

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2026-25-3-262-270>

УДК 656

Модель стратегической адаптации цепочек поставок и рекомендации по их развитию и адаптации в условиях экономической неопределенности

Магистр П. Д. Капский¹⁾, докт. техн. наук, проф. О. Н. Ларин²⁾,
докт. экон. наук, проф. М. К. Жудро¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Российский университет транспорта (Москва, Российская Федерация)

Реферат. Актуальность исследований в области отказоустойчивости, или жизнестойкости (resilience), цепочек поставок резко возросла под влиянием глобальных кризисов, таких как пандемия COVID-19, геополитическая напряженность и климатические изменения. В статье рассмотрены отдельные вопросы практического применения методологии количественной оценки отказоустойчивости цепочек поставок с учетом транспортно-логистической деятельности. Разработана модель стратегической адаптации, которая является логическим завершением разработки целостной методологии QSCR, превращая ее из инструмента пассивного анализа в активный инструмент проактивного управления. Она позволяет компаниям количественно оценивать и сравнивать различные сценарии развития своих цепей поставок, экономически обосновывать инвестиции в повышение надежности и цифровизацию, перейти от режима «тушения пожаров» к системному управлению рисками, что является фактором выживания и конкурентоспособности в условиях новой экономической реальности. Внедрение данного подхода на уровне предприятий Республики Беларусь и ЕАЭС позволит повысить устойчивость их бизнес-моделей, снизить зависимость от внешних шоков и укрепить их позиции в региональных и глобальных цепях создания стоимости. Разработаны практические рекомендации, сгруппированные по трем уровням: корпоративному, отраслевому (в рамках ЕАЭС) и национальному.

Ключевые слова: цепи поставок, проактивное управление отказоустойчивостью, транспорт, транспортно-логистическая деятельность, адаптация, модель, ЕАЭС, методология QSCR

Для цитирования: Капский, П. Д. Модель стратегической адаптации цепочек поставок и рекомендации по их развитию и адаптации в условиях экономической неопределенности / П. Д. Капский, О. Н. Ларин, М. К. Жудро // *Наука и техника*. 2026. Т. 25, № 3. С. 262–270. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2026-25-3-262-270>

A Model for Strategic Adaptation of Supply Chains and Recommendations for Their Development and Adaptation in Conditions of Economic Uncertainty

P. D. Kapski¹⁾, O. N. Larin²⁾, M. K. Zhudro¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Russian University of Transport (Moscow, Russian Federation)

Abstract. The relevance of research in the field of supply chain resilience has increased dramatically due to global crises such as the COVID-19 pandemic, geopolitical tensions and climate change. The article examines specific aspects of practical application of the methodology for quantitative assessment of the fault tolerance of supply chains, taking into account transport

Адрес для переписки

Жудро Михаил Кириллович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-92-06
eut_atf@bntu.by

Address for correspondence

Zhudro Mihail K.
Belarusian National Technical University
12, Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-92-06
eut_atf@bntu.by

and logistics activities. A strategic adaptation model has been developed, which logically completes the development of a comprehensive QSCR methodology, transforming it from a passive analysis tool into an active tool for proactive management. It allows companies to quantify and compare various scenarios for the development of their supply chains; economically justify investments in improving reliability and digitalization; and move from a “firefighting” mode to systematic risk management, which is a factor in survival and competitiveness in the new economic reality. The implementation of this approach at the level of enterprises in the Republic of Belarus and the EAEU will improve the resilience of their business models, reduce their dependence on external shocks, and strengthen their position in regional and global value chains. Practical recommendations have been developed, grouped into three levels: corporate, industry (within the EAEU), and national.

Keywords: supply chain, proactive fault tolerance management, transport, transport and logistics activities, adaptation, model, EAEU, QSCR methodology

For citation: Kapski P. D., Larin O. N., Zhudro M. K. (2026) A Model for Strategic Adaptation of Supply Chains and Recommendations for Their Development and Adaptation in Conditions of Economic Uncertainty. *Science and Technique*. 25 (3), 262–270 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2026-25-3-262-270>

Введение

Актуальность исследований в области отказоустойчивости, или жизнестойкости (resilience), цепочек поставок резко возросла под влиянием глобальных кризисов, таких как пандемия COVID-19, геополитическая напряженность и климатические изменения [1–2]. В научных публикациях последних лет акцентируется внимание на переходе от традиционных моделей управления рисками, ориентированных на прогнозирование известных угроз, к созданию адаптивных систем, способных противостоять и быстро восстанавливаться после непредвиденных сбоев [3–4]. Значительная часть работ посвящена определению самого понятия «отказоустойчивость цепочек поставок». Большинство авторов сходятся во мнении, что это многогранная способность системы подготовиться к сбоям, адаптироваться, выстоять и восстановиться, вернувшись в исходное или новое, более желаемое состояние. Активно разрабатываются и обсуждаются метрики для количественной оценки отказоустойчивости, включая такие параметры, как время до восстановления, уровень сохранения функциональности и скорость адаптации. Научные труды разделяют стратегии повышения отказоустойчивости на две большие группы. Первая группа – проактивные стратегии (проактивного управления отказоустойчивостью – Supply Chain Resilience, SCR). Они направлены на подготовку к возможным сбоям и включают создание избыточности (резервные запасы мощности, альтернативные поставщики), повышение гибкости (способность быстро изменять маршруты, виды

транспорта, конфигурацию сети) и обеспечение прозрачности (visibility) всей цепи поставок. Вторая – реактивные стратегии, которые фокусируются на быстром и эффективном реагировании на уже произошедшие сбои. Ключевыми элементами здесь являются скорость реакции, эффективная коммуникация и совместная работа всех участников цепи [5–6]. Ряд исследователей отмечают ведущую роль цифровых технологий. Цифровизация является центральной темой в современных исследованиях. Технологии, такие как искусственный интеллект, Интернет вещей (IoT), блокчейн и облачные вычисления, рассматриваются как критически важные инструменты для повышения отказоустойчивости. Они позволяют улучшить прогнозирование, обеспечить прозрачность цепи поставок в реальном времени, автоматизировать принятие решений и повысить надежность информационных потоков [7–9]. В некоторых исследованиях широко применяются методы математического и имитационного моделирования для анализа поведения транспортно-логистических систем в условиях стресса. Эти модели помогают оценить уязвимые места, протестировать различные стратегии реагирования и оптимизировать конфигурацию цепочки поставок для достижения баланса между эффективностью и надежностью [10–12]. Научная мысль рассматривает отказоустойчивость не как разовую меру, а как динамическую способность, интегрированную во все аспекты управления транспортно-логистическими системами. Основной фокус смещается с минимизации затрат на обеспечение непрерывности и адаптивности бизнес-процессов. Исследова-

ния подчеркивают, что инвестиции в гибкость, прозрачность и цифровые технологии являются ключевым фактором для выживания и конкурентоспособности компаний в условиях растущей неопределенности глобальной среды. На основе данных подходов разработана методология количественной оценки отказоустойчивости цепочек поставок (quantitative supply chain resilience, далее – QSCR) [13–14].

Концептуальные основы модели адаптации

Классические подходы к управлению цепями поставок (ЦП) часто основываются на статистическом анализе рисков. Предлагаемая модель стратегической адаптации, напротив, использует динамический и прогностический подходы. Ее ядром является разработанная методология QSCR и построенная Марковская модель, которые выступают в роли «цифрового двойника» цепочки поставок [13–14]. Суть модели адаптации заключается в использовании этого «цифрового двойника» для симуляционного анализа «что, если...» (what-if analysis). Модель не просто констатирует текущий уровень отказоустойчивости, но позволяет проактивно моделировать будущее состояние ЦП в результате применения различных управленческих воздействий. Основные задачи, решаемые моделью: оценка эффективности управленческих интервенций (как изменится итоговый показатель отказоустойчивости R , если компания инвестирует в изменение конкретного бизнес-процесса, технологии или структуры ЦП?); экономическое обоснование решений (каков чистый экономический эффект от внедрения различных стратегий повышения надежности, учитывая как затраты на их реализацию, так и прогнозируемое снижение потерь от сбоев?) и выбор оптимальной стратегии (какая из доступных стратегий адаптации обеспечивает наилучшее соотношение «затраты/прирост отказоустойчивости»?).

Алгоритм работы модели адаптации. Модель функционирует как итерационный цикл, состоящий из четырех этапов.

Этап 1 – диагностика и выявление «узких мест». На этом этапе проводится базовый QSCR-анализ существующей цепи поставок.

Действие: строится граф состояний Si , рассчитывается матрица переходных вероятностей P_{ij} на основе исторических данных, вычисляется текущий интегральный показатель отказоустойчивости R .

Результат: получение количественной оценки текущей надежности и точная идентификация самых слабых звеньев – переходов $Si \rightarrow Sj$ с аномально низкой вероятностью успеха или высокой вероятностью перехода в состояние сбоя.

Этап 2 – формулирование альтернативных стратегий (управленческих интервенций). На основе результатов диагностики генерируется пул возможных решений, направленных на усиление «узких мест». Эти стратегии можно классифицировать по типу воздействия:

- операционные: изменение маршрутов, выбор альтернативных перевозчиков, изменение графика поставок;
- технологические: внедрение цифровых систем (TMS, ЭПИ, e-CMR), автоматизация процессов, использование предиктивной аналитики;
- структурные: создание буферных (страховых) запасов, диверсификация поставщиков, перенос части производства;
- финансовые: использование инструментов страхования (Trade Disruption Insurance).

Этап 3 – симуляция и прогностический анализ. Это ядро модели. Для каждой предложенной стратегии экспертным или аналитическим путем оценивается ее влияние на матрицу переходных вероятностей.

Действие: формируются новые, гипотетические матрицы P'_{ij} для каждой стратегии. Например:

- гипотеза 1 (внедрение ЭПИ): вероятность задержки на таможне P (таможня_ОК $\rightarrow$ таможня_сбой) снижается с 0,30 до 0,10;
- гипотеза 2 (создание буферного склада): вводится новое состояние «отгрузка со склада», и вероятность перехода из него в состояние «Доставлено клиенту» принимается равной 0,99.

Расчет: для каждой гипотетической матрицы P'_{ij} заново прогоняется QSCR-алгоритм и рассчитывается новое, прогнозируемое значение отказоустойчивости R' .

Результат: получение количественной оценки прироста отказоустойчивости $\Delta R = R' - R$ для каждой из рассматриваемых стратегий.

Этап 4 – экономическая оценка и принятие решений. Техническая эффективность ΔR сопоставляется с экономическими затратами.

Действие: для каждой стратегии рассчитываются:

- затраты на внедрение (Investment, I): прямые инвестиции, операционные расходы;
- прогнозируемый экономический эффект (Benefit, B) (рассчитывается как снижение ожидаемых потерь). Ожидаемые потери = $(1 - R) \cdot (\text{средняя_стоимость_одного_сбоя})$;
- чистый эффект (Net Benefit, NB) и ROI : $NB = B - I$.

Результат: формируется матрица принятия решений, которая позволяет руководству выбрать оптимальную стратегию, основываясь не на интуиции, а на комплексной оценке технических и экономических показателей.

Иллюстрация работы модели на конкретном примере. Применим алгоритм к предприятиям ОДО «Турбокомпрессор» и ООО «Автодифер».

Этап 1 (диагностика): выявлено: $R = 0,645$. «Узкое место» – пересечение границы ($P_{4,6} = 0,70$).

Этап 2 (стратегии): сформулированы три стратегии: А (смена маршрута), В (внедрение ЭПИ), С (буферный склад).

Этап 3 (симуляция): проведен пересчет R для каждой стратегии, показавший разный прирост отказоустойчивости: $\Delta R (A) = +13,6$ п. п.; $\Delta R (B) = +19,0$ п. п.; $\Delta R (C) = +33,3$ п. п.

Этап 4 (принятие решения): экономический анализ показал, что стратегия В (ЭПИ) имеет наилучшее соотношение «затраты/эффект» и является оптимальным решением для первоочередного внедрения. Стратегия С (буферный склад), несмотря на максимальное техническое улучшение, экономически менее эффективна в краткосрочной перспективе, но может рассматриваться как долгосрочная стратегическая цель.

Методика QSCR наглядно демонстрирует, что проблема является общей для всей цепи поставок. Это стимулирует участников к сотрудничеству, а не к поиску виновных. На основе модели они могут совместно принять решение об инвестициях в общую цифровую

платформу для мониторинга, которая позволит в реальном времени отслеживать статус груза и проактивно реагировать на отклонения, например оперативно перенаправляя транспорт на менее загруженный пограничный переход.

Таким образом, апробация показала, что методика QSCR является не просто теоретической моделью, а практическим инструментом стратегического анализа, позволяющим количественно оценить риски, выявить «узкие места» и принять экономически обоснованные решения по повышению отказоустойчивости транзграничных цепей поставок.

Следует отметить, что методика количественной оценки отказоустойчивости (QSCR) на основе Марковских процессов является универсальным математическим аппаратом [13, 14]. При этом важно учитывать, что в случае наступления аномальных шоков типа «черный лебедь» (Black Swan), когда исторические вероятности P_{ij} перестают адекватно отражать реальность, модель допускает использование экспертных оценок для пересчета матрицы переходов, что позволяет проводить стресс-тестирование системы в условиях полной неопределенности. Однако ее научная и практическая ценность для данной работы раскрывается только при адаптации к уникальной специфике транспортно-логистической деятельности. В отличие от производственных процессов, где состояния системы (например, обработка детали) локализованы и во многом детерминированы, транспортно-логистическая деятельность (ТЛД), как известно, характеризуется пространственной распределенностью, высокой стохастичностью и зависимостью от внешней инфраструктурной и регуляторной среды.

Конкретизация состояний звеньев цепей поставок для транспортно-логистической деятельности

В контексте ТЛД абстрактные состояния C_{ij} , представленные в модели, обретают конкретное физическое и документальное содержание:

- звено $C1$ (поставщик): состояния $C1_j$ описывают не производство, а готовность груза к отгрузке (товар упакован, маркирован, экспортные документы готовы, заявка перевозчику подана);

• звено C2 (логистическая компания/перевозчик): это ядро ТЛД. Его состояния $C2,j$ включают:

- «первую милю» (успешная подача транспорта, погрузка, оформление транспортных документов (CMR, TIR Carnet));
- магистральную перевозку (движение по маршруту, прохождение границ, перецепки/перегрузки (в мультимодальных перевозках));
- «последнюю милю» (доставка на склад получателя, разгрузка, подписание документов о приемке);

• звено C3 (получатель): состояния $C3,j$ отражают процессы приемки, таможенной очистки импорта, размещения на складе.

Можно установить уникальные для ТЛД факторы и причины отказов. Классификацию неблагоприятных воздействий (катастрофы/сбои) необходимо дополнить факторами, присутствующими именно транспортной отрасли (табл. 1).

Эта детализация позволяет наполнить абстрактную модель [13, 14] реальным содержанием и перейти от теоретических рассуждений к практическому инструменту анализа.

Практические рекомендации по развитию и адаптации цепей поставок в условиях экономической неопределенности для Республики Беларусь и ЕАЭС

Исследование глобальных трендов и разработка конкретной математической модели позволяют сформулировать комплексные, системные и применимые на практике рекомендации, а также многоуровневую стратегию по повышению отказоустойчивости цепей поставок (табл. 2) в контексте экономики Республики Беларусь и Евразийского экономического союза (ЕАЭС).

Анализ глобальных трендов показал, что современная экономическая среда, характеризующаяся высокой волатильностью («VUCA-мир»), геополитической напряженностью и трансформацией традиционных торговых связей, требует от участников цепей поставок фундаментального пересмотра стратегий. Классическая модель, оптимизированная по критерию минимальных издержек, уступает место парадигме проактивного управления отказоустойчивостью, где способность системы выдерживать шоки и быстро восстанавливаться становится ключевым конкурентным преимуществом и фактором экономической безопасности.

Таблица 1

Специфические факторы и причины отказов в транспортно-логистической деятельности
Specific factors and causes of failures in transport and logistics activities

Категория факторов	Причины отказов и сбоев (примеры)	Влияние на состояния ЦП
Инфраструктурные	Закрытие дорог (ремонт, ДТП), заторы на подъездах к портам/терминалам, ограниченная пропускная способность пограничных переходов, отсутствие свободных слотов в аэропортах	Приводят к «неуспешным» состояниям типа $C2,2$ (нарушение сроков), $C2,4$ (необходимость смены маршрута), $C3,3$ (форс-мажор)
Регуляторные и геополитические	Введение санкций/эмбарго, изменение правил таможенного оформления, неожиданные проверки на границе, отмена разрешений на проезд (дозволов)	Вызывают переходы в состояния $C1,2$ (отказ от поставки), $C3,3$ (невозможность принять груз), или приводят к долгому пребыванию в состоянии $C2,j$, связанному с прохождением границы
Связанные с активами	Техническая неисправность транспортного средства, нехватка водителей, нехватка порожних контейнеров или платформ, физический износ транспортной инфраструктуры	Приводят к сбоям в доставке, увеличению сроков ($C2,2$), необходимости экстренной замены ($C2,4$)
Информационные	Сбой в работе TMS (системы управления транспортом), потеря GPS-сигнала, ошибки в электронном документообороте (e-CMR), кибератаки на логистические платформы	Нарушают «прозрачность» цепи, приводят к ошибкам в планировании и невозможности отследить груз, что является «неуспешным» событием Eij
Коммерческие и операционные	Внезапный отказ клиента от груза, ошибка в консолидации сборных грузов, повреждение груза при погрузке/транспортировке, простой по вине грузоотправителя/получателя	Приводят к состояниям $C2,3$ (повреждение груза), $C0,0$ (возврат к началу планирования), финансовым потерям

Таблица 2

Комплексные мероприятия по повышению отказоустойчивости цепей поставок

Comprehensive measures to improve supply chain resilience

Уровень	Признак / Направление	Рекомендация	Практическая реализация (конкретные мероприятия)	Эффект
Микроуровень	1. Управление рисками на основе данных	Сделать количественную оценку отказоустойчивости неотъемлемой частью системы менеджмента компании	“Plan-Do-Check-Act”: внедрить регулярный цикл QSCR-аудита. “Plan”: определить и декомпозировать критические цепи поставок (ЦП). “Do”: настроить автоматический сбор данных из корпоративных систем (ERP, TMS). “Check”: ежеквартально рассчитывать интегральный показатель отказоустойчивости R (QSCR) для каждой ЦП и анализировать «узкие места». “Act”: принимать обоснованные управленческие решения для повышения надежности	Создание системы непрерывного улучшения надежности ЦП. Превращение показателя отказоустойчивости в объективный <i>KPI</i> для оценки логистики
(Корпоративные стратегии для предприятий)	2. Гибридная модель управления “Lean + Resilient”	Дифференцировать стратегию управления ЦП в зависимости от их критичности и показателя надежности R	Сегментация ЦП: Разделение на высоконадежные ($R > 0,95$, модель “Just-in-Time”), средненадежные ($0,8 < R < 0,95$, точечное хеджирование) и низконадежные ($R < 0,8$) кардинальные меры. Создание динамического буферного запаса: для низконадежных ЦП рассчитывать оптимальный размер страхового запаса с помощью QSCR-модели. Формирование пула альтернатив: заранее прорабатывать и сертифицировать альтернативных поставщиков/перевозчиков для слабых звеньев. Диверсификация: не ограничиваться одним поставщиком или маршрутом	Переход от реагирования на сбои «по факту» к проактивному выявлению и устранению «узких мест». Повышение общей надежности поставок
	3. Целевая цифровизация и хеджирование	Инвестировать в технологии и финансовые инструменты, дающие наибольший прирост надежности R на единицу вложений	Технологическая: проведение симуляций в QSCR-модели для оценки эффекта от IT-решений (TMS, Control Tower) перед их внедрением. Внедрение систем ЭПИ, Real-Time Visibility, e-CMR. Финансовая: для ЦП с высоким, но трудноснижаемым риском (например, геополитическим) использовать страхование от перерывов в цепях поставок (Trade Disruption Insurance), используя показатель $1 - R$ (вероятность сбоя) как основу для расчета премии	Обоснование инвестиций в IT и повышение отказоустойчивости. Объективная основа для переговоров с партнерами и страховыми компаниями
Мезоуровень	1. Создание единой цифровой платформы	Инициировать на уровне ЕЭК разработку наднациональной IT-платформы («цифрового двойника» транспортных коридоров) для снижения издержек и повышения прозрачности	Сервис «Цифровой транзит»: интеграция таможенных систем на основе e-CMR для бесшовного транзита (цель – вероятность прохождения границы $> 0,99$). Сервис «SCR-Аналитика»: публикация в реальном времени Индекса надежности погранпереходов. Маркетплейс мощностей: сервис для быстрого поиска перевозчика в случае сбоя. Сервис Traceability: отслеживание движения товаров на основе блокчейна	Повышение предсказуемости и скорости трансграничного движения. Увеличение показателя надежности R для всех участников ВЭД; оптимизация логистических маршрутов и минимизация простоев на границах способствуют снижению углеродного следа цепочек поставок

Уровень	Признак / Направление	Рекомендация	Практическая реализация (конкретные мероприятия)	Эффект
(Решения в рамках ЕАЭС)	2. Внедрение стандартов и рейтингов	Разработать единый стандарт ЕАЭС «Крите- рии отказоустойчиво- сти» и «Зеленый кори- дор» на основе методо- логии QSCR	Рейтинг участников ВЭД: ввести классы отказоустойчивости (А, В, С) на основе по- казателя <i>R</i> . Преимущества для класса А: упрощенный таможенный контроль («зеле- ный коридор»), приоритетное обслуживание. Создание института уполномоченного эконо- мического оператора (УЭО) с реальными, а не декларативными преимуществами	Создание экономиче- ского стимула для компаний инве- стировать в отказы- стойчивость, пре- вращая ее из статьи затрат в конкурент- ное преимущество
Макроуровень	1. Националь- ная программа устойчивости	Разработать и реализо- вать Национальную программу «Устойчивые цепи поставок Беларуси 2030», признав надеж- ность ЦП элементом экономической безопасности	Создание «Атласа рисков ЦП РБ»: проведе- ние государственного аудита и картирова- ния рисков для стратегических отраслей (машиностроение, АПК, фармацевтика и др.). Модернизация инфраструктуры: на основе «Атласа рисков» направлять госинвестиции в наиболее уязвимые объек- ты (погранпереходы, ТЛЦ). Государствен- ное стимулирование “LogTech”: Разрабо- тать программу поддержки (гранты, нало- говые льготы) для IT-компаний, повышаю- щих отказоустойчивость ЦП. Реализация этих идей требует разработки серьезных протоколов защиты данных и нормативной правовой базы (возможно, с использовани- ем технологий блокчейна для обеспечения неизменности данных и т.п.)	Системное повыше- ние устойчивости ключевых для наци- ональной экономики отраслей. Целевое и эффективное рас- пределение госу- дарственных инвестиций
(Государст- венная поли- тика РБ)	2. Развитие компетенций и создание центра пре- восходства	Сформировать в стране кадровый и научный задел для лидерства в области управления сложными цепями поставок	Создание Национального центра компетен- ций: организовать на базе ведущего техни- ческого вуза УВО (БНТУ) или НАН Бела- руси центр для развития методологии QSCR, консалтинга и подготовки специали- стов. Подготовка кадров и обновление образовательных стандартов: включить в учебные планы профильных УВО (БНТУ, БГЭУ, БГУИР) обязательные модули по управлению рисками в ЦП, стохастическо- му моделированию и работе с “LogTech”-платформами	Создание экосистемы для развития специа- листов и технологий. Обеспечение долго- срочного лидерства страны в регионе в сфере логистики и управления ЦП

Примечание. ЭПИ – электронное предварительное информирование. Как известно, это обязательная процедура для таможенных органов стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС), включая Республику Беларусь. Суть ЭПИ заключается в том, что перевозчик или другое уполномоченное лицо заранее, до прибытия груза на границу, направляет в таможенные органы в электронном виде всю необходимую информацию о товарах и транспортном средстве. Основные цели и преимущества внедрения ЭПИ: ускорение таможенных операций (предварительная информация позволяет таможенным органам провести первичный контроль еще до прибытия транспорта на пограничный пункт); оптимизация таможенного контроля (сотрудник таможни, используя номер ЭПИ, быстро находит все данные о грузе, сверяет документы и при отсутствии нарушений оперативно завершает оформление); сокращение времени пересечения границы (как следствие, значительно уменьшаются простои транспорта на границе); снижение рисков задержек (заранее поданная и проверенная информация минимизирует вероятность ошибок в документах, которые могли бы привести к задержке груза). После подачи и регистрации предварительной информации перевозке присваивается уникальный идентификационный номер (УИНП или номер ЭПИ), который и предъявляется на границе. Таким образом, внедрение систем ЭПИ является одной из основных рекомендаций по цифровизации, направленной на повышение вероятности успешного и быстрого прохождения таможенных процедур, что напрямую влияет на надежность и эффективность всей цепи поставок.

По сути, модель «точно в срок» (“Just-in-Time”), доминировавшая десятилетиями, показала свою крайнюю уязвимость в условиях разрыва торговых связей, пандемий и санкционного давления. На смену ей приходит парадигма проактивного управления отказоустойчивостью (“Supply Chain Resilience” (SCR)).

Вместе с тем разработанная в [13, 14] методология количественной оценки отказоустойчивости (QSCR) на основе Марковских процессов является базовым научным инструментом этого перехода. Она позволяет перевести размытые понятия о рисках в плоскость измеримых вероятностных показателей (R и P_{ij}), идентифицировать «узкие места» и моделировать эффект от управленческих решений. На основе данной методологии и с учетом специфики Республики Беларусь как транзитного государства в рамках ЕАЭС разработаны комплексные многоуровневые рекомендации по повышению отказоустойчивости цепей поставок (табл. 2). Мероприятия сгруппированы по трем уровням управления: микроуровень (корпоративные стратегии), мезоуровень (интеграционные решения в рамках ЕАЭС) и макроуровень (государственная политика Республики Беларусь).

ВЫВОДЫ

1. Современная экономическая среда, характеризующаяся высокой волатильностью, геополитической напряженностью и трансформацией традиционных торговых связей, требует перехода от классической модели управления цепями поставок, оптимизированной по критерию минимальных издержек, к новой парадигме – проактивному управлению отказоустойчивостью. Разработанная ранее методика (методология) QSCR является ядром для построения более сложных моделей стратегического планирования и адаптации, что подтверждает ее высокую практическую и научную значимость.

2. Предложенная методика позволила перейти от качественных оценок («на границе часто бывают проблемы») к количественным показателям, которые могут быть использованы как для оперативного, так и для стратегического управления. Она дает возможность не только измерить текущий уровень отказоустойчивости, но и моделировать, как изменение вероятностей на отдельных участках (в результате

внедрения новых технологий или изменения маршрута) повлияет на итоговую надежность всей цепи поставок. Это демонстрирует практическую ценность и универсальность нашей методики: применение QSCR к реальным, но разнотипным предприятиям, таким как дистрибьютор и производитель, наглядно показывает ее гибкость.

3. Предложена модель стратегической адаптации, которая является логическим завершением разработки целостной методологии QSCR, превращая ее из инструмента пассивного анализа в активный инструмент проактивного управления. Она позволяет компаниям количественно оценивать и сравнивать различные сценарии развития своих цепей поставок; экономически обосновывать инвестиции в повышение надежности и цифровизацию; перейти от режима «тушения пожаров» к системному управлению рисками, что является фактором выживания и конкурентоспособности в условиях новой экономической реальности.

4. Внедрение данного подхода на уровне предприятий Республики Беларусь и ЕАЭС позволит повысить устойчивость их бизнес-моделей, снизить зависимость от внешних шоков и укрепить их позиции в региональных и глобальных цепях создания стоимости. Разработанная модель не только обеспечивает экономическую выживаемость предприятий, но и создает методологическую базу для реализации стратегий экологически устойчивого развития, позволяя количественно оценить вклад адаптивных мероприятий в снижение декарбонизации транспортно-логистических систем. Разработаны практические рекомендации, сгруппированные по трем уровням: корпоративному, отраслевому (в рамках ЕАЭС) и национальному.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимова, Е. Г. Политические факторы формирования современной международной транспортной инфраструктуры / Е. Г. Ефимова, К. Пинониemi // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2014. Вып. 2. С. 32–55.
2. Никитина, Э. И. Международная логистика / Э. И. Никитина. Минск: МИТСО, 2018. 331 с.
3. Bowersox, D. J. Supply Chain Logistics Management / D. J. Bowersox, D. J. Closs, M. B. Cooper. McGraw-Hill, 2013. 484 p.
4. Развитие систем управления рисками и возможностями компании / С. М. Брыкалов, В. Ю. Трифонов,

- И. В. Нетронин, Е. А. Сметанина // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21, № 1. С. 66–77.
5. Кошелева, Т. Н. Управление дистрибуцией межрегиональных цепей поставок в рамках взаимодействия с технологиями искусственного интеллекта / Т. Н. Кошелева, Т. Ю. Ксенофонтова, О. А. Гуляева // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 1. С. 97–106. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2024-01-97-106>
6. Управление цепью поставок (SCM): учеб. пособие / сост. П. П. Крылатков, М.А. Прилуцкая. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 140 с.
7. Подольская, Т. В. Внедрение передовых цифровых технологий в транспортно-логистической сфере в современных условиях / Т. В. Подольская, А. Г. Сотников // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14, № 4. С. 1479–1496. <https://doi.org/10.18334/vinec.14.4.121649>
8. Маликова, Ю. А. Цифровая трансформация транспортно-логистических систем поставок / Ю. А. Маликова // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2024. № 1. С. 37–44. <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.1.85.005>
9. Хорошилова, Т. Н. Методы оптимизации цепей поставок с использованием цифровых технологий / Т. Н. Хорошилова // Modern Economy Success. 2025. № 1. С. 397–410. <https://doi.org/10.58224/2500-3747-2025-1-397-410>
10. Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие / Н. Н. Лычкина. М.: ИНФРА-М, 2011. 254 с.
11. Бутор, Л. В. Решение логистических задач складского комплекса методом имитационного моделирования = Solution of Logistic Problems of the Warehouse Complex Simulation Modeling / Л. В. Бутор, А. В. Мироненко, Б. О. Ковалев // Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов: сб. материалов XV Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 27 октября 2023 г. СПб.: Печатный Двор, 2023. С. 170–175.
12. Королева, А. А. Математический инструментальный анализа развития транспортной логистики в Беларуси / А. А. Королева. Минск: Изд. центр БГУ, 2022. 279 с.
13. Ларин, О. Н. Модель состояний отказоустойчивой цепочки поставок / О. Н. Ларин, Д. В. Капский, П. Д. Капский // Транспорт: наука, техника, управление: науч.-информ. сб. 2024. № 9. С. 3–7. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2024-09-1>
14. Ларин, О. Н. Моделирование надежности цепочек поставок / О. Н. Ларин, Д. В. Капский, П. Д. Капский // Транспорт: наука, техника, управление: науч.-информ. сб. 2025. № 1. С. 9–14. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2025-01-2>
2. Nikitina E. I. (2018) *International Logistics*. Minsk, International Institute of Labor and Social Relations. 331 (in Russian).
3. Bowersox D. J., Closs D. J., Cooper M. B. (2013). *Supply Chain Logistics Management*. McGraw-Hill. 484 (in Russian).
4. Brykalov S. M., Trifonov V. Yu., Netronin I. V., Smetanina E. A. (2024) Development of Risk and Opportunity Management Systems for the Company. *Problemy Analiza Riska = Issues of Risk Analysis*, 21 (1), 66–77 (in Russian).
5. Kosheleva T. N., Ksenofontova T. Yu., Gulyaeva O. A. (2024) Distribution Management of Interregional Supply Chains within the Framework of Interaction with Artificial Intelligence Technologies. *Bulletin of Scientific Research Results*, (1), 97–106 (in Russian). <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2024-01-97-106>
6. Krylatkov P. P., Prilutskaya M. A. (compiled) (2018) *Supply Chain Management (SCM)*. Ekaterinburg, Publishing House of the Ural University. 140 (in Russian).
7. Podolskaya T. V., Sotnikov A. G. (2024) Implementation of Advanced Digital Technologies in the Transport and Logistics Sector in Modern Conditions. *Voprosy Innovatsionnoy Ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*, 14 (4), 1479–1496. <https://doi.org/10.18334/vinec.14.4.121649>
8. Malikova Yu. A. (2024) Digital Transformation of Transport and Logistics Supply Systems. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta (RINKh) = Vestnik of Rostov state University (RINH)*, (1), 37–44. <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.1.85.005>
9. Khoroshilova T. N. (2025) Methods for Optimizing Supply Chains Using Digital Technologies. *Modern Economy Success*, (1), 397–410. <https://doi.org/10.58224/2500-3747-2025-1-397-410>
10. Lychkina N. N. (2011) *Simulation Modeling of Economic Processes*. Moscow, INFRA-M Publ. 254 (in Russian).
11. Butor L. V., Mironenko A. V., Kovalev B. O. (2023) Solution of Logistic Problems of a Warehouse Complex Using Simulation Modeling. *Razvitie sovremennoi nauki i tekhnologii v usloviyakh transformatsionnykh protsessov: sb. materialov XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Moskva, 27 oktyabrya 2023 g.* [Development of Modern Science and Technology in the Context of Transformation Processes: Collection of Materials of the 15th International Scientific-Practical Conference, Moscow, October 27, 2023]. Saint Petersburg, Pechatny Dvor Publ., 170–175 (in Russian).
12. Koroleva A. A. (2022) *Mathematical Tools for Analyzing the Development of Transport Logistics in Belarus*. Minsk, Publishing Center of the Belarusian State University. 279 (in Russian).
13. Larin O. N., Kapsky D. V., Kapsky P. D. (2024) State Model of a Resilient Supply Chain. *Transport: science, equipment, management. Scientific Information Collection*, (9), 3–7 (in Russian). <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2024-09-1>
14. Larin O. N., Kapsky D. V., Kapsky P. D. (2025) Supply Chain Reliability Modeling. *Transport: science, equipment, management. Scientific Information Collection*, (1), 9–14 (in Russian). <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2025-01-2>

Поступила 01.12.2025

Подписана в печать 18.02.2026

Опубликована онлайн 29.05.2026

ЛИТЕРАТУРА

1. Efimova E. G., Pinoniemi K. (2014) Political Factors in the Formation of Modern International Transport Infrastructure. *St. Petersburg University Journal of Economic Studies (SUJES)*, (2), 32–55 (in Russian).

Received: 01.12.2025

Accepted: 18.02.2026

Published online: 29.05.2026