

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О. В. Мясникова

*кандидат экономических наук, доцент, Институт бизнеса Белорусского государственного университета, кафедра логистики, г. Минск, Республика Беларусь,
e-mail: miasnikovaov1@gmail.com*

Статья посвящена вопросам моделирования и оптимизации проектных решений в ходе формирования производственно-логистических систем. Цель исследования – описать методические подходы к моделированию производственно-логистических систем. Предложено применение модельно-ориентированного проектирования систем на базе цифровых двойников. Данный подход включает создание цифровых двойников продуктов и производственных процессов, моделирование производственно-логистической системы и процессов ее трансформации. Выводы и методические рекомендации по моделированию и оптимизации проектных решений будут полезны для осуществления цифровой трансформации производства.

Ключевые слова: производственно-логистическая система; цифровая трансформация; управление; моделирование; цифровые двойники.

THE UTILIZATION OF DIGITAL TWINS IN THE MODELING AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION AND LOGISTICS SYSTEMS

O. V. Miasnikova

*PhD in economics, associate professor, School of Business of Belarusian State University,
department of logistics, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: miasnikovaov1@gmail.com*

The article is devoted to the issues of modeling and optimization of design solutions during the formation of production and logistics systems. The purpose of the study is to describe methodological approaches to the modeling of production and logistics systems. The application of model-oriented design of systems based on digital twins is proposed. This approach includes the creation of digital twins of products and production processes, modeling of the production and logistics system and its transformation processes. Conclusions and methodological recommendations on modeling and optimization of design solutions will be useful for the implementation of digital transformation of production.

Keywords: production and logistics system; digital transformation; management; modeling; digital twins.

Введение. Производственно-логистическая система (ПЛС) как сложная, открытая, адаптивная система с обратной связью, охватывает относительно устойчивую совокупность звеньев цепи создания ценности. Проектирование ПЛС включает объединение звеньев в пределах цикла производства и обеспечение сквозного управления материальными, сервисными и сопутствующими потоками для придания им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды. В работах [1; 2] доказано, что за счет

освоения инновационных и цифровых технологий в ходе цифровой трансформации ПЛС (ЦТ ПЛС) становится возможным существенное повышение ее эффективности. Нами разработаны теоретико-методологические основы и механизм проведения ЦТ ПЛС [1; 2], модель влияния технологий и инструментов цифровой экономики на изменения бизнес-модели работы, процессов, состава и структуры ПЛС как ее базовых элементов [3], спиральная модель и сценарии изменения ПЛС в ходе цифровой трансформации [4], а также методика формирования системы оценки результативности и эффективности ЦТ ПЛС [5]. Вместе с тем проблема принятия оптимальных проектных решений стоит достаточно остро и в полной мере не решена.

Результаты и обсуждения. В ходе проведенных исследований нами установлено, что наиболее эффективным методом является применение модельно-ориентированного проектирования систем на базе цифровых двойников (ЦД).

Технология ЦД для моделирования сложных, комплексных разнородных объектов различной природы раскрывается в работах [6; 7]. Профессор А. И. Боровков указывает, что ЦД как матрица требований и ограничений предназначена для рациональной «балансировки» большого количества целевых характеристик как объекта в целом, так и его компонентов в отдельности, которые, как правило, конфликтуют между собой как на одном этапе, так и на разных стадиях жизненного цикла [6]. Объединение ЦД продукта и ЦД производства в рамках единой цифровой модели на основе выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний в процессе «цифровой сертификации» ведет к формированию «умного» цифрового двойника первого уровня [6]. Уровень адекватности ЦД повышает «умная» цифровая тень объекта, создаваемая за счет оперативной информации о функционировании объекта при помощи промышленного интернета вещей.

Для моделирования и оптимизации ПЛС предлагается последовательное создание и использования в ходе проектирования цифровых двойников продуктов, производственных процессов, ПЛС и процесса ее трансформации.

Производимые изделия следует оцифровать, т. е. создать математическую модель совокупности его компонентов (деталей, узлов), которая является центральным звеном цепочки CAD/CAM/CAE/PLM систем. PMI-данные из 3D-моделей как ЦД могут передаваться в САМ-систему, где подбираются технологии обработки. Сократить сроки формирования необходимой технологической документации, время процедур технического контроля становится возможным благодаря интеграции систем. ЦД используется как модель при изготовлении реальных деталей на оборудовании с ЧПУ; как компонент объемной сборки для наглядного представления изделия для проверки возможных конфликтов собираемости, взаимных пересечений, соударений и т. п.; как составная часть расчетных алгоритмов, например, анализа прочности; как эталон для контроля точности и качества.

На базе ЦД продукции необходимо создать цифровой двойник производственных процессов, который описывает информацию о потоках, звеньях, элементах системы, участвующих в создании продукции. ЦД производственного процесса включает целевые показатели и ресурсные ограничения (ресурсные, технологические, экономические, экологические) и представляет собой многоуровневую матрицу комбинации объемов ресурсов различной природы (материальные, информационные, интеллектуальные, трудовые) и параметры потоков ресурсов в

пространстве и во времени. Совокупность ЦД производственных процессов образует ЦД производства.

ЦД производства позволит подбирать под требования и ограничения исполнителей процессов - потенциальных участников ПЛС. Унифицированные типовые изделия, элементы и узлов, доведенные до потенциальных участников ПЛС в виде данных, четко структурированных и легко интегрируемых в IT-систему производителей, не только позволяют повысить скорость «подборки» участника в ПЛС, но и ускорить сам процесс освоения нового изделия на предприятиях-производителях. Элементы изделия, оцифрованные по единым стандартам платформы и представленные в виде 3D-моделей, становятся пулом «заказов», для размещения на цифровой платформе контрактного производства [1; 2]. Для оптимизации проектных решений достижение эффективной комбинации следует оценивать по многофакторной системе оценки, где цена приобретения уступает свои позиции стоимости владения [5].

Цифровой двойник ПЛС как программный ее аналог создается для ее виртуального моделирования и оптимизации. Он отражает совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных материальных, информационных, сервисных, финансовых потоков, проходящих через звенья ПЛС. В ЦД находят отражение состав, форма, качественные параметры, источники и методы получения, преобразования, перемещения, хранения каждого из элементов, формирующих потоки. Непрерывный инжиниринг и модельно-ориентированное проектирование системы (Model-Based Design) базируется на стратегии повторного использования ранее разработанных решений, обеспечение доступа к проектной документации в смежных областях проектирования, постоянной верификации как требований, так и проектных решений по формированию ПЛС. Это позволяет отказаться от парадигмы последовательного проектирования, осуществлять модельные испытания, виртуальные эксперименты, сценарное моделирование на основе комбинаторики свойств и параметров ПЛС [4]. ЦТ ПЛС непосредственно затрагивает каждый из элементов и процессов ПЛС, изменяя его в результате внедрения цифровых технологий и технологических инноваций. ЦД как виртуальная модель ПЛС должен отражать ее поэтапное преобразование в ходе трансформации. Важным элементом организации информационных потоков в процессе проектирования ПЛС является «цифровая нить» (Digital Thread). Это средство обеспечения «прослеживаемости» (traceability) причинно-следственных связей в сложных наборах разрозненных данных [7]. Цифровая нить обеспечивает непрерывность цифровой среды между стадиями трансформации ПЛС. Наличие цифровой нити предполагает такую организацию хранения информации, которая дает возможность ответить на вопрос: как принимались решения на разных этапах создания ПЛС; кто принимал эти решения; на каком наборе фактов они основывались; какие факты были доступны к моменту принятия решения.

Заключение. Применение цифровых двойников продуктов, процессов и производств позволит смоделировать оптимальное протекание процессов, определив наилучшие значения параметров потоковых процессов в ПЛС, оптимизирует производство. Цифровые двойники системы и процессов ее трансформации, а также цифровые нити обеспечивают непрерывность цифровой среды в механизме формирования ПЛС, гибкость, способность изменять конфигурацию

системы под индивидуальные требования клиентов, ускорение выхода новых продуктов на рынок, устойчивое функционирование даже в случае технологических или информационных сбоев, сглаживание последствий колебаний спроса.

Библиографические ссылки

1. *Мясникова О. В.* Развитие логистических систем в условиях цифровой трансформации бизнеса. Минск : Коллоград, 2019. 203 с.
2. *Мясникова О. В.* Развитие производственно-логистических систем: теория, методология и механизмы цифровой трансформации. Минск : Институт бизнеса БГУ, 2021. 266 с.
3. *Мясникова О. В.* Модель влияния технологий цифровой экономики на базовые элементы производственно-логистических систем // Экономика. Управление. Инновации. 2021. № 2 (10). С. 53–59.
4. *Мясникова О. В.* Спиральная модель и сценарии изменения производственно-логистических систем в ходе цифровой трансформации // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. Минск, 2022. Вып. 6. С. 229–238.
5. *Мясникова О. В.* Методологические подходы к обеспечению эффективности процесса цифровой трансформации производственно-логистических систем // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. Минск, 2021. Вып. 5. С. 175–183.
6. *Боровков А. И.* Цифровые двойники и цифровые тени в высокотехнологичной промышленности [Электронный ресурс]. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/197616357>. (дата обращения: 12.01.2023).
7. *Прохоров А., Лысачев М.* Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / Научный редактор: профессор Боровков А. М. : ООО«АльянсПринт»; 2020.401 с.