

ISSN 2523-4714

УДК 65.011.08+004.942

О. В. Мясникова

Институт бизнеса БГУ, Минск, Беларусь

**РИСКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ
НА БАЗЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Рассматриваются вопросы управления рисками, связанными с осуществлением цифровой трансформации производственно-логистических систем. Раскрывается сущность рисков цифровой трансформации производственно-логистической системы. Теоретическую базу исследования составляют тексты международных стандартов, учебная и научная литература, научные статьи и обзоры по изучаемой проблематике. На базе их анализа риски систематизированы и предложена классификация специфических рисков цифровой трансформации производственно-логистической системы, а также интегрированная система управления процессами формирования производственно-логистической системы, алгоритм развития системы с использованием интеллектуального цифрового двойника. Определены блоки интеллектуального цифрового двойника, где выполняются процессы управления рисками цифровой трансформации производственно-логистических систем. Предложены методические рекомендации по обработке рисков цифровой трансформации в целях снижения их негативных последствий. Систематизированы способы обработки риска в разрезе элементов и процессов умной социобиофизической системы Индустрии 5.0, которые предусматривают организационные, экономические, технические меры в ответ на события и неопределенности освоения технологий и инструменты цифрового развития. Выводы, алгоритм и рекомендации будут полезны в ходе подготовки и осуществления программ цифровой трансформации производственно-логистических систем.

Цель исследования — предложить методические подходы управления рисками трансформации производственно-логистической системы на базе интеллектуального цифрового двойника.

Ключевые слова: производственно-логистическая система, риски, цифровая трансформация, интеллектуальный цифровой двойник, управление, алгоритм управления рисками, рекомендации, обработка риска

Для цитирования: Мясникова, О. В. Риски цифровой трансформации и управление ими на базе интеллектуального цифрового двойника производственно-логистической системы / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. — Минск, 2024. — Вып. 10. — С. 140–154.

O. Miasnikova

School of Business of BSU, Minsk, Belarus

**DIGITAL TRANSFORMATION RISKS AND THEIR MANAGEMENT BASED
ON INTELLIGENT DIGITAL TWIN OF PRODUCTION AND LOGISTICS SYSTEM**

The article is devoted to management of risks associated with implementation of digital transformation of production and logistics systems. The aim of the study is to propose methodological approaches for managing risks of transformation of production and logistics system on the basis of an Intelligent Digital Twin.

This article reveals the essence of risks of digital transformation of production and logistics system. The theoretical basis of research is composed of texts of international standards, educational and scientific literature, scientific articles and reviews on the studied subject. On the basis of their analysis, risks are systematized and a classification of specific risks of digital transformation of production and logistics system is proposed. The management of transformation should be carried out by means of classical, logistic, project, innovative and digital management combined into a single mechanism, in connection with which an integrated management system for the formation of a production and logistics system is proposed. The Intelligent Digital Twin is a component of the author's hybrid integration approach «Lean + Agile + Dig-

ital Development management». An algorithm for the development of the system using the Intelligent Digital Twin is proposed. The blocks of the Intelligent Digital Twin have been identified, where the risk management processes of the digital transformation of production and logistics systems are carried out. The article offers methodological recommendations for Risk treatment for digital transformation processes in order to reduce their negative consequences. The risk treatment options are systematized in terms of elements and processes of smart socio-cyberphysical systems of Industry 5.0, provide for organizational, economic, technical measures in response to the events and uncertainties of technology uptake and digital development tools. Conclusions, algorithm and recommendations will be useful in preparing and implementing digital transformation programs for production and logistics systems.

Keywords: *production and logistics system, risks, digital transformation, Intelligent Digital Twin, management, risk management algorithm, recommendations, risk treatment*

For citation: Miasnikova O. Digital transformation risks and their management based on intelligent digital twin of production and logistics system. *Biznes. Innovatsii. Ekonomika = Business. Innovations. Economics*. Minsk, 2024, iss. 10, pp. 140–154 (in Russian).

Введение

Значительная неопределенность процессов цифровизации и нестабильность экономики делают актуальными исследования вопросов выявления, оценки и обработки рисков и совершенствования механизмов управления ими.

Проблема управления рисками в социально-технических системах экономики связана с их сложностью (большое число элементов, подсистем, звеньев и их взаимосвязи), высокими темпами появления и достижения зрелости технологий (цифровых, производственных, логистических), отставанием и разбалансированностью развития элементов системы и управленческой надстройки. Эти факторы влияют на разрыв между новыми требованиями и возможностью обеспечить безопасность и устойчивость функционирования сложной системы. К этому классу относится и объект исследования — производственно-логистическая система (ПЛС). Раскрывая феномен формирования системы в контексте современной теории системогенеза, организации производства и производственной логистики, нами сформулировано следующее определение ПЛС [1]: *производственно-логистическая система — это сложная, динамичная, экономическая, открытая, адаптивная система с обратной связью, состоящая из относительно устойчивой совокупности звеньев цепи создания ценности, взаимосвязанных в пределах цикла производства в едином процессе управления материальными, сервисными и сопутствующими им потоками, обеспечивающих придание им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды.*

На базе освоения инновационных и цифровых технологий происходит цифровая трансформация ПЛС (ЦТ ПЛС) — процесс преобразования ПЛС в цифровую систему. Конкретизация и дальнейшее развитие разработанных ранее теоретико-методологических подходов к формированию ПЛС и их цифровой трансформации [1; 2] приводит к исследованию проблемы определения присущих ЦТ ПЛС рисков и методов управления ими.

Осуществление цифровых преобразований в ПЛС связано с целым комплексом негативных последствий, которые не сводятся исключительно к проблематике кибербезопасности, преобладающей в научной дискуссии. Последствия имеют вероятностный характер наступления, что выражается категорией «риск». Возникает необходимость систематизации рисков, появляющихся в ходе ЦТ ПЛС, и разработки подходов к их учету при проектировании новых цифровых ПЛС.

Актуальность выбранной темы заключается в том, что установление источников, причин возникновения и последствий рисков ЦТ ПЛС и специфики управления ими цифровыми методами способствует осуществлению программ развития систем и предупреждению негативных последствий как в процессе трансформации, так и функционирования вновь созданных цифровых систем.

Целью настоящего исследования является предложение методических подходов к управлению рисками трансформации производственно-логистической системы на базе интеллектуального цифрового двойника. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

- раскрыть сущность, систематизировать и предложить классификацию рисков ЦТ ПЛС как процесса ее радикального преобразования;
- раскрыть сущность методики управления рисками цифровой трансформации на базе интеллектуального цифрового двойника ПЛС;

– предложить методические рекомендации по снижению негативных последствий рисков цифровой трансформации.

Методами исследования являются анализ, синтез, аналогия, абстракция, моделирование. Диалектический и системный подходы составили методическую основу данной работы.

Практическая значимость исследования определяется тем, что методика управления рисками цифровой трансформации ПЛС и установленные источники возникновения проявления рисков, а также меры, способствующие снижению негативных последствий, могут применяться при подготовке и реализации программы и проектов ЦТ организаций с различным объемом деятельности, ролью в цепях создания стоимости и уровнем цифровой зрелости процессов.

Результаты и их обсуждение

Риски цифровой трансформации производственно-логистической системы. Под трансформацией (лат. *transformatio* – изменение) мы будем понимать преобразование структур, форм и способов, изменение целевой направленности деятельности, которое в результате способствует приведению системы к новому качественному состоянию. В соответствии с терминологической базой теории систем состояние ПЛС – упорядоченная совокупность значений параметров (внутренних и внешних), определяющих ход происходящих в системе процессов. Ее функционирование – это уникальный стохастический целенаправленный процесс, в ходе которого ПЛС переходит из одного состояния в другое («смещается в пространстве состояний»). Исходя из вышесказанного нами сформулировано следующее определение: *цифровая трансформация ПЛС (ЦТ ПЛС) – преобразование структур, форм и способов, целевой направленности деятельности ПЛС за счет освоения инновационных и цифровых технологий, результатом которого является создание цифровой ПЛС, где бизнес-модели, жизненные циклы и бизнес-процессы построены на первичности цифрового представления ее основных продуктов и услуг* [2].

Природа рисков ЦТ, а также вопросы управления ими активно исследуются в научной плоскости. Хотя термин «риск» обсуждается в научных публикациях, в настоящей статье мы опираемся на определение согласно международному стандарту ИСО 31000:2018 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» (ISO 31000:2018 «Risk management – Guidelines», IDT)¹.

Риск (risk) – следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей. Такое следствие рассматривается в виде отклонения от ожидаемого результата или события (позитивного и/или негативного), цели могут быть различными по содержанию (в области экономики, здоровья, экологии и т. п.) и назначению (стратегические, общеорганизационные, относящиеся к разработке проекта, конкретной продукции и процессу). Риск характеризуют путем описания возможного события и его последствий или их сочетания и представляют в виде последствий возможного события (включая изменения обстоятельств) и соответствующей вероятности. Неопределенность – это состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события, его последствий и их вероятностей.

Анализ литературных источников показал, что риски ЦТ авторы рассматривают с различных точек зрения, а именно с позиций:

– составляющей цифровой экономики. Следует согласиться с профессором С. Ю. Солодовниковым, что в современной экономике риски принимают всеобъемлющий характер, многие из них в принципе не предсказуемы [3]. С. В. Бизин, И. О. Гурьева в своей работе отмечают, что воздействие технологий может рассматриваться как дезорганизация существующих экономических систем и секторов, процессов, делового взаимодействия и моделей бизнеса, а также как изменение текущей модели потребления [4];

– приоритизации усилий по киберзащите и обеспечения кибербезопасности. Так, В. Я. Захаров и другие связывают проблемы управления рисками с управлением данными и процессом интеграции кибербезопасности в критически важные цифровые бизнес-стратегии и операции [5]. Как отмечают исследователи, цифровая трансформация снимает одни риски и создает дру-

¹ ISO 31000:2018 «Risk management – Guidelines», IDT. – URL : <https://shahrdevelopment.ir/wp-content/uploads/2020/03/ISO-31000.pdf> (date of access: 27.06.2024).

гие, меняя структуру и интенсивность рисков, ландшафт цифровых угроз постоянно меняется, становится все более разнообразным и технически сложным [6];

— классификации рисков освоения цифровых технологий. Так, в работе Т. А. Кузовковой и Т. Ю. Салютиной представлены группировки рисков по ряду признаков, выделены общеэкономические (захват рынков, потеря рабочих мест, внешнее управление), социальные риски (персональная уязвимость, «роботизация людей», напряженность), а также операционные, финансовые, нормативные, организационные и технологические риски [7];

— проектного менеджмента. Так, в работе В. Э. Зайковского и других исследуются проблемы реализации проектов цифровой трансформации предприятия с помощью диаграммы Иси-кавы, разделив риски ЦТ по группам (внутренняя среда, внешняя среда, человеческий фактор, информационные технологии, финансирование, безопасность) [8]. Вопросы управления инновационными рисками рассматривались с использованием классической методологии проектного менеджмента;

— создания систем риск-менеджмента в организациях. Создание соответствующих служб или элементов цифрового управления описаны в работах [9; 10].

В ходе изучения источников и обзоров сделан вывод, что в ряде работ приведены конкретные трактовки и виды рисков, однако в отношении проблематики управления рисками подходы в целом представляют собой упрощенные варианты управления рисками в рамках проектного менеджмента. Современные подходы и методы цифрового менеджмента в управлении рисками в должной мере не раскрываются.

Отличия цифрового менеджмента от традиционного выделены в работе Т. В. Александровой: технологии Индустрии 4.0 как ведущие технологии, комбинация живого и роботизированного труда как объект менеджмента, преобладание коллаборации на базе цифровых технологий, цифровой культуры, виртуального общения в цифровых офисах и на цифровых платформах [11]. В работе П. А. Михненко также в качестве технической основы цифрового менеджмента рассматриваются цифровые платформы, основанные на концепции (технологиях) цифровых двойников, позволяющие моделировать и оптимизировать управленческие процессы и функции [12].

В развитии методологических подходов к формированию ПЛС с учетом рисков, раскрываемых нами в работах [13; 14], задачей является определение источников и степени проявления факторов, препятствующих достижению определенного уровня прогресса в устранении разрыва между значениями метрик результативности существующей и формируемой ПЛС, что связывается нами с необходимостью систематизации факторов, оценки степени и направленности их влияния на риски цифровой трансформации ПЛС.

В работах [15; 16] нами обосновано применение интеллектуального цифрового двойника для процессов оптимизации ПЛС, который исходя из группы факторов, обуславливающих отклонение от моделируемого уровня эффективности, предполагает комплекс методов и решений по оптимизации ПЛС.

В этой связи вопросы выделения специфических рисков ЦТ ПЛС и методов управления ими, присущих цифровому менеджменту, требуют детальной и комплексной проработки.

Классификация рисков цифровой трансформации как процесса радикального изменения системы. Риски ЦТ ПЛС сгруппированы по ряду критериев. Поскольку источником риска (risk source) может быть объект или деятельность, которые самостоятельно или в комбинации с другими обладают возможностью вызывать повышение риска, то выделим две группы рисков с точки зрения его источника.

По видам деятельности как источникам риск группируется исходя из совокупности процессов: а) управления потоками ресурсов в системе; б) преобразования потоков в системе; в) трансформации системы.

По объектам как источникам риск группируется: А) в разрезе элементов ПЛС исходя из 1) совокупности потоков, проходящих через систему; 2) совокупности производственных ресурсов, формирующих компоненты ПЛС; Б) в разрезе технологий и инструментов развития, трансформирующих ПЛС.

Такое разделение позволяет выделить источники риска как действующей системы, так и проекта ее трансформации. Исходя из сложной и комплексной природы ПЛС как умной киберфизической системы Индустрии 5.0 нами разработана модель ее компонентов, в которой триада киберфизико-социальных модулей дополнена когнитивным и организационным. Модель отражает конвергенцию физических процессов производства с программно-информацион-

ными системами и трудовыми ресурсами, наряду с социальными, физическими компонентами интегрирует коммуникационные, интеллектуальные и компоненты обеспечения безопасности. Освоение инновационных, логистических, продвинутых цифровых технологий и инструментария стратегического развития, сгруппированных в разрезе пяти модулей социокиберфизической системы 5.0 показано в табл. 1.

Таблица 1

Источники риска интеллектуальной социокиберфизической системы Индустрии 5.0

Table 1

Risk sources of the intellectual socio-cyberphysical system of the Industry 5.0

Технологии и инструменты развития	1. Социомодуль	2. Когнитивный модуль	3. Организационный модуль	4. Кибернетический модуль	5. Физический модуль
	Человекоцентричность	Базы данных и знаний, системы управления базами данных	Метавселенные	Цифровые активы. Искусственный интеллект 2.5	Носимые устройства, встроенные сенсоры и биосенсоры
	Экологическая и социальная ценность	Технологии передачи, хранения и анализа данных	Цифровые двойники	Многоязычное распознавание речи жестов и предсказание намерений человека	Биоинспирированные технологии. Умные материалы
	Социальная гетерогенность	Системы поддержки принятия решений	Технологии взаимодействия человека и машины	Многомасштабное динамическое моделирование и симуляция	Материалы с самоисцелением и самовосстановлением
	Социальные фабрики	Управление большими данными	Открытые инновации 2	Передовые вычисления	Адаптивная/отзывчивая эргономика и свойства поверхности
	Интерфейсы мозг-машина	Системы управления операционными платформами	Модель пятикратной инновационной спирали	Имитационное моделирование целых систем	Средства вычислительной техники, связи, производства, хранения, транспортирования
	Экспертные знания в сочетании с искусственным интеллектом	Технологии ресурсосбережения	Кибербезопасность/безопасная облачная ИТ-инфраструктура	Гиперавтоматизация	Экзоскелеты, рабочая экипировка на биологической основе
				Кибербезопасность	Коллаборативный робот

Источники: разработано автором.

Source: author's developed.

Масштаб проявления — глобальный, региональный, локальный риск. Риск исходя из места проявления — в ПЛС уровня рабочего места, ПЛС уровня группы рабочих мест, ПЛС уровня звена цепи поставок, ПЛС уровня цепи поставок.

Качество проявления риска: по степени последствия проявления — нейтральный или разрушительный, по скорости — быстро или медленно проявляющийся, по размеру — малый или крупный, по динамике — затухающий или нарастающий.

Виды риска с точки зрения неполучения эффекта ЦТ ПЛС:

а) кибернетический — недостижение целевых показателей увеличения качества коммуникации, зрелости систем управления, уровня автоматизации;

б) экономический — недостижение целей функционирования (роста прибыли и рентабельности, объемов и качества продукции), прямые потери (из-за роста затрат, снижения потоков клиентов, объемов производства, качества результатов, скорости получения результатов); потери и стоимость реагирования на риск (в виде прямых потерь от ущерба, стоимость реагирования на событие, обязательства перед третьими лицами в виде неустойки, компенсации и т. п.), упущенная выгода или понесенные расходы, потеря лояльности клиентов;

в) научно-технический — недостижение целевых показателей прироста научной информации, повышение технического уровня продукции, совершенствование технологии производства и оказания логистических услуг;

г) организационно-производственный — недостижение прироста трудовых, организационно-производственных показателей, уровня адаптивности, гибкости, устойчивости системы;

д) социальный — недостижение целей улучшения условий труда, ликвидации монотонности труда, непродуктивного использования потенциала, потерь времени.

Виды риска, исходя из *формы последствий его проявления*:

— количественный как изменение результативности системы — в виде недополучения результата или эффекта от деятельности;

— качественный как снижение уровня проявления свойств и характеристик системы, таких как степень адаптивности, оптимальности, гибкости, устойчивости, надежности, сохраняемости, управляемости, опережающего развития, безопасности, утраты жизнеспособности системы или ее элемента.

Использование предложенной классификации поможет при идентификации и анализе рисков.

Управление рисками цифровой трансформации производственно-логистических систем с использованием интеллектуального цифрового двойника. Цифровая трансформация системы — это постоянная ее перестройка в цифровую систему. Она обеспечивается через принятие решений, ориентированных на достижение максимальной эффективности посредством ликвидации потерь, вызванных неопределенностью. *Интегрированная система управления процессами формирования ПЛС*, объединяя классический менеджмент с логистическим, проектным, инновационным и цифровым, позволяет целенаправленно использовать различные методы управления (рис. 1).

Управление процессами создания, верификации и осуществления проекта освоения цифровых технологий при ЦТ ПЛС предлагается осуществлять на базе авторского гибридно-интеграционного подхода «Бережливое гибкое цифровое управление развитием» — Lean + Agile + Digital Development management. Подход предполагает использование группы методик Lean-бережливых подходов: стартапы, инновации и разработка продукта. Гибкий итеративно-инкрементальный подход (Agile) ориентирован на динамическое формирование требований целевой аудиторией



Рис. 1. Состав интегрированной системы управления процессами формирования производственно-логистической системы

Источник: разработано автором.

Fig. 1. The composition of the integrated management system for the formation of the production and logistics system

Source: author's developed.

пользователей и обеспечение их реализации в результате коротких циклов разработки и постоянного взаимодействия внутри самоорганизующихся рабочих групп.

Использование Lean + Agile-подхода нацеливает на синхронизацию проектных работ в условиях неопределенности, что предусматривает активную разработку, параллельное проектирование и всеобщее обучение при тонком управлении и организации быстрой передачи знаний. В качестве технической основы цифрового менеджмента используется *интеллектуальный цифровой двойник (ИЦД)*, позволяющий моделировать и оптимизировать состав и процессы ПЛС.

Интеллектуальный ЦД ПЛС – система с двухсторонней связью реального и виртуального объекта киберфизической системы, предназначенная управлять им с высокой степенью автономности на базе динамического моделирования и фиксации эталонного, исторического и текущего поведения физического объекта [15]. Он отражает состав объектов ПЛС и их параметров для фиксации состояния системы, моделирования ее поведения в условиях неопределенности для оценки и анализа рисков и их последствий, выработки предиктивной аналитики и рекомендаций по регулированию вариабельности процессов системы, мер оптимизации и управления рисками (рис. 2).

Экономико-математическая модель ПЛС как динамической системы в общем виде задается совокупностью пространств состояний S , где задано начальное состояние $S_0 \subset S$ на момент времени $T_0 \subset T$. Выделим из всех вариантов состояния ПЛС работоспособные $S' \subset S$, обозна-



Рис. 2. Интеллектуальный цифровой двойник
в процессах формирования производственно-логистической системы

И с т о ч н и к : разработано автором.

Fig. 2. The intelligent digital twin in the processes of forming a production and logistics system
Source: author's developed.

чим каждый отдельный вариант работоспособного состояния как $S_i \in S'$, $i \in N_1$, $N_1 = (1, 2, \dots, n_1)$, где i — это вариант ПЛС.

ПЛС как сложная открытая система подвергается влиянию внешних факторов и может переходить из стабильного в нестабильное состояние, что может быть описано несколькими шагами: «зарождение и запуск в работу ПЛС₁ — инерционное движение — эрозия — деформация — разрушение — созидание и запуск в работу ПЛС₂».

Заданная на первом шаге структура компонентов, связей и система целей позволяет ПЛС первого поколения (S_1) некоторое время ($\Delta t_1 = t_1 - t_0$) функционировать в заданных параметрах результативности (R_p).

По мере работы стейкхолдеры ПЛС начинают накладывать ограничения на систему, во внутренней среде накапливаются мутации и сбои, а изменения внешней среды деформируют изначальное идеальное представление о системе, наступает эрозия системы. Деформация системы ввиду отсутствия существенных мер коррекции ее поведения, мутаций и изменений приводит к конфликтам между целями, задачами, ценностями ее подсистем, искажению коммуникации и принятию неверных решений в системе и, как следствие, ее краху.

К моменту t_1 система (S_1^*) демонстрирует результативность на нижнем допустимом пределе, с высоким уровнем риска. В этой связи необходимо проводить реконфигурацию системы путем реализации проектов ЦТ и освоения инноваций, в результате которых структура компонентов, связей и совокупность целей системы меняется.

В ходе реализации отдельных j -х инициатив и шагов проектов образуется цепочка гибридных ПЛС ($S_{1,j}^*$), где $j \in N_2$, $N_2 = (1, 2, \dots, n_2)$, где j — это число мероприятий. Система за время трансформационных процессов ($\Delta t_1 = t_2 - t_1$) будет функционировать с некоторой потерей результативности вследствие дублирования элементов и процессов, а также с более высоким уровнем рисков ($R_{\Delta s}$). В этот период риски процессов самой системы дополняются рисками проектов ЦТ (RP_j). Элементы системы S_1^* подвергаются «разрушению» и создается система нового поколения S_2 .

Таким образом, формирование ПЛС рассматривается как сеть переходов ПЛС из заданного состояния в новое $S_i \rightarrow S_{i+1}$. Переход осуществляется за счет мероприятий (оптимизационных мер) проекта трансформации ПЛС, которые обозначим как $w_j \in W$, $j \in N_2$. Так, можно установить оператор эволюции системы E_j , который каждому состоянию системы $S_0 \in S'$ в начальный момент времени $T_0 \in T$ однозначно ставит в соответствие некоторое состояние системы $S(t) \in S'$ в любой момент времени $t \in T$, т. е. $S(t) = E_j S(t)$. Установим моменты завершения мероприятия проекта как множество моментов времени $T_j \in T$, $j \in N_2$ и получим возможность зафиксировать сеть переходов состояния системы по времени.

Модуль имитационного моделирования интеллектуального ЦД позволяет решать задачу поиска набора и последовательности мероприятий проектов ЦТ (критический путь):

$$S_{i,k} \xrightarrow{w_j} S_{i+1,k} \xrightarrow{w_{j+1}} \dots \xrightarrow{w_{n2}} S_{n2,k},$$

при котором система перейдет к целевому состоянию (цифровая система), т. е. такому состоянию системы $S_{n2,k}$ при котором отклонение результирующего показателя системы от целевого значения будет минимально.

Интеллектуальный ЦД ПЛС через цифровую нить фиксирует промежуточные состояния при смене и оптимизации элементов ПЛС в виртуальной модели. При эксплуатации ПЛС формируется цифровая тень, которая сопоставляется в ЦД с целевыми данными о работе реального объекта, что дает возможность зафиксировать отклонение (разрыв) и произвести коррекцию и настройку математической модели по данным испытаний и работы в реальных условиях.

Методические рекомендации по обработке рисков цифровой трансформации в целях снижения их негативных последствий. Обработка рисков включает в себя: идентификацию, измерение и оценку рисков; моделирование влияния риска на ПЛС или проект; принятие решения об обработке риска; выбор способа; осуществление мер и мониторинг результатов. Обработка риска связана с решениями о прекращении ЦТ ПЛС (избежание риска), ее осуществлении для использования благоприятной возможности (принятие риска), ее пересмотра (устранение источника, изменения вероятности или последствий риска), подключении к ней других сторон (разделение риска), принятии решений об удержании риска. Нами разработана система конкретных мероприятий по обработке рисков ЦТ ПЛС, которые в разрезе источников рисков соответствуют событиям и неопределенностям и учитывают последствия риска (табл. 2).

Таблица 2

Риски цифровой трансформации производственно-логистической системы и мероприятия их обработки

Table 2

Risks of digital transformation of the production and logistics system and Risk treatment measures

Источник риска	Событие или неопределенность	Последствия проявления риска	Способ обработки риска
Совокупность потоков, проходящих через систему	Природные катастрофы, политические решения, карантин. Остановки движения потока. Неопределенность в сроках поставок, снижение надежности, точности. Нарушение качества входящего потока. Ошибки внутрипроизводственных процессов. Кастомизированный дизайн продукта.	Разрыв цепей поставок. Остановка движения потока. Увеличение запасов. Рост стоимости запасов и обработки потока. Рост вариабельности предматов и качества потока. Увеличение числа и времени технологических операций обработки материала. Снижение скорости обработки материала. Повышение отходов компонентов, материалов. Рост дефектов изделий.	Оперативный мониторинг движения материалов, товаров и услуг. Персонализированная продукция, кастомизация. Оптимизация дизайна изделий. Исключение материалов и компонентов. Экономия за счет вторичного использования изделий, компонентов, материалов. Надежные устойчивые поставки, гибкое реагирование в цепи поставок. Тиражирование решений, быстрое прототипирование, снижение затрат на доработки.
	Снижение живого труда в системе. Нехватка персонала с требуемыми навыками. Утомляемость персонала. Сложность оборудования. Зависимость от технологий. Аварии, поломки. Сложность переналадки, изготовления инструмента. Наличие несопряженных по качеству и производительности элементов. Наличие неблагоприятной рабочей среды.	Рост безработицы, уход талантов. Рост затрат на подбор и подготовку персонала. Снижение производительности труда (низкая скорость, остановки). Рост снижения когнитивных функций. Рост брака и затрат на исправление ошибок. Потеря контроля над оборудованием, остановка, несанкционированный доступ. Рост простоев оборудования. Потери времени и рост затрат из-за низкой скорости переналадки. Ожидание инструмента. Рост запасов и простоев, потеря времени. Дефекты продукции. Рост заболеваемости. Экологические проблемы. Затраты на восстановление информации.	Переподготовка работников, корпоративное обучение. Совместное использование трудовых ресурсов/профессиональных навыков при частичной занятости и дистанционной работе. Экономия на инфраструктуре при «работе из дома». Превентивный контроль оборудования, дистанционная диагностика, контроль операций. Контроль загрузки оборудования. Прогнозирование выходов из строя оборудования. Предиктивный ремонт. Продвинутые роботы и коботы. Автоматическая загрузка и выгрузка обрабатываемых изделий, замена инструмента. Быстрое изготовление инструментальной оснастки, производство прес-форм методом аддитивного производства (3D-Printing).
Система управления потоками ресурсов	Интеллектуально-психическая зависимость от электронных устройств. Разрозненные частичные данные. Несвоевременные решения на	Неспособность принятия решений. Низкая точность и скорость измерений. Снижение скорости реагирования на проблемы. Затраты на восстановление управляемости. Рост	Технология Big Data, расширенная аналитика, машинное обучение. Принятие решений на основе данных. Инженерное ПО: САПР PDM, PLM. Использование систем управления классов ERP, BI, APS, MES, MRP, CSCP, CAD/

	основе прошлого опыта. Коллапс системы из-за невозможности ручного управления. Физические модели и эксперименты с новыми продуктами. Проектирование по линейным моделям. Наличие несбалансированной загрузки производственного. Отсутствие оптимального распределения потоков по звеньям. Излишние резервы материально-технической базы. Отсутствие аналитики причин и последствий сбоев. Логистика и перемещение в «ручном» режиме.	затрат на модели, на производство классических макетов, проектирование, низкая надежность конструкции, рост затрат и материалоемкости. Превышение сроков формирования необходимой технологической документации и решения задач. Рост запасов и простоев, потеря времени. Низкая загрузка оборудования. Затраты на устранение повторяющихся проблем.	CAE/CAM, PLM, CALS. Подтверждение реализуемости решений и соответствия требованиям, одновременная совместная работа. Прогноз результатов исходя из анализа и оптимизации режимов всей технологической цепочки. Диспетчерское управление оборудованием, беспилотниками, дронами. Подготовка управляющих программ для всего станочного парка ЧПУ-оборудования на предприятии. Контроль загрузки оборудования. Перераспределение работ на свободные мощности в распределенном производстве. Система обратной связи и самообучения. Возможность автоматизировать изменения. Автоматизированная сортировка, подбор и перемещение деталей и комплектующих с мест хранения к местам обработки и сборки. «Умные» конвейерные системы для перемещения лотков и коробок между рабочими станциями. Перемещение грузов под управлением интеллектуальных беспилотных транспортных систем.
Совокупность процессов преобразования потоков	Процессы с низким уровнем технологий. Влияние человеческого фактора, монотонность, рутинизация работы. Наличие несбалансированной системы, не сопряженных по качеству и производительности элементов. Отсутствие производственной кооперации. Низкая механизация и автоматизация процессов.	Рост длительности технологических операций. Снижение надежности и точности. Рост брака и затрат на исправление ошибок. Удлинение маршрутов движения. Замедление движения потока. Рост затрат на производство вместо покупки. Рост затрат живого труда.	Изготовление деталей, близких к заданной форме, методом аддитивного производства (3D-Printing) без инструментальной оснастки с минимальной последующей обработкой. Создание персональной и безопасной рабочей среды, управление микроклиматом. Безлюдное производство. Контроль движения работника методами смешанной реальности (Mixed Reality). Работа по модели SaaS для промышленных объектов. Автоматизация выполнения опасных и тяжелых операций, сочетание нескольких видов обработки.
Совокупность технологий и инструментов развития, трансформирующих систему	Сбой информационной подсистемы. Расширение числа запросов на внедрение технологий. Дублирование функционала в разных решениях.	Затраты на восстановление работоспособности системы. Рост избыточных ресурсов, низкая загрузка и связанные с этим непроизводительные затраты.	Переподготовка работников, корпоративное обучение. Элементы резервирования данных, дублирование систем. Мониторинг и анализ рынка инноваций. Импортозамещение технологий. Совместная разработка и облачное использование.

Окончание табл. 2
Ending of the table 2

Источник риска	Событие или неопределенность	Последствия проявления риска	Способ обработки риска
Совокупность процессов трансформации системы	Отсутствие решений на рынке. Невозможность адаптации корпоративных решений. Неприменимость инструмента из-за неадекватной оценки эффективности технологий с точки зрения ее вклада в создание ценности для клиента. Несбалансированность новых и унаследованных ключевых технологий. Отсутствие интероперабельности ИТ-инфраструктуры.	Рост стоимости внедрения. Увеличение сроков проекта. Закрывание проекта. Рост запасов, остановка потока. Нарушение работоспособности. Затраты по восстановлению прерывания главных бизнес-процессов. Затраты на защиту и ликвидацию последствий утечки информации и киберпреступности.	Создание экосистемы поставщиков технологий. Поддержка стартапов. Развитие компетенций поставщиков решений. Организация «песочниц» для отработки технологий. Повышение опыта и компетенции участвующих в проекте.
	Расширение числа запросов на внедрение технологий. Отсутствие достаточного бюджета на ЦТ. Отсутствие плана и дорожной карты ЦТ. Отсутствие ответственных за ЦТ. Рост активного или пассивного сопротивления ЦТ со стороны сотрудников и линейных руководителей. Кадровый дефицит, слабая обучаемость персонала. Сложности взаимодействием с компанией-вендором цифрового решения. Конфликт с корпоративной культурой. Отсутствие четкого плана миграции бизнес-критичных приложений. Отсутствие системности во внедрении технологий.	Недофинансирование проекта. Рост инвестиций в проект. Рост стоимости внедрения. Остановка проекта. Срыв сроков завершения. Расходы сверх бюджета проекта. Значительные расходы на изменения. Затраты на коммуникацию и мотивацию персонала.	Контроль соответствия потребностей и функций. Отбор решений. Разработка и реализация комплексного плана ЦТ. Создание органа управления, планирования, организации и контроля исполнения программы ЦТ. План развития цифровой культуры. Использование зрелых «отработанных» технологий, корпоративных решений. Работы по повышению вовлеченности и компетенции персонала. Развитие институциональной среды и инфраструктурного обеспечения ЦТ. Совместное использование трудовых ресурсов/профессиональных навыков при частичной занятости и дистанционной работе.

Источник: разработано автором.
Source: author's developed.

Оценку рисков предлагается осуществлять при помощи стоимостного показателя — общая стоимость риска (Overall Value at Risk, VaR). Этот статистический показатель отражает сумму денег, которую ПЛС ожидают потерять в течение определенного периода времени с заданной вероятностью — (обычно 95 или 99 %). VaR характеризуется тремя параметрами: временной горизонт; доверительный уровень (confidence level) или уровень допустимого риска; базовая валюта, в которой измеряется показатель.

Величина VaR рискового события зависит от вероятности его наступления (Probability of Risk Event, P) и эффекта его действия, выраженного в деньгах (Monetized Impact of Risk Event, MI), определяется по формуле

$$\text{VaR}_k = P_k \cdot \text{MI}_k,$$

где P_k — вероятность наступления k -го рискового события; MI_k — эффекта действия k -го рискового события, р.

Система работает с рисками дисфункциональности (RS_I), с определенной степенью вероятности утраты устойчивости функционирования и результативности.

Управление отклонениями рисков позволяет контролировать их уровень и оценить влияние на устойчивость. Ее размеры отклонения рисков можно оценить через сопоставление реальной величины VaR_p рискового события и моделируемой величины, зафиксированной в ЦД как эталонное VaR_m , и проверку соответствия их отклонения заданным лимитам, что можно выразить формулами

$$\begin{aligned} \Delta \text{VaR}_t &= \text{VaR}_p - \text{VaR}_m, \\ \Delta \text{VaR}_t &\subseteq (\lim O_n; \lim O_v), \end{aligned}$$

где ΔVaR_t — отклонение величины общей стоимости риска в t -й момент времени; VaR_p — массив реальной величины общей стоимости риска; VaR_m — массив моделируемой целевой величины общей стоимости риска; $\lim O_n$ — нижний допустимый предел отклонения; $\lim O_v$ — верхний допустимый предел отклонения.

Это позволяет выбрать меры по недопущению разрушения системы при выходе за лимиты общей стоимости риска: при малых отклонениях — восстановление ее свойств, адаптацию к новым условиям за счет сужения компонентов или связей системы; при существенном накоплении до критического уровня противоречий — ее реинжиниринг как радикальное обновление.

Цикл «разрушение — созидание» системы происходит неоднократно вследствие природы подрывных технологий цифровой экономики, а также может быть обеспечен рядом логистических технологий и инструментов. Развитие через создание и поиск, отбор и внедрение инновационных решений и лучших практик позволяет в ИЦД формировать базы знаний для совершенствования процессов логистики и производства в будущем.

Заключение

В результате проведенного исследования нами выделены и систематизированы специфические риски цифровой трансформации ПЛС. Предложена интегрированная система управления процессами формирования ПЛС. Управление проектами цифровой трансформации ПЛС предлагается осуществлять на базе авторского гибридно-интеграционного подхода «Бережливое гибкое цифровое управление развитием» — Lean + Agile + Digital Development management. В отличие от существующих подходов в ней классические методы управления рисками, достаточно глубоко проработанные, дополняются Lean + Agile-подходом, обеспечивающим синхронизацию проектных работ в условиях неопределенности, при тонком управлении и организации быстрой передачи знаний. При этом из цифрового менеджмента предлагается использовать интеллектуальный цифровой двойник, позволяющий моделировать и оптимизировать состав и процессы ПЛС.

Новизна предложений заключается в обосновании алгоритма развития ПЛС, в котором формирование ПЛС рассматривается в условиях неопределенности как сеть переходов ПЛС из заданного состояния в новое. В алгоритме выделены риски функционирования системы и риски проектов. Модуль имитационного моделирования интеллектуального ЦД позволяет решать задачу поиска набора и последовательности мероприятий проектов трансформации, обеспечивающих рост результатов функционирования и снижение общей стоимости рисков ПЛС. Установлены механизмы интеллектуального цифрового двойника, где выполняется оценка и анализ рисков

и их последствий, предиктивная аналитика и рекомендации по регулированию вариабельности процессов системы и выработки мер оптимизации и управления рисками.

Предложенная классификация рисков цифровой трансформации ПЛС с выделением места, масштаба и качества проявления, источников риска, его последствий легла в основу разработки авторских методических рекомендаций по обработке рисков цифровой трансформации в целях снижения их негативных последствий. В отличие от существующих, в рекомендациях меры снижения рисков выделены в разрезе совокупности потоков, проходящих через систему; производственных ресурсов, формирующих компоненты ПЛС, процессов управления потоками ресурсов в системе, преобразования потоков в системе, что позволяет снижать риски в действующих системах. В то же время рекомендации по блокам совокупности технологий и инструментов развития, трансформирующих ПЛС и процессов управления трансформацией системы, предназначены для обработки риска проектов трансформации.

Список использованных источников

1. Мясникова, О. В. Развитие производственно-логистических систем: теория, методология и механизмы цифровой трансформации / О. В. Мясникова. — Минск : Ин-т бизнеса БГУ, 2021. — 266 с.
2. Мясникова, О. В. Теоретико-концептуальные подходы к формированию производственно-логистической системы «Умного производства» как социкиберфизической системы / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. — 2020. — №1(7). — С. 29–35.
3. Солодовников, С. Ю. Экономика рисков как результат цифровой трансформации экономической системы общества / С. Ю. Солодовников // Управление инновациями — 2019 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 13–15 ноября 2019 г. / под ред. Р. М. Нижегородцева, Н. П. Горидько. — М., 2019. — С. 63–66.
4. Бизин, С. В. Цифровая экономика: понятие, сущность, риски / С. В. Бизин, И. О. Гурьева // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 1–20 мая 2019 г. — Белгород, 2019. — С. 59–65.
5. Захаров, В. Я. Управление рисками цифровой трансформации сложных экономических систем / В. Я. Захаров, В. Г. Фролов // На страже экономики. — 2020. — № 1(12). — С. 37–43. <https://doi.org/10.36511/2588-0071-2020-1-37-43>.
6. Безопасность сложных экономических систем: управление рисками их цифровой трансформации / В. Я. Захаров, Е. Н. Лудушкина, Е. В. Корнилова, М. В. Кислинская // Экономический анализ: теория и практика. — 2021. — Т. 20, № 4(511). — С. 592–623. <https://doi.org/10.24891/ea.20.4.592>.
7. Кузовкова, Т. А. Риски цифровой трансформации экономики и общества и инструментарий управления экономической безопасностью бизнеса в цифровой среде / Т. А. Кузовкова, Т. Ю. Салютин // Эл. науч. журнал «Век качества». — 2024. — №1. — С. 63–87. — URL: <http://www.agequal.ru/pdf/2024/124005.pdf> (дата обращения: 12.05.2024).
8. Риски цифровой трансформации промышленного предприятия / В. Э. Зайковский, А. В. Карев, А. А. Малик, М. А. Штайгер // Проблемы анализа риска. — 2021. — Т. 18, № 5. — С. 48–55. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-5-48-55>.
9. Головина, Т. А. Управление рисками организаций в условиях цифровой экономики / Т. А. Головина, И. Л. Авдеева, Д. А. Суханов // Вестник Академии знаний. — 2022. — № 48(1). — С. 55–61. <https://doi.org/10.24412/2304-6139-2022-48-1-55-61>.
10. Масленников, В. В. Формирование системы цифрового управления организацией / В. В. Масленников, Ю. В. Ляндау, И. А. Калинина // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. — 2019. — № 6 (108). — С. 116–123. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2019-6-116-123>.
11. Александрова, Т. В. Цифровизация как современный тренд развития менеджмента производственных организаций / Т. В. Александрова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. — 2019. — Т. 13, № 3. — С. 137–144.
12. Михненко, П. А. Цифровой менеджмент: модели развития концепции / П. А. Михненко // Инновации в менеджменте. — 2020. — № 3. — С. 30–39.
13. Мясникова, О. В. Цифровая трансформация производственно-логистических систем: организация, эффективность и риски / О. В. Мясникова // Повышение эффективности деятельности организации в условиях современной экономики : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–29 мая 2021 г. / Ин-т бизнеса БГУ. — Минск, 2021. — С. 280–286.

14. Мясникова, О. В. Методологические подходы к обеспечению эффективности процесса цифровой трансформации производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. — Минск, 2021. — Вып. 5. — С. 175–183.

15. Мясникова, О. В. Интеллектуальный цифровой двойник производственно-логистической системы: методика построения и использования для оптимизации системы / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. — Минск, 2023. — Вып. 7. — С. 103–116.

16. Мясникова, О. В. Моделирование эффектов цифровой трансформации производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. — Минск, 2023. — Вып. 8. — С. 114–128.

References

1. Miasnikova O.V. *Development of production and logistics systems: theory, methodology and mechanisms of digital transformation*. Minsk: School of Business of BSU, 2021. 266 p. (in Russian).

2. Miasnikova O.V. Theoretical and conceptual approaches to the formation of the production-logistics system of Smart Manufacturing as a sociocyberphysical system. *Ekonomika. Upravlenie. Innovatsii = Economics. Management. Innovations*, 2020, no.1, pp. 29–35 (in Russian).

3. Solodovnikov S. Y. Economics of risks as a result of the digital transformation of the economic system of society. *Upravlenie innovatsiyami 2019 : materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Innovation Management – 2019 : materials of the International Scientific and Practical Conference], Moscow, 2019, pp. 63–66 (in Russian).

4. Bizin S. V., Guryeva I. O. Digital economy: concept, essence, risks. *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova* [International Scientific and Technical Conference of young Scientists of BSTU named after V. G. Shukhov]. Belgorod, 2019, pp. 59–65 (in Russian).

5. Zakharov V. Ya., Frolov V. G. Risk management of digital transformation of complex economic systems. *Na strazhe ekonomiki = On guard of economics*, 2020, № 1(12), pp. 37–43. <https://doi.org/10.36511/2588-0071-2020-1-37-43> (in Russian).

6. Zakharov V. Ya., Latushkina E. N., Kornilova E. V., Kislinkaya M. V. Security of complex economic systems: risk management of their digital transformation. *Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2021, vol.20, no. 4(511), pp. 592–623. <https://doi.org/10.24891/ea.20.4.592> (in Russian).

7. Kuzovkova T. A., Salyutina T. Y. Risks of digital transformation of the economy and society and the management of economic security of business in the digital environment. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Vek kachestva»* [Electronic scientific journal «Century of Quality»]. 2024, no. 1, pp. 63–87. Available at: <http://www.agequal.ru/pdf/2024/124005.pdf> (accessed 12 May 2024) (in Russian).

8. Zaikovskiy V. E., Karev A. V., Malik A. A., Steiger M. A. Risks of digital transformation of an industrial enterprise. *Problemy analiza riska = Problems of Risk Analysis*, 2021, vol. 18, no. 5, pp. 48–55. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-5-48-55> (in Russian).

9. Golovina T. A., Avdeeva I. L., Sukhanov D.A. Risk management of organizations in the digital economy. *Vestnik Akademii znaniy = Bulletin of the Academy of Knowledge*, 2022, no. 48(1), pp. 55–61. <https://doi.org/10.24412/2304-6139-2022-48-1-55-61> (in Russian).

10. Maslennikov V. V., Lyandau Yu.V., Kalinina I. A. Formation of the digital management system of the organization. *Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova = Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics*, 2019, no. 6(108), pp. 116–123. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2019-6-116-123> (in Russian).

11. Alexandrova T. V. Digitalization as a modern trend in the development of management of industrial organizations. *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i menedzhment = Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 137–144 (in Russian).

12. Mikhnenko P. A. Digital management: models of concept development. *Innovacii v menedzhmente = Innovations in Management*, 2020, no. 3, pp. 30–39 (in Russian).

13. Miasnikova O. V. Digital transformation of production and logistics systems: organization, efficiency and risks. *Povyshenie effektivnosti deyatel'nosti organizatsii v usloviyakh sovremennoi ekonomiki: sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Improving the efficiency of an organization's activities in a mod-

ern economy: collection of materials of the International Scientific and Practical Conference]. Minsk, 2021, pp. 280–286 (in Russian).

14. Miasnikova O. V. Methodological approaches to ensure effectiveness of production-logistics systems digital transformation process. *Biznes. Innovatsii. Ekonomika = Business. Innovations. Economics*, Minsk, 2021, iss. 5, pp. 175–183 (in Russian).

15. Miasnikova O. V. Intelligent digital twin of the production and logistics system: methodology of construction and use for system optimization. *Biznes. Innovatsii. Ekonomika = Business. Innovations. Economics*, Minsk, 2023, iss. 7, pp. 103–116 (in Russian).

16. Miasnikova O. V. Modeling the effects of digital transformation of production and logistics systems. *Biznes. Innovatsii. Ekonomika = Business. Innovations. Economics*, Minsk, 2023, iss. 8, pp. 114–128 (in Russian).

Информация об авторе

Мясникова Ольга Вячеславовна — кандидат экономических наук, доцент; доцент кафедры логистики, Институт бизнеса БГУ, e-mail: miasnikovaov1@gmail.com

Information about the author

Miasnikova O. — PhD in Economic sciences, Associate Professor; Associate Professor at the Department logistics, School of Business of BSU, e-mail: miasnikovaov1@gmail.com

Статья поступила в редколлегию 03.10.2024

Received by editorial board 03.10.2024