i(x_i, y_i)$ единицы потока x_i по альтернативе с пропускной способностью y_i . С одной стороны, будем предполагать, что для любого фиксированного положительного $\bar{y}_i \in \mathbb{R}^1$, $i \in I$, функция $f_i(x_i, \bar{y}_i) \in C^3(\mathbb{R}^1)$, при этом

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_i}(0, \bar{y}_i) = 0, \quad (1)$$

и для $m = \overline{1, 2}$ справедливо:

$$\frac{\partial^m f_i}{\partial x_i^m}(x_i, \bar{y}_i) > 0 \quad \forall x_i > 0. \quad (2)$$

С другой стороны, будем предполагать, что для любого фиксированного $\bar{x}_i \in \mathbb{R}^1$, $i \in I$, функция $f_i(\bar{x}_i, y_i) \in C^1(\mathbb{R}^1)$, при этом если $\bar{x}_i \geq 0$, то

$$\frac{\partial f_i}{\partial y_i}(\bar{x}_i, y_i) \leq 0 \quad \forall y_i \in Y_i. \quad (3)$$

В настоящей статье, мы рассмотрим двухуровневую задачу оптимизации топологии сети G в виде игры Штакельберга. Будем предполагать, что лидер стремится минимизировать общие затраты в сети на верхнем уровне оптимизации, в то время как на нижнем уровне происходит равновесное распределение потоков (затраты на всех используемых альтернативах одинаковы и меньше затрат на неиспользуемых). В рамках введенных предположений, некооперативная игра равновесного распределения потоков на нижнем уровне является потенциальной игрой и может быть сформулирована в виде следующей задачи условной нелинейной оптимизации [9, 33]:

$$\min_{x \in X} \sum_{i \in I} \int_0^{x_i} f_i(u, y_i) du.$$

Заметим, что при строго возрастающих функциях $f_i(x_i, y_i)$ по x_i , $i \in I$, для любого $y \in Y$ мы получаем задачу минимизации выпуклой целевой функции на выпуклом множестве ограничений. Другими словами, для любого $y \in Y$ задача оптимизации нижнего уровня имеет единственное решение. В свою очередь, лидер на верхнем уровне стремится минимизировать общие затраты (общую задержку) в сети за счет минимальных

инвестиций в увеличение пропускной способности альтернатив [34]:

$$\min_{y \in Y} \sum_{i \in I} f_i(x_i, y_i) x_i + w \sum_{i \in I} g_i(y_i),$$

где вес $w \geq 0$ определяет значимость инвестиционных затрат в целевой функции верхнего уровня. Таким образом, окончательно получаем следующую задачу двухуровневой оптимизации топологии сети [3]:

$$\min_{y \in Y} \sum_{i \in I} f_i(x_i, y_i) x_i + w \sum_{i \in I} g_i(y_i), \quad (4)$$

при

$$x = \arg \min_{x \in X} \sum_{i \in I} \int_0^{x_i} f_i(u, y_i) du. \quad (5)$$

2. Сведение задачи оптимизации топологии сети к минимаксу

Для любого $\hat{I} \subseteq I$, зададим функцию

$$\mathbb{f}_{\hat{I}}(x, y) = \frac{\sum_{i \in \hat{I}} \frac{f_i(x_i, y_i)}{\partial f_i / \partial x_i(x_i, y_i)}}{\sum_{i \in \hat{I}} \frac{1}{\partial f_i / \partial x_i(x_i, y_i)}},$$

и функцию

$$\phi_{\hat{I}}(x, y) = \mathbb{f}_{\hat{I}}(x, y) D + w \sum_{i \in I} g_i(y_i),$$

на $X_{\hat{I}} \times Y$, где $X_{\hat{I}} = \{x \in X \mid x_i > 0 \Leftrightarrow i \in \hat{I}\}$.

Согласно Теорема 2 из [32], решение задачи двухуровневой оптимизации (4)–(5) существует, и $y^* \in Y$ является этим решением тогда и только тогда, когда

$$y^* \in \arg \min_{y \in Y} \left[\min_{\hat{I} \subseteq I} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y) D + w \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right]. \quad (6)$$

При этом, согласно Следствию 1 из [32], если y^* является решением задачи двухуровневой оптимизации (4)–(5), а x^* – решением задачи (5) для y^* , то пара (x^*, y^*) является решением задачи минимакса

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{I^*}} \phi_{I^*}(x, y), \quad (7)$$

при

$$I^* \in \arg \min_{\hat{I} \subseteq I} \left[\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y) \right]. \quad (8)$$

Другими словами, при решении задачи двухуровневой оптимизации (4)–(5), множество активных переменных с необходимостью находится среди таких подмножеств $\hat{I} \subseteq I$, которые обеспечивают наименьшее значение величины минимакса функции $\phi_{\hat{I}}(x, y)$.

3. Построение множества активных переменных

Лемма 1. Если у функции $\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y)$ нет экстремумов внутри множества $X_{\hat{I}}$, то

$$\sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, y_i). \quad (9)$$

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Если у непрерывной функции $\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y)$ нет экстремумов внутри открытого ограниченного множества $X_{\hat{I}}$, то супремум $\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y)$ на $X_{\hat{I}}$ достигается на границе этого множества. Поскольку

$$\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y) = \frac{f_j(x_j, y_j) + \frac{\partial f_j}{\partial x_j}(x_j, y_j) \sum_{i \in \hat{I} \setminus j} \frac{f_i(x_i, y_i)}{\frac{\partial f_i}{\partial x_i}(x_i, y_i)}}{1 + \frac{\partial f_j}{\partial x_j}(x_j, y_j) \sum_{i \in \hat{I} \setminus j} \frac{f_i(x_i, y_i)}{\frac{\partial f_i}{\partial x_i}(x_i, y_i)}} \quad \forall j \in \hat{I},$$

то, в силу (1), получаем

$$\lim_{x_j \rightarrow 0} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y) = f_j(0, y_j) \quad \forall j \in \hat{I},$$

то есть приходим к (9).

Теорема 1. Если пара $(\hat{x}, \hat{y}) \in X_{\hat{I}} \times Y$ является решением задачи минимакса

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y), \quad (10)$$

и существует $p \in I \setminus \hat{I}$ такой, что $f_p(0, \hat{y}_p) < f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ для $i \in \hat{I}$, то

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \phi_{\bar{I}}(x, y) < \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y),$$

при $\bar{I} = \hat{I} \cup p$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Если пара $(\hat{x}, \hat{y}) \in X_{\hat{I}} \times Y$ является решением задачи минимакса (10), то \hat{x} является точкой максимума функции $\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})$ на множестве $X_{\hat{I}}$. В таком случае, согласно Лемме 2 из [32],

$$f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i) = f_j(\hat{x}_j, \hat{y}_j) \quad \forall i, j \in \hat{I}.$$

При этом, в силу вида функции $\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})$, получаем:

$$\sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}) = \mathbf{f}_{\hat{I}}(\hat{x}, \hat{y}) = f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i) \quad \forall i \in \hat{I}. \quad (11)$$

Рассмотрим систему уравнений $f_p(x_p, \hat{y}_p) = f_i(x_i, \hat{y}_i)$ для $i \in \hat{I}$.

Если на множестве $X_{\bar{I}}$ существует решение системы уравнений $f_p(x_p, \hat{y}_p) = f_i(x_i, \hat{y}_i)$, $i \in \hat{I}$, то в силу непрерывности и строгого возрастания функций $f_i(x_i, \hat{y}_i)$ по x_i на множестве положительных чисел, $i \in I$, это решение единственное, а поскольку $f_p(0, \hat{y}_p) < f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ для $i \in \hat{I}$, существуют такие $\Delta\hat{x}_i > 0$, $i \in \hat{I}$, что

$$f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i) > f_i(\hat{x}_i - \Delta\hat{x}_i, \hat{y}_i) = f_p\left(\sum_{i \in \hat{I}} \Delta\hat{x}_i, \hat{y}_p\right) \quad \forall i \in \hat{I}. \quad (12)$$

При этом, согласно Леммам 1 и 2 из [32], $\bar{x} \in X_{\bar{I}}$ такой, что $\bar{x}_i = \hat{x}_i - \Delta\hat{x}_i$, $i \in \hat{I}$, и $\bar{x}_p = \sum_{i \in \hat{I}} \Delta\hat{x}_i$, является единственной точкой максимума функции $\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})$ на множестве $X_{\bar{I}}$:

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) = \mathbf{f}_{\bar{I}}(\bar{x}, \hat{y}) = f_p(\bar{x}_p, \hat{y}_p). \quad (13)$$

На основании (11) и (13), в силу (12), получаем:

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) < \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}).$$

Если на множестве $X_{\bar{I}}$ не существует решения системы уравнений $f_p(x_p, \hat{y}_p) = f_i(x_i, \hat{y}_i)$, $i \in \hat{I}$, то в силу непрерывности и строгого возрастания функций $f_i(x_i, \hat{y}_i)$ по x_i на множестве положительных чисел, $i \in I$, поскольку $f_p(0, \hat{y}_p) < f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ для $i \in \hat{I}$, существует $\tilde{I} \subset \hat{I}$ и такие $\Delta\hat{x}_i > 0$, $i \in \tilde{I}$, что

$$f_j(0, \hat{y}_j) > f_i(\hat{x}_i - \Delta\hat{x}_i, \hat{y}_i) = f_p\left(\sum_{i \in \tilde{I}} \Delta\hat{x}_i, \hat{y}_p\right) \quad \forall i \in \tilde{I}, j \in \hat{I} \setminus \tilde{I}.$$

Таким образом, получаем:

$$f_j(0, \hat{y}_j) > f_p\left(\sum_{i \in \tilde{I}} \Delta\hat{x}_i, \hat{y}_p\right) > f_p(0, \hat{y}_p) \quad \forall j \in \hat{I} \setminus \tilde{I}. \quad (14)$$

Поскольку на множестве $X_{\bar{I}}$ не существует решения системы уравнений $f_p(x_p, \hat{y}_p) = f_i(x_i, \hat{y}_i)$, $i \in \hat{I}$, то, в силу Леммы 2 из [32], у функции $\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})$ нет экстремумов внутри множества $X_{\bar{I}}$, что с учётом Леммы 1 ведёт к

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, \hat{y}_i). \quad (15)$$

Однако, благодаря (14), из (15) следует:

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, \hat{y}_i). \quad (16)$$

В силу строгого возрастания функций $f_i(x_i, \hat{y}_i)$, $i \in \hat{I}$, на множестве положительных чисел, опираясь на (11) и (16), получаем:

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) < \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}).$$

Приходим к выводу, что в любом из возможных случаев следующее неравенство справедливо:

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) < \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}). \quad (17)$$

В свою очередь, из (17) следует, что

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) < \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i),$$

или

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right] < \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \left[\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right]. \quad (18)$$

При этом,

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right] \leq \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right].$$

Таким образом, в силу (18), получаем:

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right] < \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \left[\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right].$$

При этом, поскольку

$$\sup_{x \in X_{\hat{I}}} \left[\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right] = \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \left[\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right],$$

то окончательно получаем, что

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right] < \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \left[\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right].$$

Теорема 2. Если $\hat{y} \in Y$ таков, что

$$\sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, \hat{y}) = \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y),$$

но при этом не существует решения системы $f_i(x_i, \hat{y}_i) = f_j(x_j, \hat{y}_j)$, $i, j \in \hat{I}$, на множестве $X_{\hat{I}}$, то

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \phi_{\bar{I}}(x, y) \leq \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y),$$

при $\bar{I} = \hat{I} \setminus s$, где $f_s(0, \hat{y}_s) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, \hat{y}_i)$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Коль скоро не существует решения системы $f_i(x_i, \hat{y}_i) = f_j(x_j, \hat{y}_j)$, $i, j \in \hat{I}$, на множестве $X_{\hat{I}}$, то, согласно Лемме 2 из [32], у функции $\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})$ нет экстремумов внутри множества $X_{\hat{I}}$. В таком случае, согласно Лемме 1,

$$\sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, \hat{y}_i). \quad (19)$$

Рассмотрим систему уравнений $f_i(x_i, \hat{y}_i) = f_j(x_j, \hat{y}_j)$ для $i, j \in \bar{I}$.

Если на множестве $X_{\bar{I}}$ не существует решения системы $f_i(x_i, \hat{y}_i) = f_j(x_j, \hat{y}_j)$, $i, j \in \bar{I}$, то, согласно Лемме 2 из [32], у функции $\mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})$ нет экстремумов внутри множества $X_{\bar{I}}$. В таком случае, согласно Лемме 1,

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) = \max_{i \in \bar{I}} f_i(0, \hat{y}_i), \quad (20)$$

а поскольку $f_s(0, \hat{y}_s) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, \hat{y}_i)$, то из (19) и (20) следует:

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) \leq \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}).$$

Если же существует $\tilde{x} \in X_{\bar{I}}$ такой, что $f_i(\tilde{x}_i, \hat{y}_i) = f_j(\tilde{x}_j, \hat{y}_j)$, $i, j \in \bar{I}$, то, согласно Леммам 1 и 2 из [32],

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) = f_i(\tilde{x}_i, \hat{y}_i) \quad \forall i \in \bar{I}. \quad (21)$$

Предположим при этом, что $f_i(\tilde{x}_i, \hat{y}_i) > f_s(0, \hat{y}_s)$, $i \in \bar{I}$. В таком случае, в силу непрерывности и строгого возрастания функций $f_i(x_i, \hat{y}_i)$ по x_i на множестве положительных чисел, $i \in I$, существуют такие $\Delta \tilde{x}_i > 0$, $i \in \hat{I}$, что

$$f_i(\tilde{x}_i - \Delta \tilde{x}_i, \hat{y}_i) = f_s \left(\sum_{i \in \bar{I}} \Delta \tilde{x}_i, \hat{y}_s \right) \quad \forall i \in \bar{I},$$

при $(\tilde{x}_i - \Delta \tilde{x}_i) > 0$, $i \in \bar{I}$, поскольку $f_i(0, \hat{y}_i) \leq f_s(0, \hat{y}_s)$ для всех $i \in \bar{I}$. Другими словами, предположив, что $f_i(\tilde{x}_i, \hat{y}_i) > f_s(0, \hat{y}_s)$, $i \in \bar{I}$, приходим к необходимости существования решения системы $f_i(x_i, \hat{y}_i) = f_j(x_j, \hat{y}_j)$, $i, j \in \hat{I}$. Таким образом, предположение оказалось неверным, а значит:

$$f_i(\tilde{x}_i, \hat{y}_i) \leq f_s(0, \hat{y}_s) \quad \forall i \in \bar{I}. \quad (22)$$

В силу (22), из (19) и (21) следует, что

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbf{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) \leq \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}).$$

Приходим к выводу, что в любом из возможных случаев следующее неравенство справедливо:

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbb{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y}) \leq \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbb{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y}). \quad (23)$$

В свою очередь, из (23) следует, что

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \mathbb{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \leq \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \mathbb{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i),$$

или

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbb{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right] \leq \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \left[\mathbb{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right]. \quad (24)$$

При этом,

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbb{f}_{\bar{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right] \leq \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbb{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right].$$

Таким образом, в силу (24), получаем:

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbb{f}_{\bar{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right] \leq \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbb{f}_{\bar{I}}(x, \hat{y})D + \omega \sum_{i \in I} g_i(\hat{y}_i) \right].$$

или

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \left[\mathbb{f}_{\bar{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right] \leq \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \left[\mathbb{f}_{\hat{I}}(x, y)D + \omega \sum_{i \in I} g_i(y_i) \right].$$

4. Достаточность множества активных переменных

Теорема 3. Пусть выполняется следующее условие:

$$f_i(0, \dot{y}_i) = f_i(0, \ddot{y}_i) \quad \forall i \in I, \dot{y}_i, \ddot{y}_i \in Y.$$

В таком случае, если пара $(\hat{x}, \hat{y}) \in X_{\hat{I}} \times Y$ является решением задачи минимакса

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y),$$

и при этом $f_i(\hat{x}_i, l_i) \leq f_j(0, l_j)$ для всех $i \in \hat{I}$, $j \in I \setminus \hat{I}$, то для любого $s \in I \setminus \hat{I}$ справедливо:

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y) \leq \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \phi_{\bar{I}}(x, y),$$

где $\bar{I} = \hat{I} \cup s$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Если пара $(\hat{x}, \hat{y}) \in X_{\hat{I}} \times Y$ является решением задачи минимакса для $\phi_{\hat{I}}(x, y)$, то $\hat{x} \in X_{\hat{I}}$ является точкой максимума функции $\mathbf{f}_{\hat{I}}(x, \hat{y})$ на множестве $X_{\hat{I}}$. В таком случае, согласно Лемме 2 из [32], выполняются следующие равенства:

$$f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i) = f_j(\hat{x}_j, \hat{y}_j) \quad \forall i, j \in \hat{I}. \quad (25)$$

Выстроим $f_i(\hat{x}_i, l_i)$, $i \in \hat{I}$, в порядке возрастания:

$$f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, l_{i_1}) \leq \dots \leq f_{i_m}(\hat{x}_{i_m}, l_{i_m}),$$

где $\hat{I} = \{i_1, \dots, i_m\}$. Поскольку функции $f_i(x_i, l_i)$ являются непрерывными и строго возрастающими по x_i на множестве положительных чисел, $i \in I$, то существуют $\Delta \hat{x}_i \geq 0$, $i \in \hat{I}$, такие, что

$$f_{i_1}(\hat{x}_{i_1} + \Delta \hat{x}_{i_1}, l_{i_1}) = \dots = f_{i_m}(\hat{x}_{i_m} - \Delta \hat{x}_{i_m}, l_{i_m}),$$

при $\sum_{a=1}^{k-1} \Delta \hat{x}_{i_a} = \sum_{a=k}^m \Delta \hat{x}_{i_a}$ и $(\hat{x}_{i_a} - \Delta \hat{x}_{i_a}) > 0$ для всех $a = \overline{k, m}$, где k такой, что

$$f_{i_{k-1}}(\hat{x}_{i_{k-1}} + \Delta \hat{x}_{i_{k-1}}, l_{i_{k-1}}) = f_{i_k}(\hat{x}_{i_k} - \Delta \hat{x}_{i_k}, l_{i_k}).$$

Действительно, для любого $a = \overline{k, m}$ справедливо:

$$f_{i_a}(\hat{x}_{i_a} - \Delta \hat{x}_{i_a}, l_{i_a}) = f_{i_1}(\hat{x}_{i_1} + \Delta \hat{x}_{i_1}, l_{i_1}),$$

откуда, в силу вида функции $f_{i_1}(x_{i_1}, l_{i_1})$, следует:

$$f_{i_a}(\hat{x}_{i_a} - \Delta \hat{x}_{i_a}, l_{i_a}) \geq f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, l_{i_1}),$$

при этом, поскольку $f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, y_{i_1})$ является невозрастающей по y_{i_1} на Y_{i_1} , то

$$f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, l_{i_1}) \geq f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, \hat{y}_{i_1}),$$

а значит

$$f_{i_a}(\hat{x}_{i_a} - \Delta \hat{x}_{i_a}, l_{i_a}) \geq f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, \hat{y}_{i_1}). \quad (26)$$

Однако, в силу (25), выполняется равенство:

$$f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, \hat{y}_{i_1}) = f_{i_a}(\hat{x}_{i_a}, \hat{y}_{i_a}),$$

а поскольку $\hat{x}_{i_a} > 0$, то

$$f_{i_a}(\hat{x}_{i_a}, \hat{y}_{i_a}) > f_{i_a}(0, \hat{y}_{i_a}),$$

и, с учётом равенства $f_{i_a}(0, \hat{y}_{i_a}) = f_{i_a}(0, l_{i_a})$, следующего из условия Теоремы, получаем:

$$f_{i_1}(\hat{x}_{i_1}, \hat{y}_{i_1}) > f_{i_a}(0, l_{i_a}). \quad (27)$$

Подставив (27) в (26), получим:

$$f_{i_a}(\hat{x}_{i_a} - \Delta \hat{x}_{i_a}, l_{i_a}) > f_{i_a}(0, l_{i_a}),$$

откуда в силу вида функции $f_{i_a}(x_{i_a}, l_{i_a})$ следует, что $(\hat{x}_{i_a} - \Delta \hat{x}_{i_a}) > 0$ для всех $a = \bar{k}, \bar{m}$. Другими словами, приходим к тому, что существует $\tilde{x} \in X_{\hat{I}}$ такой, что

$$f_i(\tilde{x}_i, l_i) = f_j(\tilde{x}_j, l_j) \quad \forall i, j \in \hat{I}.$$

Если существует $\tilde{x} \in X_{\hat{I}}$, удовлетворяющий системе уравнений $f_i(x_i, l_i) = f_j(x_j, l_j)$, $i, j \in \hat{I}$, то найдётся $p \in \hat{I}$, для которого справедливо

$$f_p(\tilde{x}_p, l_p) \leq f_p(\hat{x}_p, l_p),$$

поскольку в противном случае, в силу непрерывности и строгого возрастания функций $f_i(x_i, \hat{y}_i)$ по x_i на множестве положительных чисел, $i \in I$, выполнялось бы неравенство $\tilde{x}_i > \hat{x}_i$ для всех $i \in \hat{I}$, а значит $\sum_{i \in \hat{I}} \tilde{x}_i > \sum_{i \in \hat{I}} \hat{x}_i = D$ (то есть $\tilde{x} \notin X_{\hat{I}}$). В свою очередь, поскольку $f_p(\hat{x}_p, l_p) \leq f_s(0, l_s)$ для произвольно выбранного $s \in I \setminus \hat{I}$, то

$$f_i(\tilde{x}_i, l_i) = f_p(\tilde{x}_p, l_p) \leq f_s(0, l_s) \quad \forall i \in \hat{I}. \quad (28)$$

При этом, в силу непрерывности и невозрастания функции $f_i(\tilde{x}_i, y_i)$ по y_i на множестве Y_i , $i \in I$, справедливо:

$$f_i(\tilde{x}_i, \bar{y}_i) \leq f_i(\tilde{x}_i, l_i) \quad \forall i \in \hat{I}, \quad (29)$$

где $\bar{y} \in Y$ такой, что

$$\sup_{x \in X_{\bar{I}}} \phi_{\bar{I}}(x, \bar{y}) = \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \phi_{\bar{I}}(x, y),$$

при $\bar{I} = \hat{I} \cup s$.

Рассмотрим систему уравнений $f_i(x_i, \bar{y}_i) = f_j(x_j, \bar{y}_j)$, $i, j \in \hat{I}$. Если существует $\bar{x} \in X_{\hat{I}}$, удовлетворяющий эту систему, то, как было показано выше, в таком случае найдётся $q \in \hat{I}$, для которого справедливо:

$$f_q(\bar{x}_q, \bar{y}_q) \leq f_q(\tilde{x}_q, \bar{y}_q),$$

поскольку в противном случае $\bar{x} \notin X_{\hat{I}}$. В свою очередь, в силу (29) и (28), для найденного $q \in \hat{I}$ справедливы неравенства:

$$f_q(\tilde{x}_q, \bar{y}_q) \leq f_q(\tilde{x}_q, l_q) \leq f_s(0, l_s),$$

откуда следует, что

$$f_i(\bar{x}_i, \bar{y}_i) = f_q(\bar{x}_q, \bar{y}_q) \leq f_s(0, l_s) \quad \forall i \in \hat{I}.$$

При этом, поскольку $f_s(0, l_s) = f_s(0, \bar{y}_s)$, в силу условия Теоремы, окончательно получаем:

$$f_i(\bar{x}_i, \bar{y}_i) = f_q(\bar{x}_q, \bar{y}_q) \leq f_s(0, \bar{y}_s) \quad \forall i \in \hat{I}.$$

В силу непрерывности и строгого возрастания функций $f_i(x_i, \bar{y}_i)$ по x_i на множестве положительных чисел, $i \in I$, система $f_i(x_i, \bar{y}_i) = f_s(x_s, \bar{y}_s)$, $i \in$

\hat{I} , не имеет решения на множестве $X_{\hat{I}}$ и при этом $f_s(0, \bar{y}_s) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, \bar{y}_i)$. Следовательно, согласно Теореме 2,

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y) \leq \min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\bar{I}}} \phi_{\bar{I}}(x, y). \quad (30)$$

Если же на множестве $X_{\hat{I}}$ не существует решения системы $f_i(x_i, \bar{y}_i) = f_j(x_j, \bar{y}_j)$, $i, j \in \hat{I}$, то и система $f_i(x_i, \bar{y}_i) = f_s(x_s, \bar{y}_s)$, $i \in \hat{I}$, не имеет решения на множестве $X_{\bar{I}}$. При этом, в силу (29) и (28),

$$f_i(\tilde{x}_i, \bar{y}_i) \leq f_s(0, l_s) \quad \forall i \in \hat{I},$$

откуда в силу вида функций $f_i(x_i, \bar{y}_i)$, $i \in \hat{I}$, и условия Теоремы, следует:

$$f_i(0, \bar{y}_i) < f_i(\tilde{x}_i, \bar{y}_i) \leq f_s(0, l_s) = f_s(0, \bar{y}_s) \quad \forall i \in \hat{I},$$

то есть $f_s(0, \bar{y}_s) = \max_{i \in \hat{I}} f_i(0, \bar{y}_i)$. Следовательно, согласно Теореме 2, приходим к (30).

5. Поиск оптимальной топологии сети

Теоремы 1 и 2 позволяют реализовать алгоритмы поиска множества активных переменных в задаче (4)–(5). Действительно, соответствующие теоремы указывают на то, каким образом следует добавлять и удалять маршруты из рассмотрения, чтобы гарантировано уменьшать значение целевой функции (4). Рассмотрим, в частности, следующий алгоритм.

Алгоритм 1

- 1: $\hat{I} = \emptyset$
- 2: $\hat{I} \leftarrow \hat{I} \cup j$ при $j \in I$ таком, что $j = \arg \min_{i \in I} f_i(0, l_i)$
- 3: $(\hat{y}, \hat{x}) \leftarrow$ решение задачи минимакса:

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y),$$

- 4: **while** $\exists p \in I \setminus \hat{I} : f_p(0, \hat{y}_p) < f_i(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ для всех $i \in \hat{I}$ **do**
- 5: $\hat{I} \leftarrow \hat{I} \cup p$
- 6: $(\hat{y}, \hat{x}) \leftarrow$ решение задачи минимакса:

$$\min_{y \in Y} \sup_{x \in X_{\hat{I}}} \phi_{\hat{I}}(x, y),$$

- 7: **end while**
 - 8: **return** \hat{I}
-

Реализация Алгоритма 1 позволяет найти множество маршрутов, которые следует учитывать при решении задачи (4)–(5). В то же время, достаточность построенного таким образом множества маршрутов для решения задачи (4)–(5) не гарантирована. Однако, благодаря Теореме 3,

можно оценить найденное множество маршрутов на достаточность, проверив выполнимость простого условия:

$$f_i(\hat{x}_i, l_i) \leq f_j(0, l_j) \quad \forall i \in \hat{I}, j \in I \setminus \hat{I}. \quad (31)$$

Если условие (31) выполняется, значит найденного множества маршрутов достаточно для поиска глобального оптимума в задаче (4)–(5).

Рассмотрим результаты применения предложенного алгоритма на примере сети с 8 непересекающимися альтернативными маршрутами. Величины верхних и нижних границ пропускных способностей доступных альтернатив даны в Таблице 1.

Таблица 1. Нижняя и верхняя границы пропускных способностей

$i = \overline{1, 8}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
Нижняя граница (l_i)	50	80	70	40	60	90	45	20
Верхняя граница (u_i)	80	100	95	60	70	110	65	50

Бюджетные затраты, связанные с увеличением пропускной способности альтернативы i , $i = \overline{1, 8}$, с величины l_i до величины y_i , будем описывать при помощи функции следующего вида:

$$g_i(y_i) = 100(y_i - l_i)^2 \quad \forall i = \overline{1, 8},$$

а общий бюджет, который может быть инвестирован в увеличение пропускной способности всех альтернатив не должен превышать 200 000: $\sum_{i=1}^8 g_i(y_i) \leq 200000$. При этом, каждая альтернатива i , $i = \overline{1, 8}$, характеризуется степенной функцией задержки $f_i(x_i, y_i)$ единицы потока x_i по альтернативе с пропускной способностью y_i :

$$f_i(x_i, y_i) = t_i^0 + 0.15 \left(\frac{x_i}{y_i} \right)^4 \quad \forall i = \overline{1, 8},$$

при параметрах, данных в Таблице 2.

Таблица 2. Параметры функций задержки

i	1	2	3	4	5	6	7	8
t_i^0	21	24	18	29	34	32	30	35

Как только допустимый набор величин пропускных способностей задан, поток $D = 350$ распределяется среди доступных альтернатив в соответствии с принципом конкурентного равновесия при заданных функциях задержки. Если лидер на верхнем уровне стремится минимизировать общую задержку в сети за счет минимальных инвестиций в увеличение

пропускной способности альтернатив, то возникает задача двухуровневой оптимизации (4)–(5). При этом, будем считать, что $w = 0.01$, то есть единицу затрат времени лидер оценивает в 100 единиц бюджета.

Результаты применения Алгоритма 1 представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Результаты применения Алгоритма 1

i	1	2	3	4	5	6	7	8
\hat{x}_i	124.61	22.66	202.73	0	0	0	0	0
\hat{y}_i	58.92	81.18	80.61	40	60	90	45	20

При этом, нетрудно проверить, что условие (31) выполняется для полученного при помощи Алгоритма 1 подмножества $\hat{I} = \{1, 2, 3\}$ и вектора \hat{x} . Другими словами, выявленных маршрутов достаточно, чтобы найти глобальный оптимум в задаче (4)–(5) для представленной сети: введение в рассмотрение дополнительных доступных маршрутов может лишь уменьшить значение целевой функции (4).

Стоит отметить, что сформулированная в настоящей статье задача двухуровневой оптимизации может относиться к разным прикладным задачам. Действительно, с одной стороны, задача (4)–(5) может возникнуть в случае оптимизации участка улично-дорожной сети с непересекающимися путями (рис. 1). В таком случае, можно считать, что участок улично-дорожной сети обслуживает D неатомарных пользователей, распределяющихся среди n маршрутов в стремлении минимизировать индивидуальное время движения.

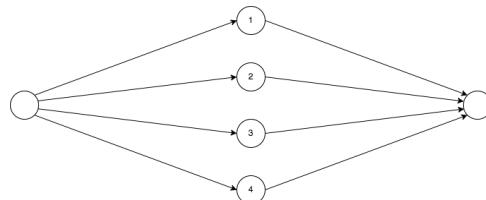


Рис. 1. Сеть с непересекающимися маршрутами

С другой стороны, задача (4)–(5) может возникнуть в случае оптимизации сети дистрибуторского центра типа звезда (рис. 2). В таком случае, можно считать, что дистрибуторский центр способен поставить D неатомарных единиц продуктового потока, который распределяется среди n альтернативных покупателей по принципу аукциона. При этом, если на рисунке 2 направить стрелочки в обратную сторону, то задача (4)–(5)

будет соответствовать ситуации, в рамках которой единственный покупатель удовлетворяет свой спрос в D единиц продуктого потока, закупаясь у n альтернативных поставщиков по принципу аукциона.

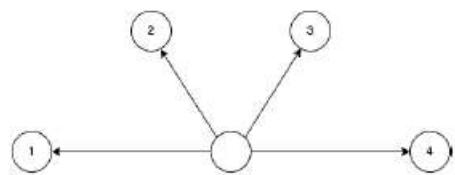


Рис. 2. Сеть типа звезды

Список использованных источников

1. Cieslik D. Network Design Problems . In: Floudas, C., Pardalos, P. (eds) Encyclopedia of Optimization. Springer, Boston, MA. (2008)
2. Stackelberg H. v. Marktform und Gleichgewicht. Berlin: Springer, 1934. (English Translated: The Theory of the Market Economy. Oxford: Oxford University Press, 1952)
3. Migdalas A. Bilevel programming in traffic planning: Models, methods and challenge // Journal of Global Optimization. 1995. Vol. 7. P. 381–405.
4. Samani A.R., Shetab-Boushehri S.-N., Mahmoudi R. Reliable Urban Transportation Network Design Problem Considering Recurrent Traffic Congestions // Advances in Industrial Engineering. 2021. Vol. 55, No 1. P. 69–89.
5. Zweers B.G., van der Mei R.D. Minimum costs paths in intermodal transportation networks with stochastic travel times and overbookings // European Journal of Operational Research. 2022. Vol. 300, Issue 1. P. 178–188.
6. Xing C., Jing Y., Wang S., Ma S., Poor H. V. New Viewpoint and Algorithms for Water-Filling Solutions in Wireless Communications // IEEE Transactions on Signal Processing. 2020. Vol. 68. P. 1618–1634.
7. Xu X., Chen A., Yang C. A review of sustainable network design for road networks // KSCE Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 20. P. 1084–1098.
8. Yang H., Bell M. G. H. Models and algorithms for road network design: a review and some new developments // Transport Reviews. 1998. Vol. 18, No 3. P. 257–278.
9. Крылатов А. Ю. Распределение потока в сети как задача поиска неподвижной точки // Дискретный анализ и исследование операций. 2016.
10. Т. 23, № 2. С. 63–87. (English Translated: Krylatov A. Yu. Network flow assignment as a fixed point problem // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2016. Vol. 10, No 2. P. 243–256.)
11. Magnanti T.L., Wong R.T. Network design and transportation planning: models and algorithms // Transportation Science. 1984. Vol. 18. P. 1–55.
12. Wong S.C., Yang H. Reserve capacity of a signal-controlled road network // Transportation Research Part B. 1997. Vol. 31. P. 397–402.
13. Gao Z.Y., Wu J.J., Sun H.J. Solution algorithm for the bi-level discrete network design problem // Transportation Research Part B. 2005. Vol. 39. P. 479–495.
14. Chen A., Zhou Z., Chootinan P., Ryu S., Yang C., Wong S.C. Transport Network Design Problem under Uncertainty: A Review and New Developments // Transport Reviews. 2011. Vol. 31, No 6. P. 743–768.
15. Dafermos S.C. Traffic assignment and resource al location in transportation networks // PhD thesis, John Hopkins University, Baltimore, MD, 1968.
16. Dantzig G.B., Harvey R.P., Lansdowne Z.F., Robinson D.W., Maier S.F.. Formulating and solving the network design problem by decomposition // Transportation Research Part B. 1979. Vol. 13, No 1. P. 5–17.
17. Abdulaal M., LeBlanc L. J. Continuous equilibrium network design models // Transportation Research Part B. 1979. Vol. 13, No 1. P. 19–32.
18. Tan H.N., Gershwin S.B., Athans M. Hybrid optimization in urban traffic networks // Report No. DOT- TSC-RSPA-79-7. Laboratory for Information and Decision System, MIT, Cambridge, MA (1979)
19. Friesz T.L. An equivalent optimization problem with combined multiclass distribution assignment and modal split which obviates symmetry restriction // Transportation Research Part B. 1981. Vol. 15. P. 361–369.
20. Friesz T.L., Anandalingam G., Mehta N.J., Nam K., Shah S.J., Tobin R.L. The multiobjective equilibrium network design problem revisited: a simulated annealing approach // Eur J Oper Res. 1993. Vol. 65. P. 44–57.
21. Dafermos S. Traffic equilibria and variational inequalities // Transp Sci. 1980. Vol. 14. P. 42–54.

22. Marcotte P. Network optimization with continuous control parameters // Transportation Science. 1983. Vol. 17, No 2. P. 181–197.
23. Meng Q., Yang H., Bell M.G.H. An equivalent continuously differentiable model and a locally convergent algorithm for the continuous networks design problem // Transp Res B. 2001. Vol. 35. P. 83–105.
24. Gao Z., Sun H., Zhang H. A globally convergent algorithm for transportation continuous network design problem // Optim Eng. 2007. Vol. 8. P. 241–257.
25. Tobin R. L., Friesz T. L. Sensitivity Analysis for Equilibrium Network Flow // Transportation Science. 1988. Vol. 22, No 4. P. 231–293.
26. Tobin R. L. Sensitivity Analysis for Variational Inequalities // Journal of Optimization Theory and Applications. 1986. Vol. 48, No 1. P. 191–204.
27. Chiou S. Bilevel programming for the continuous transport network design problem // Transportation Research Part B. 2005. Vol. 39, No 4. P. 361–383.
28. Meng Q., Yang H., Bell M. G. H. An equivalent continuously differentiable model and a locally convergent algoritm for the continuous network design problem // Transportation Research B. 2001. Vol. 35. P. 83–105.
29. Suwansirikul C., Friesz T. L., Tobin R. L. Equilibrium Decomposed Optimization: A Heuristic for the Continuous Equilibrium Network Design Problem // Transportation Science. 1987. Vol. 21, No 4. P. 227–292.
30. Li C., Yang H., Zhu D., Meng Q. A global optimization method for continuous network design problems // Transportation Research Part B. 2012. Vol. 46, No 9. P. 1144–1158.
31. Du B., Wang D.Z.W. Solving Continuous Network Design Problem with Generalized Geometric Programming Approach // Transportation Research Record. 2016. Vol. 2567, No 1. P. 38–46.
32. Gairing M., Harks T., Klimm M. Complexity and Approximation of the Continuous Network Design Problem // SIAM Journal on Optimization. 2017. Vol. 27, No 3. P. 1554–1582.
33. Krylatov A.Yu. Global Optimum Search in the Network Design Problem // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2024. Vol. 64, No. 10. P. 2238–2255.
34. Schmeidler D. Equilibrium points of nonatomic games // J. Stat. Phys. 1973. Vol. 7, No 4. P. 295–300.
35. Zhou Z., Yang M., Sun F., Wang Z., Wang B. A Continuous Transportation Network Design Problem with the Consideration of Road Congestion Charging // Sustainability. 2021. Vol. 13. P. 7008.