

УСТОЙЧИВОСТЬ И АДАПТИВНОСТЬ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ: ВЫВОДЫ ЭМПИРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ*

Чан Хуэй, Ло Вэй, И.А. Карачун**

Аннотация. На основе микроданных внешней торговли (HS-6, 2007–2022 гг.) методами анализа выживаемости (модели Кокса и Вейбулла) оценены факторы устойчивости двусторонних цепочек поставок Беларуси и России в условиях санкций. Установлено, что развитие цифровой экономики значимо снижает риск разрыва поставок и увеличивает их продолжительность. Экономический масштаб торговой пары снижает риск, тогда как географическая дистанция его повышает. Полученные результаты обосновывают приоритетность цифровизации логистики и диверсификации каналов в экономической политике и корпоративном управлении рисками.

Ключевые слова: цифровая экономика, цепочка поставок, санкции, проверка гипотез, АРТ.

JEL-классификация: F14, F17, F18.

DOI: 10.46782/1818-4510-2025-4-133-151

Материал поступил 14.07.2025 г.

В условиях усиления внешних шоков (санкции, логистические кризисы) устойчивость цепочек поставок (УЦП) становится приоритетом экономической политики и корпоративного управления. В данной статье на примере Беларуси и России дается количественная оценка факторов УЦП с использованием глобальных микроданных внешней торговли СЕРП ВАСИ уровня HS-6 за 2007–2022 гг. (панель «экспортер–импортер–товар–год»). Событие «разрыв поставки» определяется как обнуление потока в году t при его наличии в $t-1$ на уровне направленной тройки $(i, j, HS-6)$.

Методология состоит в применении моделей выживаемости: полупараметрической модели пропорциональных рисков Кокса (интерпретация через hazard

ratio) и параметрической модели ускоренного времени отказа Вейбулла (time ratio). Из практики реагирования формулируются гипотезы: (H1) более высокий уровень цифровизации снижает риск разрыва и увеличивает продолжительность связи; (H2) географическая дистанция повышает риск; (H3) экономический масштаб пары снижает риск как фоновый уровневый фактор.

Научный вклад исследования заключается в микроуровневой постановке оценки УЦП на глобальных данных, сопоставлении двух классов моделей для повышения надежности выводов и управленческих рекомендаций для Беларуси и России, ориентированных на цифровизацию логистики и координацию цепочек.

* Статья подготовлена на основе исследования, проведенного в рамках научно-исследовательской работы «Теоретико-методологические основы использования интегрированных цифровых платформ в служебных видах экономической деятельности» № ГР 20211799.

** Чан Хуэй (eco.chanH2@bsu.by), Белорусский государственный университет (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0001-6314-9636>;

Ло Вэй (18772969503@163.com); Ляонинский университет (г. Шэньян, Китай); <https://orcid.org/0009-0002-6425-0909>;
Карачун Ирина Андреевна (karachun@bsu.by), кандидат экономических наук, доцент, Белорусский государственный университет (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0002-0312-5064>

Для цитирования: Чан Хуэй, Ло Вэй, Карачун И.А. 2025. Устойчивость и адаптивность цепочек поставок в условиях санкций: выводы эмпирического анализа и управленческие решения. *Белорусский экономический журнал*. № 4. С. 133–151. DOI: 10.46782/1818-4510-2025-4-133-151

Обзор литературы

Устойчивость цепочек поставок становится ключевым направлением в условиях современной глобальной экономики. Геополитическая нестабильность, санкционное давление и усиление протекционизма формируют высокие риски, подрывая стабильность логистических и торговых процессов. Одновременно цифровая трансформация приобретает все большее значение как фактор, способный повысить адаптивность и надежность цепочек поставок. Обзор научной литературы, посвященный данной теме и представленный здесь, структурирован по трем направлениям: теоретико-методологические основы устойчивости цепочек поставок; деструктивное воздействие экономических санкций; роль цифровых технологий в обеспечении устойчивости поставок.

Теоретические основы устойчивости цепочек поставок

Устойчивость цепочек поставок (Supply Chain Resilience) определяется учеными как способность адаптироваться, перестраиваться и восстанавливаться после внешних шоков (Ponis, Koronis, 2012). Исследователи отмечают следующие ключевые измерения устойчивости:

- поглотительная способность (*absorptive capacity*) (Malhotra, Gosain, El Sawy, 2005; Patrucco, Marzi, Trabucchi, 2023);
- восстановительная способность (*recovery capacity*) (Christopher, Peck, 2004);
- адаптивность (*adaptive capacity*) (Wieland, Wallenburg, 2013);
- координационная способность (*collaborative capacity*) (Fawcett, Magnan, McCarter, 2008).

Среди индикаторов устойчивости выделяются: вероятность срыва поставок (Tang, 2006), длительность восстановления (Ivanov, Sokolov, 2010), степень избыточности сети (Pettit, Fiksel, Croxton, 2010), включая резервные мощности, диверсификацию поставщиков и альтернативные маршруты.

С методологической точки зрения традиционные подходы основаны на теории сетей, динамическом моделировании и имитации (Sterman, 2000; Pathak, Day, Nair,

Sawaya, Kristal, 2007). В последние годы развивается анализ на основе больших данных и машинного обучения (Hazen, Scipper, Ezell, et al., 2016; Tirkolaei, Sadeghi, Mooseloo, et al., 2021), позволяющий повысить точность оценки УЦП. Однако большинство работ сосредоточено на традиционных рисках; влияние нетипичных угроз (санкций, цифровизации) изучено довольно слабо. Тема интеграции ИИ, платформ и трансграничных цифровых решений в анализ устойчивости только начинает развиваться (Emrouznejad, Abbasi, Sicacuz, 2023).

Санкции как внешний шок для цепочек поставок

Экономические санкции оказывают комплексное негативное воздействие на логистику и торговлю, нарушая поставки и снижая надежность институциональной среды (Hufbauer, Scott, Sicakuz, 2007; Galtung, 1967). Они ограничивают ресурсные потоки (Hufbauer, Schott, Elliott, 2009), подрывают доверие и усиливают системные уязвимости (Ivanov, 2020).

Особенно остро санкции сказываются на экспортно ориентированных экономиках и критически важных секторах. Эмпирические данные показывают, что Беларусь и Россия демонстрируют аномально высокие уровни разрывов поставок под санкционным давлением, существенно превышающие глобальные показатели (Sukhodolia, 2019; Силаева, 2021; Kosowska, Kosowski, 2024).

Хотя разрушительный эффект санкций и признан в научной литературе, сохраняется дефицит эмпирических исследований, оценивающих конкретные стратегии устойчивости в таких условиях, особенно с учетом роли цифровой экономики. Этот пробел формирует основу для дальнейшего теоретического и прикладного анализа.

Цифровая экономика как фактор повышения устойчивости

Цифровая трансформация через информатизацию, автоматизацию и интеллектуализацию оказывает комплексное положительное влияние на УЦП. Основные направления влияния включают:

- повышение эффективности: цифровые технологии оптимизируют операции и

логистику, снижая вероятность сбоев (Ivanov, Dolgui, 2020);

- прозрачность и контроль: платформы цифрового обмена способствуют мониторингу и раннему выявлению проблем (Liu, Feng, Xi, Fang, 2024);

- гибкость и оперативность: трансграничная e-коммерция и цифровые платежные решения обеспечивают альтернативные каналы в условиях ограничений (Queiroz, Wamba, Jabbour, Machado, 2022);

- инновационную координацию: блокчейн усиливает доверие и синхронизацию действий участников (Saberli, Kouhizaden, Sarkis, Shen, 2019).

Современные исследования показывают, что страны с развитой цифровой инфраструктурой (например, Китай) способны поддерживать высокую устойчивость цепочек в кризисных условиях – будь то пандемия COVID-19 или санкционное давление. Инфраструктура инициативы «Пояс и Путь» включает интеллектуальные логистические сети и цифровые торговые платформы, способствующие УЦП (Barykin, Zhang, Dinets, et al., 2025; Wang, Childerhouse, Abareshi, 2024). Активно развиваются технологии блокчейн и машинного обучения в управлении поставками (Abadi, Sadeghi, Najian, Shahvari, Ghasemi, 2024; Teodorescu, Korchagina, 2021).

Тем не менее, в большинстве работ авторы ограничиваются отдельными технологиями или национальными кейсами. Систематические эмпирические оценки вклада цифровой экономики в устойчивость поставок, особенно в условиях санкций, довольно редки. Настоящее исследование направлено на восполнение данного пробела.

Диагностика состояния цепочек поставок Беларуси и России

Цепочки поставок двух стран в условиях санкций

Согласно данным Североатлантического альянса (НАТО) и других открытых баз данных по санкциям, к 2023 г. западные санкции против России охватывали несколько ключевых сфер, включая банковский и финансовый сектор (19%), информационно-компьютерные технологии (15%), энергетику и нефтехимию (9%), военный промышленный комплекс (8%), а также логистику и транспорт (7%) (рис. 1). Это указывает на то, что санкции затрагивают не только цифровую экономику и финансовую отрасль, но и такие критически важные области, как военная промышленность, логистика и энергетика, оказывая глубокое воздействие на общую экономическую систему России и стабильность ее цепочек поставок.

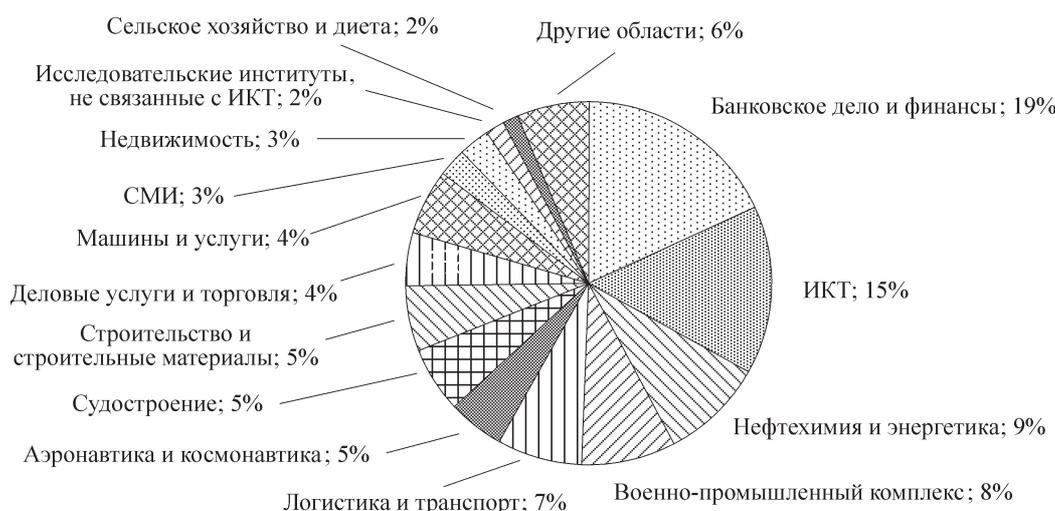


Рис. 1. Распределение санкций против России в 2023 г.

Источник. Авторская разработка на основе данных Russia Sanctions Database. URL: <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/econographics/russia-sanctions-database/>

Западные санкции, направленные против России, затронули и Беларусь как долгосрочного стратегического партнера России – для нашей страны характерна высокая экономическая интеграция и зависимость от нее. Ограничения охватывают доступ к технологиям, финансированию, логистике и ресурсам, что ведет к разрыву ключевых внешнеторговых связей и дестабилизации цепочек поставок в обеих странах. Для анализа масштабов воздействия санкций на разрывы поставок в России и Беларуси нами были использованы данные СЕРП ВАСИ. На их основе проведена классификация торговых позиций по Гармонизированной системе (HS), что позволило выделить группы товаров, по которым поставки 2021–2022 гг. полностью прекратились. В табл. 1 приведены детализированные данные о разрывах цепочек поставок в Беларуси и России за 2021–2022 гг.

Наибольшее воздействие санкций пришлось на ключевые отрасли: текстильную, химическую, машиностроение, электрооборудование и металлургию. Эти секторы не только являются основными экспортными

генераторами, но и составляют производственную основу экономики обеих стран.

Влияние санкционных мер на устойчивость цепочек выразилось:

- в ограничении доступа к технологиям и ресурсам: перекрытие каналов поставок высокотехнологичных компонентов особенно затронуло машиностроение, электронику и металлургию;
- нарушении логистики и транспортных связей: разрыв внешнеторговых маршрутов повысил издержки и снизил эффективность логистики;
- потере рынков и клиентов: санкции в химическом и текстильном секторах привели к прекращению сотрудничества с ключевыми партнерами, особенно в ЕС, и сузили экспортные возможности.

Сопоставительный описательный анализ активности цепочек поставок:

Россия/Беларусь и группа сравнения

Для сопоставления выявленных ранее особенностей разрывов с региональной динамикой рассмотрим сравнение России и Беларуси с рядом стран – Германией, Кита-

Таблица 1

Количество товарных позиций (HS-кодов), затронутых разрывами цепочек поставок в Беларуси и России

Категория	Беларусь	Россия
Текстиль и текстильные изделия	809	823
Химическая продукция	775	843
Машины и электрическое оборудование	754	764
Основные металлы и изделия из них	597	611
Оптические и медицинские инструменты	239	239
Продукты питания	233	240
Пластмассы и каучук	230	234
Изделия из камня, цемента, керамики, стекла	166	166
Целлюлоза, бумага и картон	134	138
Минеральные продукты	118	137
Транспортные средства, самолеты и суда	117	130
Мебель, игрушки и другие готовые изделия	116	117
Продукты растительного происхождения	107	115
Древесина и изделия из нее	89	92
Драгоценные камни и металлы	71	80
Необработанные шкуры и кожа	59	67
Обувь и головные уборы	47	47
Жиры и масла	44	45
Оружие и боеприпасы	7	17
Произведения искусства	7	7

Источник. Составлено авторами на основе данных базы СЕРП ВАСИ. URL: https://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37

ем, Сингапуром, а также Казахстаном, Кыргызстаном и Арменией. На рис. 2 показана динамика активности цепочек поставок в 2007–2022 гг. по числу активных товарных категорий (HS) и соответствующим объемам при единой методике учета.

Из рис. 2 видно, что в 2021–2022 гг. у России и Беларуси зафиксировано резкое снижение активности, тогда как у стран сравнения значения остаются стабильными или растут. Это свидетельствует о межстрановой дивергенции: снижение активности носит не универсальный, а локализованный характер, совпадающий по времени и масштабу с усилением внешних ограничений, направленных на Россию и Беларусь.

Для количественного описания разрывов цепочек поставок в 2021–2022 гг. используются два взаимодополняющих показателя (рис. 3):

1. Событие «разрыв» (уровень направленности связи). Разрыв фиксируется для уникальной тройки (i, j , товар HS-6), если в 2021 г. поставка наблюдалась, а в 2022 г. отсутствует. Среди всех зафиксированных в мире разрывов 2021–2022 гг. доля случаев с участием России или Беларуси составляет 6,2%.

2. Товары с разрывом > 50% (уровень товара). Для каждого товара HS-6 определяется доля направленных связей, исчезнувших в 2022 г. по сравнению с их числом в 2021 г.;

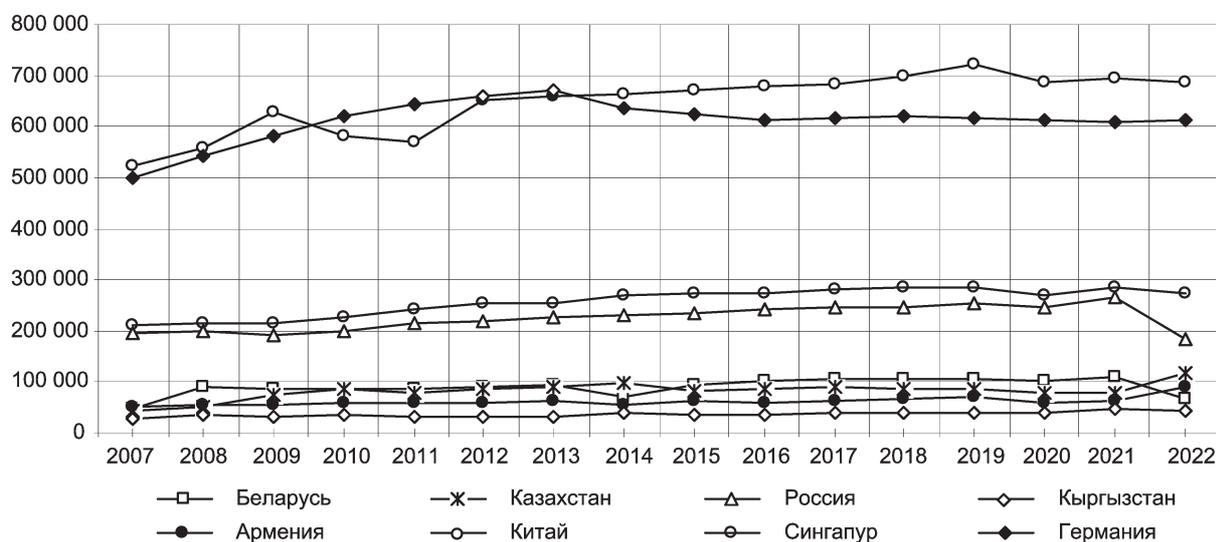


Рис. 2. Динамика активности цепочек поставок в 2007–2022 гг.

Источник. Составлено авторами на основе данных СЕПН ВАСИ. URL: https://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37

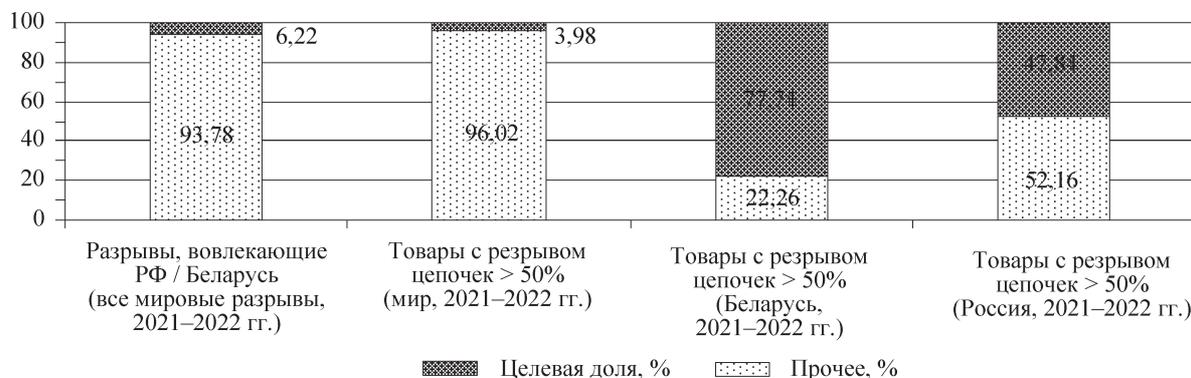


Рис. 3. Доля товаров с уровнем разрыва цепочек поставок более 50% в общем объеме торговых товаров Беларуси и России в 2021–2022 гг.

Источник. Составлено авторами на основе данных СЕПН ВАСИ. URL: https://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37

товар относится к категории > 50%, если указанная доля превышает 50%. В 2021–2022 гг. такие товары составили 4,0% от общего числа HS-6 в мире; по Беларуси – 77,7%, по России – 47,8%.

Эти результаты указывают на высокую локальную концентрацию структурных разрывов в сетях России и Беларуси при умеренной распространенности на глобальном уровне. Следует подчеркнуть, что здесь разрыв понимается как исчезновение связей (структурная перестройка сети), а не как падение стоимостных объемов по сохраненным связям.

Реакция России и Беларуси на санкции: от институциональных мер к эмпирическим гипотезам

В условиях беспрецедентного санкционного давления Россия и Беларусь реализуют комплексные меры, направленные на укрепление устойчивости своих торгово-логистических систем. В этом разделе представлен институциональный анализ реализованных стратегий и их интерпретация в терминах операционализируемых переменных. В первой части проводится сравнительное сопоставление фактических мер реагирования двух стран. Во второй – на их основе формулируются эмпирические гипотезы, лежащие в основе последующего количественного анализа.

Фактические меры реагирования России и Беларуси

Хотя в рамках союзнических отношений меры реагирования во многом синхронизированы, но их приоритеты и инструменты различаются с учетом масштаба и структуры экономик. Ключевые направления политики обеих стран и конкретные стратегии представлены в табл. 2.

Сравнительный анализ институциональных мер реагирования, представленный в таблице, позволяет выделить ключевые направления адаптации России и Беларуси. Несмотря на различия в масштабе экономик и специфике применяемых инструментов, можно отметить общую направленную направленность ответных действий:

- институционализация региональной кооперации (ЕАЭС, цифровые коридоры);

- интернационализация платежных систем (МИР, CIPS);
- цифровизация логистики и торговли;
- стимулирование технологического суверенитета;
- координация с социально близкими партнерами.

Эти меры формируют системную модель реагирования, основанную на институциональных, технологических и региональных векторах. Указанные направления служат отправной точкой для выделения соответствующих переменных и формулирования эмпирических гипотез в последующем анализе.

Интерпретация мер реагирования через призму переменных и формулирование гипотез

Анализ ответных мер России и Беларуси показывает, что они носят не случайный, а целенаправленный характер, нацеленный на ключевые факторы устойчивости цепочек поставок. Эти практические стратегии могут быть непосредственно трансформированы в проверяемые эмпирические гипотезы. Одновременно различия в воздействии санкций на две страны подчеркивают фундаментальную роль экономического масштаба.

1. Фундаментальная роль экономического масштаба (ВВП) и рыночной власти.

Эмпирическое наблюдение. Несмотря на схожее санкционное давление, доля товаров HS-6 с исчезновением более 50% направленных связей в России составила 47,8%, тогда как в Беларуси – 77,7%. Это различие подчеркивает фундаментальную роль экономического масштаба (Average_GDP) в устойчивости торговых связей. Крупный размер экономики России обеспечивает большую рыночную власть, более богатую ресурсную базу и более диверсифицированные производственные возможности, формируя большой буфер и больше альтернатив. Беларусь, как малая открытая экономика, в большей степени зависит от внешних рынков, что делает ее цепочки поставок более уязвимыми.

Интерпретация: операционализация переменных и формулирование гипотез. Средний ВВП торговой пары (Average_GDP) отражает совокупную экономическую

Меры России и Беларуси по поддержанию устойчивости цепочек поставок в условиях санкций

Направление реагирования	Россия	Беларусь
1. Диверсификация цепочек поставок и региональное сотрудничество	Укрепление сотрудничества с азиатскими странами, «Поворот на Восток» (например, газопровод «Сила Сибири-2») (Железняк, Сериков, Шац, 2021). Перенос производственных мощностей внутри ЕАЭС, локализация логистики, расчеты в национальных валютах* Экстренная логистическая поддержка Беларуси**	Долгосрочные поставки газа по сниженным ценам Развитие цифрового транспортного коридора и сотрудничество по логистике (Хасанов, 2024)
2. Стабильность финансовой системы и расчеты в национальных валютах	Интернационализация системы МИР, расчеты в юанях (Сун, 2021; Astrov, Teti, Scheckenhofner, Semelet, 2024) Создание СПФС – альтернатива SWIFT***	Активное использование юаня, включение в резервы Продвижение CIPS и цифрового юаня (Изотов, Мешкова, Теплов, 2022) Использование портов РФ (Астрахань) и Индии (Тянь Шиюй, 2023)
3. Технологическая автономия и импортозамещение	Производство чипов RISC-V (28-нм), инвестиции 3,19 трлн руб. (Гао Цзисян, 2024)	Высокотехнологичное производство в парке «Великий камень», инвестиции КНР (Ху Минцзюнь, Устинович, 2023) ИИ, робототехника, энергоэффективность (Кругликов, Касанин, Бондоловский, 2024)
4. Цифровая трансформация	Базы производства микроэлектроники, ИИ и промышленный Интернет**** Цифровизация финансовой системы (Порхачёв, 2023)	Национальная цифровая платформа логистики на основе ИИ и Big Data (Салтукович, Алексеева, 2024) Блокчейн и облачные технологии для оптимизации цепочек (Гулягина, 2022)
5. Оптимизация институтов и инструментов	Введение ГОСТ Р ИСО 28001–2019 по безопасности цепочек поставок***** Работа с третьими странами (Турция, ОАЭ) для обхода санкций (Третьякова, Казаченко, Льюнг, 2021)	Совместные меры с РФ и другими дружественными странами Повышение взаимосвязи и унификации инструментов (Хасанов, 2024)

* Tsinghua University Institute of International and Area Studies. Regional Dynamics (Eurasia): Trends and Challenges in EAEU Trade. April 2023. URL: https://iias.tsinghua.edu.cn/_local/8/E8/32/E6AC6DF0A5A5CA06CD4126EF6AF_6BA89E67_104B66.pdf

** Россия помогает Беларуси решать проблемы с транспортировкой удобрений. 2022. URL: <https://sputnik.by/20220701/rossiya-pomogaet-belarusi-reshat-problemy-s-transportirovkoy-udobreniy-1064297086.html>

*** Банк России. Национальный отчет о развитии национальной платежной системы Российской Федерации за 2025–2027 годы. Москва: Банк России, 2024. URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/153223/onrmps_2025-27.pdf

**** Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по ее реализации. 2020. Распоряжение Правительства РФ от 17 янв. 2020 г. № 20-р /КонсультантПлюс.Россия: справ. правовая система.

***** ГОСТ Р ИСО 28001–2019. Системы менеджмента безопасности цепей поставок. Требования и руководство по внедрению наилучшей практики по обеспечению безопасности, оценке и планам безопасности. Москва: Стандартинформ, 2019.

Источник. Авторская разработка.

мощь торговых партнеров и их потенциальную маневренность, а средний ВВП на душу населения (*Average_GDP_per_capita*) – покупательную способность и устойчивость спроса на целевом рынке. Выдвигаются следующие гипотезы:

H1. Чем выше средний ВВП торговой пары (*Average_GDP*), тем выше устойчивость торговых связей и ниже риск разрыва.

H2. Чем выше средний ВВП на душу населения (*Average_GDP_per_capita*), тем ниже риск разрыва.

2. Стратегия смягчения политических рисков (Unstable Political Factors).

Эмпирическое наблюдение. Политическая нестабильность выступает внешним шоком, сопутствующим разрывам цепочек поставок. В ответ обе страны выстраивают институционализированные торговые отношения через двусторонние и многосторонние соглашения, снижая уязвимость к односторонним политическим решениям.

Интерпретация: операционализация переменных и формулирование гипотез. Глубина торговых соглашений (Trade_Agreement_Score) может выступать «амортизатором» политических рисков; дополнительным операциональным признаком служит участие в интеграционном блоке (например, EAEU_member). Исходя из этого, формулируем:

НЗ. Более высокая глубина торгового соглашения (Trade_Agreement_Score) ассоциируется с более низкой вероятностью разрыва и большей продолжительностью торговых связей.

3. Стратегия преодоления географического расстояния (Distance).

Эмпирическое наблюдение. Чтобы снизить зависимость от традиционных западных рынков, обе страны развивают альтернативные маршруты и логистические коридоры, тем самым стремясь сократить эффективную протяженность поставок.

Интерпретация: операционализация переменных и формулирование гипотез. В количественном анализе используется единственная географическая переменная – расстояние (Distance), рассчитанное для пары стран на уровне товара HS-6 и года.

Н4. Чем больше расстояние (Distance) между торговыми партнерами, тем выше вероятность разрыва и короче продолжительность торговых связей.

4. Стратегия использования социальных связей (Social_Ties).

Эмпирическое наблюдение. Обе страны приоритетно укрепляют партнерства с традиционно дружественными государствами. Социальный капитал и доверие, сформированные долгосрочным взаимодействием, облегчают быструю реконфигурацию и поддержание цепочек поставок в условиях кризиса.

Интерпретация: операционализация переменных и формулирование гипотез. Переменная «социальная близость» (Social_Ties) отражает накопленный доверительный ресурс и кооперационные практики между партнерами (по доступности – через подходящие прокси в данных).

Н5. Чем выше Social_Ties, тем ниже вероятность разрыва и тем больше продолжительность торговых связей.

5. Стратегия усиления цифровых возможностей (Average_DIG).

Эмпирическое наблюдение. Развитие цифровых платежных систем, логистических платформ и механизмов цифровой торговли является ключевым техническим инструментом повышения прозрачности, отслеживаемости и гибкости цепочек поставок.

Интерпретация: операционализация переменных и формулирование гипотез. Индекс «средний уровень цифрового развития торговой пары» (Average_DIG) используется как сводный показатель цифровой готовности, релевантной для функционирования связи.

Н6. Более высокий Average_DIG ассоциируется с более низким риском разрыва и большей продолжительностью торговых связей.

Исследовательские данные и методы

Определения и терминология:

- *Единица анализа – тройка (экспортер–импортер–товар) на уровне 6-значной номенклатуры HS (HS07, редакция 2007 г.) в базе СЕРП ВАСИ; все годы перекодированы к HS07 для сопоставимости (2007–2022). Активная цепочка – связка с положительным торговым потоком в году t .*

- *Разрыв поставок (сбой) – событие, при котором положительный поток в году $t-1$ становится нулевым в году t .*

- *Время жизни цепочки – число последовательных лет активности до первого разрыва; наблюдения без события до конца периода – правоцензурированные.*

- *Возобновление после разрыва трактуем как новую цепочку (новый жизненный цикл).*

- *Симметрия события: разрыв фиксируется и со стороны экспортера, и со стороны импортера на одной и той же паре; при агрегированной отчетности это учитывается в интерпретации долей.*

Выбор и описание переменных

Источники данных и воспроизводимость расчетов. В нашем исследовании, исходя из перспективы разрыва цепочек поставок, построена комплексная система переменных для анализа влияния уровня развития цифровой экономики и других ключевых факторов на устойчивость цепочек поставок. С этой целью мы использовали CEPII BACI (HS07, V202501) за 2007–2022 гг.: годовые

двусторонние потоки на уровне HS-6 (v – тыс. долл. США; q – т). Расстояние (Distance) – база CEPII GeoDist, ортодромическое расстояние в км. Внешние факторы: Average_DIG (шкала 0–1, методика и код автора), Average_GDP/Average_GDP_per_capita (WDI, долл. США), WGI (Всемирный банк), Social_Connection (SCI) – индекс Meta Data for Good. Определения и единицы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Источники данных для исследования и описание переменных

Тип переменной	Наименование переменной	Описание	Источник данных
Зависимая переменная	Вероятность разрыва цепочек поставок (Disrupt)	Событие разрыва по тройке (экспортер–импортер–товар HS-6): если в году $t-1$ поток > 0 , а в году $t = 0$ – фиксируем разрыв (1), иначе 0. Единица времени – год.	CEPII BACI (HS07, V202501) (URL: http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37) (v – тыс. долл.; q – т)
Ключевая независимая переменная	Уровень развития цифровой экономики (Average_DIG)	Рассчитан на основе пяти измерений: инфраструктура и связь, цифровые услуги и продукты, применение цифровых технологий	Рассчитан энтропийным методом (Entropy Method); шкала 0–1; методика и код – см.: (Хуэй, Чжай, Карачун, 2024)
Контрольные переменные	Средний ВВП (Average_GDP)	Средний ВВП стран пары, постоянные долл. США 2015 г.	Всемирный банк. WDI (URL: https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators)
	Средний ВВП на душу населения (Average_GDP_per_capita)	Средний ВВП на душу населения, постоянные долл. США 2015 г.	
	Политические индикаторы (Unstable Political Factors)	Индикаторы качества управления (например, Political Stability, Rule of Law и др.), шкала –2,5 ... +2,5	База данных показателей управления ООН (URL: https://databank.worldbank.org/source/worldwide-governance-indicators#selectedDimension_WGI_Series)
	Социальная связанность (Social_Connection)	Индекс социальной связанности между странами SCI (безразмерный, 0+)	База данных CEPII (URL: https://www.cepii.fr/CEPII/fr/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=8)
	Индекс торговых соглашений (Trade_Agreement_Score)	Индекс «глубины» двусторонних торговых соглашений (покрытие областей и обязательств, шкала 0–1)	
Географическое расстояние (Distance)	Географическое расстояние между каждой парой торговых партнеров (i, j), в регрессиях применяется нормировка min–max на [0,1]		

Примечание. Все показатели в расчетной таблице приведены к единой направленности – min–max-нормализация до [0,1] по глобальным экстремумам панели (при делении на ноль используем $\epsilon = 1e-12$; редкие выбросы – винзоризация (winsorization) 1%).

Энтропийные веса оцениваются на сводной выборке (все периоды объединены) и в дальнейшем не пересчитываются:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_j y_{ij}}, \quad e_j = \frac{1}{\ln n} \sum_i p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad d_j = 1 - e_j, \quad w_j = \frac{d_j}{\sum_j d_j}.$$

Интегральный индекс рассчитывается с фиксированными весами: $s_i = \sum_j w_j y_{ij}$.

Построение и анализ моделей

Для дальнейшего исследования потенциальной связи уровня развития цифровой экономики и вероятности разрыва цепочек поставок авторы использовали метод ядерной оценки плотности (ЯОП). Данный метод является мощным инструментом для анализа распределения вероятностей в условиях, когда данные не соответствуют нормальному распределению. В предыдущих исследованиях метод ЯОП зарекомендовал себя как эффективный способ анализа распределения уровня развития цифровой экономики различных стран или регионов. Формула выглядит следующим образом:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right),$$

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где n – количество рассматриваемых стран или регионов; K – ядерная функция (Гауссово ядро); h – ширина полосы; x_i – уровень развития цифровой экономики i -ой страны или региона; x – переменная, представляющая отклонение от центра ядра; y – стандартное отклонение. В данном исследовании мы принимаем $y = 1$, что подразумевает стандартизированные данные с единичной дисперсией каждого наблюдения.

Выбор ширины полосы осуществляется по правилу Скотта: $h = n^{-\frac{1}{5}} \cdot \sigma$, где n – количество наблюдений, y – стандартное отклонение выборки. Данное правило обеспечивает оптимальный баланс между смещением и дисперсией, которые являются двумя основными компонентами среднеквадратической ошибки оценки. Правило Скотта предполагает, что данные приблизительно нормальны, тем самым обеспечивается оптимальная ширина полосы для средней интегрированной квадратичной ошибки (Scott, 2015).

Единица наблюдения и событие. Анализ ведется на панели формата «эпизод-год»: одна строка соответствует направленной связи (*экспортер* $i \rightarrow$ *импортер* j , товар HS-6 = h) в календарном году t . Событие $Disrupt = 1$ фиксирует разрыв данной

связи в году t ; если разрыва не произошло до конца окна наблюдения, наблюдение считается правоцензурированным. Единица времени – год. Объясняющие переменные нормированы min–max до $[0;1]$; расстояние трактуется как географическая дистанция между торговыми партнерами (и также нормировано).

Такой формат данных естественно ведет к постановке задачи выживаемости. Мы применяем два взаимодополняющих подхода:

- полупараметрическая модель пропорциональных рисков Кокса (Cox PH) оценивает, как факторы мультипликативно меняют мгновенный риск разрыва, не навязывая форму базовой интенсивности;
- параметрическая модель ускоренного времени отказа Вейбулла (Weibull AFT) дает прямую интерпретацию в терминах времени до разрыва. Совпадение направлений эффектов в обеих моделях повышает надежность выводов: Cox PH отвечает, «кто в группе риска и насколько», Weibull AFT – «на сколько в среднем сдвигается момент разрыва».

Формула модели Cox PH имеет следующий вид:

$$h(t|X) = h_0(t) \cdot \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k), \quad (2)$$

где $h(t|X)$ – риск разрыва цепочки поставок в момент времени t ; $h_0(t)$ – базовая функция риска; X – объясняющие переменные, включая уровень развития цифровой экономики и контрольные переменные; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ – коэффициенты переменных X , которые отражают относительное влияние каждой переменной на риск разрыва цепочки поставок. Положительные коэффициенты β указывают на то, что переменная увеличивает риск разрыва, а отрицательные – на его снижение.

Основная формула модели Weibull AFT:

$$\ln(T) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \sigma \varepsilon,$$

$$\varepsilon \sim EV(0,1) \quad (3)$$

где T – продолжительность существования цепочек поставок; α – постоянная, представляющая базовую продолжительность без влияния объясняющих переменных;

X_1, X_2, \dots, X_k – объясняющие переменные, включая уровень развития цифровой экономики и контрольные переменные; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ – коэффициенты регрессии переменных, показывающие влияние каждой переменной на продолжительность существования цепочек поставок (положительный коэффициент указывает на увеличение времени существования, а отрицательный – на его сокращение); $\sigma\varepsilon$ – ошибка, представляющая случайные вариации, не объясненные моделью.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа ядерной оценки плотности

Как показано на рис. 4, повышение уровня развития цифровой экономики двух торговых стран сопровождается значительным снижением вероятности разрыва цепочек поставок. Данная закономерность прослеживается на протяжении всего периода 2007–2022 гг. и подтверждает устойчивость выявленных взаимосвязей.

Полученные результаты имеют важное теоретическое и прикладное значение. Во-первых, они подчеркивают ключевую роль

цифровой экономики в укреплении устойчивости глобальных цепочек поставок. Во-вторых, они предоставляют практическую основу для разработки стратегий минимизации рисков разрыва через внедрение цифровых технологий, усиление цифровой инфраструктуры и оптимизацию взаимодействия между торговыми партнерами посредством цифровых платформ.

Таким образом, дальнейшее изучение взаимосвязей между уровнем развития цифровой экономики и УЦП представляется перспективным направлением, способным обеспечить не только научную новизну, но и высокую значимость для практики.

Интерпретация ключевых коэффициентов модели выживаемости

В этой части представлены результаты применения модели Соx РН, направленные на оценку факторов, влияющих на вероятность разрыва цепочек поставок, HR (Hazard Ratio) – отношение рисков.

Для оценки качества подгонки модели используется индекс согласованности (Concordance Index, C-Index), который варьируется от 0 до 1. Чем ближе значение C-Index к 1, тем выше предсказательная способность

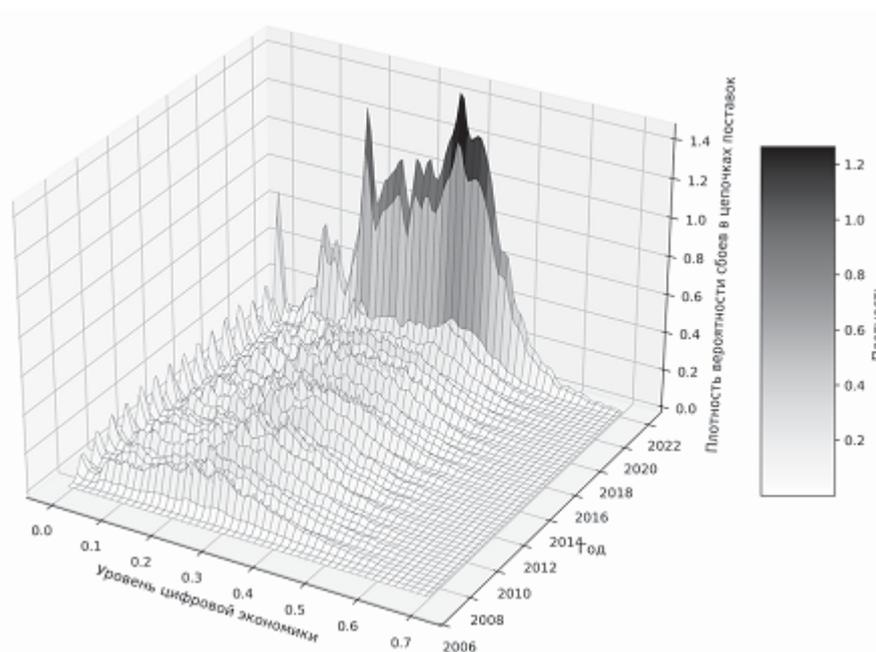


Рис. 4. Плотности вероятности разрывов в цепочках поставок (в пространстве DIG x год)
 Источник. Авторская разработка.

модели. В данном исследовании C-Index составляет 0,636, что подтверждает достоверность модели. В табл. 4 представлены коэффициенты модели Кокса, отражающие влияние цифровой экономики, торговых соглашений и других факторов на вероятность разрыва цепочек поставок.

Основные результаты:

1. Средний уровень цифровой экономики (Average DIG): коэффициент регрессии составляет -1,78, что является статистически значимым отрицательным значением. Это указывает на то, что повышение уровня цифровой экономики значительно снижает риск разрыва цепочек поставок. HR составляет 0,17, что означает снижение риска разрыва примерно на 83%. Это подчеркивает важную роль цифровой экономики в повышении устойчивости цепочек поставок.

2. Индекс торговых соглашений (Trade Agreement Score): коэффициент регрессии равен -0,021, а HR составляет 0,98, что указывает на то, что увеличение индекса на единицу снижает риск разрыва цепочек поставок примерно на 2%. Однако этот эффект относительно слаб и требует сочетания с другими мерами для достижения значительных результатов.

3. Географическое расстояние (Distance): коэффициент регрессии равен 0,78, что является положительным значением. Это показывает, что увеличение географического расстояния между странами значительно повышает риск разрыва цепочек поставок. HR составляет 2,19, что означает увеличение риска разрыва примерно на 119% на каждую дополнительную единицу расстояния.

4. Социальная связанность (Social Connection): коэффициент регрессии составляет 0,39, а HR - 1,48. Это указывает на то, что повышение социальной связанности увеличивает риск разрыва цепочек поставок. Такой неожиданный результат может быть связан с чрезмерной зависимостью от ограниченного числа торговых партнеров или неэффективным распределением ресурсов.

5. Средний ВВП (Average GDP): коэффициент регрессии составляет -3,61, а HR равен 0,027. Это показывает, что между странами с более высоким ВВП риск разрыва цепочек поставок значительно ниже, что может быть связано с наличием более сильной экономической базы и более широкой производственной структуры.

6. Средний ВВП на душу населения (Average GDP per capita): коэффициент

Таблица 4

Результаты применения метода анализа выживаемости

Переменная	Коэффициент регрессии	HR Cox	Нижний 95% HR	Верхний 95% HR	P-значение
Средний уровень цифровой экономики (Average DIG)	-1,78	0,17	-1,77	-1,75	0,0
Индекс торговых соглашений (Trade Agreement Score)	-0,021	0,98	-0,02	-0,08	0,0
Географическое расстояние (Distance)	0,78	2,2	0,78	0,79	0,0
Социальная связанность (Social Connection)	0,39	1,48	0,33	0,46	0,0
Средний ВВП (Average GDP)	-3,61	0,03	-3,63	-3,58	0,0
Средний ВВП на душу населения (Average GDP per capita)	-0,06	0,95	-0,06	-0,05	0,0
Политическая нестабильность (Unstable Political Factors)	0,87	2,39	0,87	0,88	0,0
Общее количество наблюдений	21 530 700				
Количество событий	5 005 310				
Правоцензурировано	16 525 390				

Примечание. «Общее количество наблюдений» – строки панели «эпизод-год» (включая правоцензурированные наблюдения; единица времени – год); «Количество событий» – число случаев, когда переменная Disrupt = 1. Для модели Cox использована 10%-ная случайная подвыборка сводной панели: N = 21 530 700, событий – 5 005 310 (правоцензурировано – 16 525 390). Оценивание с регуляризацией (penalizer = 0,1), базовая функция риска – Брезлоу; связки обработаны методом Эфрона.

регрессии равен $-0,057$, а HR составляет $0,94$. Это указывает на то, что повышение уровня ВВП на душу населения снижает риск разрыва цепочек поставок, хотя эффект относительно слабый.

7. Политическая нестабильность (Unstable Political Factors): коэффициент регрессии равен $0,87$, а HR составляет $2,39$, что указывает на то, что политическая нестабильность, включая угрозы терроризма, политическую нестабильность, неэффективность правовой системы и коррупцию, значительно увеличивает риск разрыва цепочек поставок.

Результаты применения модели ускоренного времени отказа

В данном исследовании для модели ускоренного времени отказа (AFT) использовано распределение Вейбулла (Weibull distribution), которое является одним из наиболее распространенных распределений в анализе выживаемости. Оно позволяет моделировать вероятность разрыва цепочек поставок во времени, учитывая как ускорение, так и замедление данного процесса. Использование этого

распределения позволяет более точно оценить влияние цифровой экономики, торговых соглашений и других факторов на срок существования цепочек поставок. Качество подгонки модели AFT оценивается с помощью критерия информационной энтропии Акаике (AIC, Akaike Information Criterion). Более низкие значения AIC указывают на лучшую подгонку при разумной сложности модели. В нашем исследовании AIC модели Weibull AFT составляет $5,1.10^7$, что свидетельствует о ее стабильности и точности при анализе продолжительности существования цепочек поставок. В табл. 5 представлены коэффициенты модели, демонстрирующие эти взаимосвязи.

Основные результаты:

1. Средний уровень цифровой экономики (Average_DIG): коэффициент регрессии составляет $0,0072$, что указывает на то, что повышение уровня цифровой экономики способствует увеличению продолжительности существования цепочек поставок. HR равно $1,007$, что подтверждает: чем выше уровень цифровизации, тем дольше сохраняются цепочки поставок.

Таблица 5

Результаты применения модели ускоренного времени отказа

Переменная	Коэффициент Вейбулла (β)	HR Weibull	Нижний 95% HR	Верхний 95% HR	P-значение
Средний уровень цифровой экономики (Average_DIG)	0,0072	1,007	0,007	0,007	0,0
Индекс торговых соглашений (Trade_Agreement_Score)	-0,0002	1	-0,0002	-0,0002	0,0
Географическое расстояние (Distance)	-0,003	1	-0,003	-0,003	0,0
Социальная связанность (Social_Connection)	0,001	1,001	0,0006	0,001	0,0
Средний ВВП (Average_GDP)	0,012	1,012	0,012	0,012	0,0
Средний ВВП на душу населения (Average_GDP_per_capita)	-0,001	1	-0,001	-0,0009	0,0
Политическая нестабильность (Unstable Political Factors)	-0,002	1	-0,002	-0,0018	0,0
Базовый уровень риска (Intercept for Baseline Hazard)	7,61	2021,56			0,0
Интервал времени (Intercept for Time Scale)	6,09	440,52			0,0
Общее количество наблюдений	2 000 000				
Количество событий	465 116				

Примечание. «Общее количество наблюдений» – строки панели «эпизод–год» (включая правозензурированные наблюдения; единица времени – год); «Количество событий» – число случаев, когда переменная Disrupt = 1. Оценивание модели Weibull AFT выполнено на случайной подвыборке $N = 2\,000\,000$ из сводной панели ($N = 215\,306\,928$) по соображениям вычислительной нагрузки.

2. Индекс торговых соглашений (Trade_Agreement_Score): коэффициент регрессии равен $-0,0002$, что указывает на то, что увеличение индекса торговых соглашений может незначительно увеличить продолжительность цепочек поставок. HR равен $0,999$, эффект статистически значим, но относительно слабый.

3. Географическое расстояние (Distance): коэффициент регрессии равен $-0,0028$, что указывает на то, что увеличение географического расстояния сокращает продолжительность цепочек поставок. HR равен $0,997$, что согласуется с риском разрыва цепочек, связанным с увеличением расстояния.

4. Социальная связанность (Social_Connection): коэффициент регрессии равен $0,0008$, что свидетельствует о незначительном положительном влиянии социальной связанности на продолжительность цепочек поставок. HR равен $1,001$, эффект небольшой, но статистически значимый.

5. Средний ВВП (Average_GDP): коэффициент регрессии составляет $0,0118$, что указывает на то, что увеличение среднего экономического масштаба торговой группы способствует увеличению продолжительности цепочек поставок. HR равен $1,012$, что подтверждает положительное влияние совокупной экономической мощности группы стран.

6. Средний ВВП на душу населения (Average_GDP_per_capita): коэффициент регрессии равен $-0,0010$, что свидетельствует о том, что рост ВВП на душу населения немного сокращает продолжительность цепочек поставок. HR равен $0,999$. Это может быть связано с особенностями экономических моделей стран с высоким уровнем дохода.

7. Политическая нестабильность (Unstable Political Factors): коэффициент регрессии равен $-0,0018$, что указывает на то, что политическая нестабильность сокращает продолжительность цепочек поставок. HR равен $0,998$, что свидетельствует о негативном влиянии политической нестабильности.

8. Параметры модели:

- Базовый уровень риска (Intercept for Baseline Hazard): значение равно $7,61$, что представляет собой базовый уровень продолжительности цепочек поставок при от-

сутствии влияния объясняющих переменных.

- Интервал времени (Intercept for Time Scale): значение равно $6,09$, что отражает временные пропорции и характеристики распределения модели.

Итоги эмпирических результатов и политические импликации

Опираясь на панельный дизайн «событие–год», исследование комбинирует модели Cox PH и Weibull AFT, тем самым фиксируя двойственную перспективу «риск–время». Модель Кокса отвечает на вопрос о том, какие факторы и в какой степени изменяют мгновенный риск разрыва цепочки поставок, тогда как модель Вейбулла показывает, как эти факторы воздействуют на среднюю продолжительность ее существования. Согласованность направлений эффектов в обеих моделях повышает интерпретируемость и надежность выводов.

Ключевые эмпирические выводы (по переменным)

1. Цифровая экономика как системный фактор «снижения риска и удлинения срока».

Рост среднего уровня цифровизации торговой пары (Average_DIG) сопровождается значимым понижением риска разрыва ($HR \approx 0,17$; снижение порядка 83%) и одновременно увеличением ожидаемой длительности цепочки ($\beta \approx 0,0072$ в AFT). Консистентность результатов в обеих спецификациях подтверждает тезис о цифровизации как базовом источнике устойчивости.

2. Экономический масштаб и покупательная способность как «базовая подушка».

Более высокий средний ВВП (Average_GDP) связан со статистически значимым снижением риска ($HR \approx 0,03$), тогда как ВВП на душу населения демонстрирует умеренный, но стабильный «сглаживающий» эффект. Механизм – через емкость рынка, платеже-способный спрос и расширенное поле замен.

3. Дистанция и геотранспортные издержки как «усилитель уязвимости».

Географическая удаленность повышает риск разрыва ($HR \approx 2,2$) и сокращает ожидаемую продолжительность цепочки (отрицательный коэффициент в AFT), отражая рост совокупных транзакционных

издержек (логистика, страхование, комплаенс, сроки) в санкционном режиме.

4. Глубина торговых соглашений как «регуляторный демпфер».

Показатель глубины соглашения (Trade_Agreement_Score) оказывает небольшой, но статистически значимый эффект снижения риска ($HR \approx 0,98$), указывая на роль координации правил (таможня, происхождение, взаимное признание стандартов) и на «регуляторную страховку» расчетных альтернатив.

5. Социальная связанность как фактор двойственной природы.

Индекс социальной связанности в модели Кокса положительно коррелирует с риском ($HR \approx 1,48$), тогда как в AFT оказывает лишь слабое положительное влияние на длительность. Интерпретация: высокая связанность при сетевой концентрации может усиливать экспозицию к внешним шокам в краткосрочном горизонте, но в долгосрочном – поддерживать инерцию кооперации и сохранение отношений.

Механизмы: от «факторы–отношения–пространство» к операционализации

Факторы (технологический контур). Цифровые платежи, трансграничная электронная коммерция и прослеживаемость (включая блокчейн) повышают наблюдаемость и комплаенс-замещаемость, синхронизируя связку «информация–расчеты–логистика» и обеспечивая быстрый обход узких мест и восстановление звеньев (консистентно с эффектом Average_DIG).

Отношения (регуляторно институциональный контур). Крупные рынки (Average_GDP) абсорбируют шоки за счет большей емкости и пространства замены; более глубокие соглашения снижают регуляторное трение в узлах «таможня–стандарты–расчеты».

Пространство (транспортно-сетевой контур). В санкционном режиме наклон функции «дистанция–риск» возрастает; комбинация «маршрутные замены + перестройка сети» (альтернативные восточные/южные направления, мультимодальные коридоры) необходима для нейтрализации усиленного дистанционного эффекта.

Политические импликации по уровням

1. Государство/регион.

- Развивать цифровую инфраструктуру как базу устойчивости: масштабирование электронного документооборота, цифровых расчетов и платформ риск-менеджмента; первоочередной перевод высокочастотных/высокостоимостных потоков в цифровые каналы для обеспечения наблюдаемости, верифицируемости и расчетной завершенности.

- Усиливать связку «соглашения–платформы»: увеличивать глубину процедур (взаимное признание правил происхождения, таможенная координация), сопрягая их с цифровыми «пограничными» сервисами (e-customs, «единое окно») и трансграничным управлением данными.

- Оптимизировать пространственную архитектуру: диверсифицировать маршруты и выстраивать мультимодальные коридоры (ж/д–авто–порт), формируя дифференцированную конфигурацию с «ближним стабильным» и «дальним эластичным» контурами.

2. Отрасли/предприятия.

- Двухконтурное управление цепями поставок: технологический контур (блокчейн и IoT для прослеживаемости, раннего предупреждения и формирования доказательной базы комплаенса) и контур конфигурации, в котором реализуется стратегия, управляемая данными типа «много поставщиков – много складов – много коридоров», ориентированная на наращивание резервов и трансформируемости.

- «Барбелл-конфигурация» партнеров и рынков: сочетать углубление присутствия на крупных платежеспособных рынках (масштабная «подушка») с портфелем альтернативных, регуляторно совместимых партнеров для снижения риска сетевой концентрации и совместного резонанса.

Устойчивость результатов и ограничения

Ключевые направления эффектов стабильны в обеих моделях (Average_DIG – «снижение риска и удлинение срока», Distance – «рост риска и сокращение срока», GDP – «снижение риска и удлинение срока»), что усиливает доверие к выводам. Вместе с тем двойственная динамика социальной связанности требует дальнейшей стратификации по концентрации сети и

path-dependence. Период исследования (2007–2022 гг.) подразумевает необходимость последующего обновления и расширения моделей для учета технологических сдвигов и эволюции санкционной среды.

* * *

Проведенное исследование подтвердило, что устойчивость глобальных цепочек поставок в условиях санкционного давления формируется не отдельными изолированными факторами, а их структурной конфигурацией. Результаты моделей выживаемости (Cox) и ускоренного времени отказа (AFT) выявили пять ключевых направлений, оказывающих системное влияние на вероятность разрыва и продолжительность торговых связей: уровень цифрового развития, масштаб рынков, глубина соглашений, географическая удаленность и социальная связанность. Их совместное воздействие формирует институционально-технологический контур, в рамках которого происходит адаптация.

Методологически работа предлагает двойной аналитический подход, позволяющий разложить устойчивость на две взаимосвязанные оси – «риск» и «время». Использование моделей Cox и AFT обеспечивает надежную интерпретацию в условиях высокой неопределенности и усиливает применимость результатов для стран с разным уровнем экономического развития. Кроме того, операционализация политик через наблюдаемые переменные (Average_DIG, Average_GDP, Trade_Agreement_Score и др.) обеспечивает воспроизводимость и расширяемость модели.

С практической точки зрения полученные выводы формируют три приоритетных направления стратегического реагирования:

- развитие цифровых инструментов прослеживаемости, расчетов и документооборота как базового механизма устойчивости;
- углубление институциональных соглашений и сопряжение их с платформенными решениями (например, «единое окно» и e-customs);
- пространственная перенастройка маршрутов и конфигураций поставок в сторону многоконтурной, диверсифицированной логистики.

Совокупность этих направлений позволяет рассматривать устойчивость не как временную адаптацию к внешнему шоку, а как новую норму управления глобальными цепочками поставок. Для Беларуси и России это означает переход от реактивных мер к институциональному режиму устойчивого сопряжения – через цифровые платформы, согласованные правила и гибкую географию поставок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

Гао Цзисян. 2024. Укрепление технологического суверенитета России в контексте конкуренции крупных держав в научно-технологической сфере: практика и выводы. *Россия, Восточная Европа и Центральная Азия*. Т. 1 (14). С. 93–114. [Gao Jixiang. 2024. Russia's Strengthening of Technological Sovereignty under the Background of Science and Technology Competition among Great Powers: Practice and Enlightenment. *Russian, East European & Central Asian Studies*. 2024. Vol. 1 (14). PP. 93–114. (In Chin.)] URL: <https://ouyj-oys.ajcass.com/Magazine/Show?id=89846>

Гулягина О.С. 2022. Цифровая трансформация цепей поставок в современных условиях изменяющейся внешней среды. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D*. № 12. С. 16–19. [Gulyagina O.S. 2022. Digital Transformation of Supply Chains under the Changing External Environment. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D*. No 12. PP. 16–19. (In Russ.)] DOI: 10.52928/2070-1632-2022-62-12-16-19

Железняк М.Н., Сериков С.И., Шац М.М. 2021. Современный этап создания ГТС «Сила Сибири-2»: проблемы и перспективы. *Экономика и управление национальным хозяйством*. № 9 (11А). С. 367–373. [Zheleznyak M.N., Serikov S.I., Shats M.M. 2021. The Current Stage of the Power of Siberia-2 Gas Transmission System Project: Problems and Prospects. *Ekonomika i upravlenie natsional'nyim khozyaystvom*. No 9 (11A). PP. 367–373. (In Russ.)] DOI: 10.34670/AR.2020.93.11.038

Изотов Д.А., Мешкова Т.А., Теплов Е.В. 2022. Валютная дедолларизация в России и Белоруссии: институциональные условия и практика перехода. *Финансы и кредит*. Т. 28. № 10. С. 2183–2202. [Izotov D.A., Meshkova T.A., Teplov E.V. 2022. Currency Dedollarization in Russia and Belarus: Institutional Conditions and Transition Practices. *Finansy i kredit*. Vol. 28. No 10. PP. 2183–2202. (In Russ.)]

Кругликов С.В., Касанин С.Н., Бондоловский А.М. 2024. Основные направления разви-

тия интеллектуальных технологий в ОИПИ НАН Беларуси: теория и практика вопроса. X Междунар. науч.-практ. конф. «BIG DATA и анализ высокого уровня. BIG DATA and Advanced Analytics». Республика Беларусь, Минск, 13 марта 2024 г. С. 1–9. [Kruglikov S.V., Kasanin S.N., Bondolovskiy A.M. 2024. Key Directions in the Development of Intelligent Technologies at the United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus: Theoretical and Practical Aspects. X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «BIG DATA i analiz vysokogo urovnya. BIG DATA and Advanced Analytics». Republic of Belarus, Minsk, March 13, 2024. PP. 1–9. (In Russ.)]

Порхачёв С.К. 2023. Цифровая трансформация российских банков в условиях санкций. *Финансы и кредит: от адаптации к устойчивому росту*. С. 1141–1144. [Porhachev S.K. 2023. Digital Transformation of Russian Banks under Sanctions. *Finance and Credit: From Adaptation to Sustainable Growth*. PP. 1141–1144. (In Russ.)]

Салтукович Н.О., Алексеева Е.А. 2024. Цифровая платформа для управления цепями поставок в неокластерах. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 2 (48). С. 140–153. [Saltukovich N.O., Alekseeva E.A. 2024. Digital Platform for Supply Chain Management in Neoclusters. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. No 2 (48). PP. 140–153. (In Russ.)] DOI: 10.24412/2079-7958-2024-2-140-153

Силаева В.А. 2021. Эффективность санкций в международной политике. *Вестник МГИМО-Университета*. № 14 (4). С. 136–153. [Silaeva V.A. 2021. Effectiveness of Sanctions in International Politics. *MGIMO Review of International Relations*. No 14 (4). PP. 136–153. (In Russ.)] DOI: 10.24833/2071-8160-2021-4-79-136-153

Сун Ц. 2021. Российско-китайское финансовое сотрудничество: возможность крупномасштабного углубления. *Вестник Евразийской науки*. Т. 13. № 5. [Song C. 2021. Russian-Chinese Financial Cooperation: The Possibility of Large-Scale Deepening. *Vestnik Evraziyskoy nauki*. Vol. 13. No 5. (In Russ.)] DOI: 10.15862/38ECVN521

Третьякова Г.В., Казаченко А.А., Льюнг Н.Л.В. 2022. Перспективы использования национальных валют в международных расчетах с участием России и Китая. *Вестник Томского государственного университета. Экономика*. № 58. С. 190–207. [Tretyakova G.V., Kazachenko A.A., Lyyung N.L.V. 2022. Prospects for the Use of National Currencies in International Settlements Involving Russia and China. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*. No 58. PP. 190–207. (In Russ.)] DOI: 10.17223/19988648/58/12

Тянь Шиюй. 2023. Влияние санкций государств Запада на экономическое развитие Республики Беларусь: современные тенденции. *Теории и проблемы политических исследований*. Т. 12. № 5А–6А. С. 32–42. [Tian Shiyu. 2023. The Impact of Western Sanctions on the Economic Development of the Republic of Belarus: Current Trends. *Teorii i problemy politicheskikh issledovaniy*. Vol. 12. No 5A–6A. PP. 32–42. (In Russ.)] DOI: 10.34670/AR.2023.47.17.006

Хасанов И.Ш. 2024. Развитие евразийской экономической дипломатии в условиях санкций. *Вестник экономики, права и социологии*. № 3. С. 327–330. [Khasanov I.Sh. 2024. Development of Eurasian Economic Diplomacy Under Sanctions. *Vestnik ekonomiki, prava i sotsiologii*. No. 3. PP. 327–330. (In Russ.)] DOI: 10.24412/1998-5533-2024-3-327-330

Ху Минцзюнь, Устинович И.В. 2023. Экономическое сотрудничество между Китаем и Беларусью: состояние и перспективы развития (опыт китайско-белорусского индустриального парка «Великий камень»). *Journal of International Law and International Relations*. № 2 (105). С. 56–62. [Hu Minjun, Ustinovich I.V. 2023. Economic Cooperation Between China and Belarus: Current State and Development Prospects (Case of the China–Belarus Industrial Park «Great Stone»). *Journal of International Law and International Relations*. No 2(105). PP. 56–62. (In Russ.)]

Хуэй Ч., Чжай Я., Карачун И.А. 2024. Эмпирический анализ пространственного эффекта перелива инновационной производительности экономики стран Шелкового пути под влиянием цифровых технологий. *Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 5. Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія*. Т. 14. № 1. С. 18–32. [Chang Hui, Zhai Yanyan, Karachun I.A. 2024. Empirical Analysis of the Spatial Spillover Effect of Innovation Productivity in the Silk Road Countries under the Influence of Digital Technologies. *Vestnik Grodzenskaga dzyarhzaunaga universiteta imya Yanki Kupaly. Seryya 5. Ekanomika. Satsiyalogiya. Biyalogiya*. Vol. 14. No 1. PP. 18–32. (In Russ.)]

Abadi M.Q.H., Sadeghi R., Hajian A., Shahvari O., Ghasemi A. 2024. A Blockchain-Based Dynamic Energy Pricing Model for Supply Chain Resiliency Using Machine Learning. *Supply Chain Analytics*. Vol. 6. Article No 100066. DOI: 10.1016/j.sca.2024.100066

Astrov V., Teti F., Scheckenhofer L., Semelet C. 2024. *Are Western Trade Sanctions Effective?* Vienna: Vienna Institute for International Economic Studies (wiiw). URL: <https://wiiw.ac.at/are-western-trade-sanctions-effective-dlp-6981.pdf>

Christopher M., Peck H. 2004. Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of*

- Logistics Management*. Vol. 15. No 2. PP. 1–14. DOI: 10.1108/09574090410700275
- Emrouznejad A., Abbasi S., Sicakyüz Z.** 2023. Supply Chain Risk Management: A Content Analysis-Based Review of Existing and Emerging Topics. *Supply Chain Analytics*. Vol. 3. Article No 100031. DOI: 10.1016/j.sca.2023.100031
- Fawcett S.E., Magnan G.M., McCarter M.W.** 2008. Three-Stage Implementation Model for Supply Chain Collaboration. *Journal of Business Logistics*. Vol. 29. No 1. PP. 93–112. DOI: 10.1002/j.2158-1592.2008.tb00070.x
- Galtung J.** 1967. On the Effects of International Economic Sanctions, with Examples from the Case of Rhodesia. *World Politics*. Vol. 19. No 3. PP. 378–416. DOI: 10.2307/2009785
- Hazen B.T., Skipper J.B., Ezell J.D., Boone C.** 2016. Big Data and Predictive Analytics for Supply Chain Sustainability: A Theory-Driven Research Agenda. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 101. PP. 592–598. DOI: 10.1016/j.cie.20160630
- Hufbauer G.C., Schott J.J., Elliott K.A.** 2009. *Economic Sanctions Reconsidered*. 3rd ed. Washington, DC: Peterson Institute for International Economics. URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:ii:epress:4129>
- Hufbauer G.C., Schott J.J., Elliott K.A., Oegg B.** 2007. Case 81-1: US Sanctions Against Nicaragua. In: *Economic Sanctions Reconsidered: Case Histories and Data (CD-ROM)*. Washington, DC: Peterson Institute for International Economics.
- Ivanov D.** 2020. Predicting the Impacts of Epidemic Outbreaks on Global Supply Chains: A Simulation-Based Analysis on the Coronavirus Outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) Case. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Vol. 136. Article ID 101922. DOI: 10.1016/j.tre.2020.101922
- Ivanov D., Dolgui A.** 2020. Viability of Intertwined Supply Networks: Extending the Supply Chain Resilience Angles Towards Survivability. *International Journal of Production Research*. Vol. 58. No 10. PP. 2904–2915. DOI: 10.1080/00207543.2020.1750727
- Ivanov D., Sokolov B.** 2010. *Adaptive Supply Chain Management*. London: Springer. DOI: 10.1007/978-1-84882-952-7
- Barykin S., Zhang W., Dinets D., Nechevsov A., Didenko N., Skripnuk, D., Kalinina O., Kharlamova T., Kharlamov A., Teslya A., et al.** 2025. Designing a Russian Chinese Omnichannel Logistics Network for the Supply of Bioethanol. *Sustainability*. Vol. 17 (17). 7968. DOI: 10.3390/su17177968
- Kosowska K., Kosowski P.** 2024. Belarusian Economy in the Face of Western Sanctions [Version 2; peer review: 1 approved, 2 approved with reservations]. *Stosunki Międzynarodowe – International Relations*. 4(2). DOI: 10.12688/stomiedintrelat.17740.2
- Liu Y., Feng T., Xi M., Fang W.** 2024. Blockchain Technology Adoption and Supply Chain Resilience: Exploring the Role of Transformational Supply Chain Leadership. *Supply Chain Management: An International Journal*. No 4 (2). DOI: 10.1108/SCM-08-2023-0390
- Malhotra A., Gosain S., El Sawy O.A.** 2005. Absorptive Capacity Configurations in Supply Chains: Gearing for Partner-Enabled Market Knowledge Creation. *MIS Quarterly*. Vol. 29. No 1. PP. 145–187. DOI: 10.2307/25148671
- Pathak S.D., Day V.M., Nair A., Sawaya W., Kristal M.Murat** 2007. Complexity and Adaptivity in Supply Networks: Building Supply Network Theory Using a Complex Adaptive Systems Perspective. *Decision Sciences*. No 38 (4). PP. 547–580. DOI: 10.1111/j.1540-5915.2007.00170.x
- Patrucco A.S., Marzi G., Trabucchi D.** 2023. The Role of Absorptive Capacity and Big Data Analytics in Strategic Purchasing and Supply Chain Management Decisions. *Technovation*. Vol. 126. Article No 102814. DOI: 10.1016/j.technovation.2023.102814
- Pettit T.J., Fiksel J., Croxton K.L.** 2010. Ensuring Supply Chain Resilience: Development of a Conceptual Framework. *Journal of Business Logistics*. Vol. 31. No 1. PP. 1–21. DOI: 10.1002/j.2158-1592.2010.tb00125.x
- Ponis S.T., Koronis E.** 2012. Supply Chain Resilience: Definition of Concept and Its Formative Elements. *Journal of Applied Business Research (JABR)*. Vol. 28. No 5. PP. 921–930. DOI: 10.19030/jabr.v28i5.7234
- Queiroz M.M., Wamba S.F., Jabbour C.J.C., Machado M.C.** 2022. Supply Chain Resilience in the UK During the Coronavirus Pandemic: A Resource Orchestration Perspective. *International Journal of Production Economics*. Vol. 245. 108405. DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108405
- Saberi S., Kouhizaden M., Sarkis J., Shen L.** 2019. Blockchain Technology and Its Relationships to Sustainable Supply Chain Management. *International Journal of Production Research*. Vol. 57 (7). PP. 2117–2135. DOI:10.1080/00207543.2018.1533261
- Scott D.W.** 2015. *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. John Wiley & Sons. 384 p.
- Sterman, J.D.** 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill. 29 p.
- Sukhodolia O.** 2019. Sanctions: Impacts on the Russian Energy Sector. *Black Sea Security*. Vol. 2. No 38. PP. 65–73. <https://www.researchgate.net/publication/35938258>
- Tang C.S.** 2006. Perspectives in Supply Chain Risk Management. *International Journal of Production*

Economics. Vol. 103. No 2. PP. 451–488. DOI: 10.1016/j.ijpe.2005.12.006

Teodorescu M., Korchagina E. 2021. Applying Blockchain in the Modern Supply Chain Management: Its Implication on Open Innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. Vol. 7. No 1. P. 80. DOI: 10.3390/joitmc7010080

Tirkolaee E.B., Sadeghi S., Mooseloo F.M., Rezaei Vandchali H., Aeini S. 2021. Application of Machine Learning in Supply Chain Management: A Comprehensive Overview of the Main Areas. *Mathematical Problems in Engineering*. Vol. 2021. Article ID 1476043. DOI: 10.1155/2021/1476043

Wang M., Childerhouse P., Abareshi A. 2024. Global Logistics and Supply Chain Integration in the Digital Era: A Focus on China's Belt and Road Initiative. *Journal of International Logistics and Trade*. Vol. 22. No 2. PP. 58–79. DOI: 10.1108/JILT-03-2023-0018

Wieland A., Wallenburg C.M. 2013. The Influence of Relational Competencies on Supply Chain Resilience: A Relational View. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. 43. No 4. PP. 300–320. DOI: 10.1108/IJPDLM-08-2012-0243

RESILIENCE AND OPTIMIZATION OF SUPPLY CHAINS IN BELARUS AND RUSSIA UNDER SANCTIONS

Chang Hui¹ (<https://orcid.org/0000-0001-6314-9636>),
Luo Wei² (<https://orcid.org/0009-0002-6425-0909>),
Irina Karachun³ (<https://orcid.org/0000-0002-0312-5064>)

¹ Belarusian State University (Minsk, Belarus)

² Liaoning University, School of Economics (Shenyang, China)

³ Belarusian State University (Minsk, Belarus)

Corresponding author: I.A. Karachun (karachun@bsu.by).

ABSTRACT. The article examines the drivers of bilateral supply-chain resilience between Belarus and Russia in the context of sanctions and geopolitical turbulence. Drawing on HS 6 bilateral trade microdata for the period 2007–2022, structured as an exporter–importer–product–year panel, the study defines disruption events and applies survival analysis using Cox proportional hazards and Weibull accelerated failure time models. The results show that a composite digital-economy index significantly reduces the instantaneous hazard of supply-chain disruption (hazard ratio H^* 0.17) and increases expected chain duration, as indicated by a positive AFT coefficient. A larger economic scale of the trading pair is associated with lower disruption risk, while greater geographical distance increases vulnerability. Social connectedness displays time-dependent effects across the two survival frameworks. The findings are robust across model specifications and point to key policy priorities, including logistics digitalisation (digital corridors, end-to-end documentation and platform coordination) and diversification of trade channels. These results have implications for both public policy design and corporate risk management strategies.

KEYWORDS: digital economy, supply chain, sanctions, resilience, survival model.

JEL-code: F14, F17, F18.

DOI: 10.46782/1818-4510-2025-4-133-151

Received 14.07.2025

In citation: Chang Hui, Luo Wei, Karachun I. 2025. Resilience and Optimization of Supply Chains in Belarus and Russia under Sanctions. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*. No 4. PP. 133–151. DOI: 10.46782/1818-4510-2025-4-133-151 (In Russ.)

