

Разработка цифрового двойника производственной системы на базе современных цифровых технологий

И.С. Паршина, Е.Б. Фролов

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

Аннотация. В настоящее время большинство предприятий по всему миру осуществляет переход к концепции Индустрии 4.0. Для этого предприятиям, прежде всего, необходимо выбрать путь (концепцию (концепции) из шести возможных, входящих в Индустрию 4.0). В данной статье были рассмотрены две из них – PLM и Smart Factory как концепции, которые неразрывно связаны с понятием «цифровой двойник» (набор компьютерных моделей, который позволяет виртуально проектировать, проверять и оптимизировать детали, изделия и технологические процессы или целые производственные системы), которое, в свою очередь, является основой для рассмотрения определения «цифровой производственной системы». Использование «цифрового двойника» подразумевает неразрывную связь между материальными и виртуальными (цифровыми) объектами, что выражается в принципе «цифрового дуализма», без понимания данной связи его использование представляется невозможным.

Показано, что «цифровой двойник» является способом оптимизации и управления материальными потоками предприятия на этапе изготовления продукции. При этом базовым программным обеспечением может являться производственная система MES.

Доказано, что при переходе к новой концепции неизбежной становится необходимость рассмотрения всех бизнес-процессов компании с их последующей оптимизацией. Процесс оптимизации включает следующие этапы: планирование, редизайн, привлечение ресурсов, тестирование, внедрение, непрерывное совершенствование.

В качестве примеров успешного применения технологии «цифрового двойника» приведена реализация в компаниях ПАО «Газпромнефть» и Alstom, что подтверждает необходимость перехода к концепции Индустрия 4.0 для снижения затрат на ремонт, сокращения времени работы с информацией, снижения числа дефектов и т.д.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, концепция, PLM, Smart Factory, цифровой двойник, цифровой дуализм, цифровая производственная система, MES, оптимизация бизнес-процессов

Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies

I.S. Parshina, E.B. Frolov

Moscow State Technological University «STANKIN»
127055, Moscow, Vadkovsky Per., 3a

Abstract. Nowadays, most enterprises around the world are in the process of transition to the concept of Industry 4.0. First of all, they should choose the way/ways (concept/concepts) out of six concepts of Industry 4.0. In this article two of them were discussed: PLM and SMART Factory, because they are connected with the notion of «digital twin» (set of computer models, which allows to design virtually, test and optimize parts, products and processes or entire production systems), which is the basis for considering the definition of a «digital production system». By using «digital twin» the inextricable connection is created between material and virtual (digital) objects, which means «digital dualism», the usage of «digital twin» is impossible without understanding of this connection.

It is presented that «digital twin» is a way of optimization and material management of enterprise at the stage of manufacturing products. In this case, the basic software may be the production system MES. It has also been proved that in the transition to a new concept, the need to consider all the company's business processes with their subsequent optimization becomes inevitable. The optimization process includes the following steps: planning, redesign, resource mobilization, testing, implementation, continuous improvement.

As examples of the successful use of the digital twin, the implementation of PJSC Gazprom Neft and Alstom is given, which confirms the need to move to the Industry 4.0 concept to reduce repair costs, reduce information time, reduce the number of defects, etc.

Keywords: Industry 4.0, concept, PLM, Smart Factory, digital twin, digital dualism, digital production system, MES, business process optimization

For citation: Parshina I.S., Frolov E.B. Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies. *Ekonomika v promyshlennosti = Russian Journal of Industrial Economics*, 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 29–34. (In Russ.). DOI: 10.17073/2072-1633-2020-1-29-34

Введение

В настоящее время большинство современных промышленных предприятий – как российских, так и зарубежных – находятся на этапе перехода к концепту четвертой промышленной революции Индустрия 4.0 [1]. В целях осуществления этого перехода в Российской Федерации создана программа «Цифровая экономика», реализация которой планируется до 2024 г. В рамках данной программы планируется осуществить комплексную цифровую трансформацию экономики и социальной сферы России через разработку законодательства в области цифровых технологий, модернизацию цифровой инфраструктуры, внедрение цифровых практик и подготовку соответствующих кадров [2]. Для понимания сущности мировых тенденций в переходе к концепции Индустрия 4.0 необходимо разобраться в следующих вопросах:

- какие существуют концептуальные подходы к реализации Индустриальной революции 4.0 [3];

- разобрать понятия «цифрового дуализма» и «цифровых двойников» изделия и производственной системы;

- проанализировать влияние технологий Индустрии 4.0 на оптимизацию бизнес-процессов промышленных предприятий в целях достижения устойчивого развития;

- рассмотреть примеры предприятий, успешно реализовавших использование «цифровых двойников».

Понятия «цифрового дуализма» и «цифровых двойников» изделия и производственной системы

Упоминая концепцию Industry 4.0 (Индустрия 4.0), можно назвать шесть базовых концептуальных подходов к ее реализации:

- **PLM** (Product Lifecycle Management – «управление жизненным циклом изделия»),

что подразумевает под собой организационно-техническую систему управления жизненным циклом изделий, в основу которого входит принцип «цифрового дуализма»;

- **Big Data** («Большие данные») – термин, обозначающий большое количество разнообразных структурированных и неструктурированных данных, которые обрабатываются специализированными программными инструментами и решениями класса Business Intelligence;

- **Smart Factory** («Интеллектуальный завод») – эта концепция рассматривает в качестве источника информации для выполнения производственных задач как физический объект, так и цифровой двойник производственной системы;

- **Cyber-physical Systems** («Киберфизические системы») – концепция управления информационными потоками, которая выражается в объединении вычислительных и физических процессов в единую систему;

- **Internet of Things, IoT** («Интернет вещей») – это базовые принципы интеграции физических механизмов и устройств, объединенные в единую коммуникационную сеть со средствами сбора информации;

- **Interoperability** («Интероперабельность») – функциональная совместимость – возможность изделий и элементов производственной системы с открытыми интерфейсами взаимодействовать с другими изделиями.

Для связи понятий «цифрового дуализма» и «цифровых двойников» с концептуальными подходами необходимо понимать, что на стадии управления жизненным циклом изделия (PLM) создается «цифровой двойник» изделия, а на стадии организации производства и изготовления (Smart Factory) формируется цифровая модель материальных потоков, представляющая собой «цифровой двойник» производственной системы [1].

Производственная система – это вид организационно-технологической системы, кото-

рая состоит из средств и предметов производства, базы конструкторско-технологической информации, производственных процессов и комплексов управления ими. Функционируя как единое целое, они позволяют создавать изделия, которые отвечают своему служебному назначению. Производственная система рассматривается как материальный объект, тогда как «цифровой двойник» – это набор компьютерных моделей, который позволяет виртуально проектировать, проверять и оптимизировать детали, изделия и технологические процессы или целые производственные системы [4–5].

«Цифровой двойник» изделия применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия. Они бывают трех видов:

1. Цифровые двойники-прототипы (Digital Twin Prototype, DTP). Это так называемая условно-постоянная виртуальная модель изделия, которая содержит информацию для описания и создания физических версий экземпляров изделия.

2. Цифровые двойники-экземпляры (Digital Twin Instance, DTI). Базой для его создания является DTP-двойник, но он представляет собой конкретный физический экземпляр семейства изделия, с которым двойник остается связанным на протяжении всего срока службы. DTI-двойник изменяется в соответствии с изменениями физического экземпляра.

3. Агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA). Эти двойники управляют всеми «цифровыми двойниками» изделия и являются информационной системой, которая управляет физическими экземплярами семейства изделия [6].

Как видно из определения «цифрового двойника», можно сделать не только копию изделия, но и «виртуальную» копию производственной системы, которая представляет собой инжиниринговую модель ПС и эксплуатационную модель ПС. Из «виртуальной» копии и самого материального объекта и возникает понятие «цифрового дуализма», которое подразумевает между собой неразрывную связь между материальными и виртуальными (цифровыми) объектами, что позволяет использовать «цифровые двойники» для оптимизации и управления материальными потоками предприятия на этапе изготовления продукции [7]. При этом базовым программным обеспечением может являться производственная система MES (Manufacturing Execution Systems) [8].

Влияние концепции Индустрия 4.0 на бизнес-процессы компании

Из всего вышеизложенного возникает резонный вопрос: как же новые технологии, реализуемые в рамках концепции Индустрия 4.0, повлияют на текущие бизнес-процессы промышленных компаний? Бизнес-процесс – это деятельность, на входе которой используется один или несколько ресурсов и на выходе создается результат, представляющий ценность для клиента [9–12]. То есть по факту бизнес-процесс – это совокупность последовательности работ. Но не все бизнес-процессы приносят ценность предприятию, потому что наряду с основными процессами предприятия существуют вспомогательные и управляющие бизнес-процессы. И порой более низкоуровневые процессы являются убыточными, поэтому нельзя рассматривать только процессы для получения ценности при комплексном рассмотрении уровня зрелости процессов компании и проведении последующей оптимизации.

Невозможно провести совершенствование бизнес-процессов без понимания их внутреннего устройства, так как нельзя провести анализ последовательности работ и проследить связи со смежными процессами. Для этого можно прибегнуть к моделированию бизнес-процессов в различных нотациях. Наиболее предпочтительными нотациями для внедрения технологий Индустрия 4.0 являются BPMN (Business Process Management Notation) 2.0 и IDEF, так как они допускают разноуровневое моделирование и обладают специфическими особенностями.

Существует два подхода к оптимизации бизнес-процессов:

- формальный подход характеризуется тем, что имеет определенный набор шаблонов и четкий регламент проведения анализа, что, в свою очередь, потребует определенных навыков для его проведения.
- прагматичный подход противоположен формальному, он состоит из таких операций, как «планирование – действие – проверка – корректировка».

Улучшение бизнес-процессов приводит к повышению эффективности работы компании. В частности, с помощью нее мы можем: повысить прозрачность деятельности компании, определить проблемные зоны, классифицировать все процессы, повысить качество выпускаемой продукции через определение «узких мест» с помощью моделирования процессов AS-IS («как есть») и их устранение через демонстрацию работ в процессе TO-BE. Этапы прове-



Этапы оптимизации бизнес-процесса
[Stages of business process optimization]

дения оптимизации бизнес-процессов представлены на **рисунке**.

В условиях перехода к Индустрии 4.0 проводится автоматизация деятельности, которая фактически схожа со схемой оптимизации бизнес-процессов [13–16].

Примеры успешного применения «цифровых двойников»

Уже сейчас есть успешные примеры перехода к Индустрии 4.0 с использованием концепции «цифровых двойников». Так, например, французская машиностроительная компания Alstom применила «цифровой двойник» для отображения функционирования всего парка поездов железной дороги WCML. Компания смогла оценить работу всей системы и выявить «узкие места», исследовать различные способы технического обслуживания поездов и сравнить различные сценарии. Все это позволило избежать лишних убытков через подбор оптимального решения для технического обслуживания поездов, учитывая существующие эксплуатационные ограничения [17].

В компании ПАО «Газпромнефть» используются технологии Индустрии 4.0 для оптимизации процессов добычи. В результате исполь-

зования внедренной системы «Когнитивный геолог», которая работает на основе искусственного интеллекта, анализируя геологические объекты, компания планирует снизить процедуры сбора, обработки и интерпретации информации в шесть раз [18].

Заключение

Подводя итог изложенному, можно сделать следующие выводы:

1. Всего существует шесть концепций Индустрии 4.0, наибольший интерес из которых вызывает концепция Smart Factory.

2. «Цифровой двойник» и «цифровая производственная система» – термины, характеризующие «виртуальные» копии изделия и производственной системы, позволяющие говорить об оптимизации производства и концепции Smart Factory в целом.

3. Оптимизация бизнес-процессов в рамках перехода к Индустрии 4.0 приводит к повышению эффективности работы компании, в частности с помощью нее мы можем: повысить прозрачность деятельности компании, определить проблемные зоны, классифицировать все процессы, повысить качество выпускаемой продукции.

4. Технологии Индустрии 4.0 способны помочь достичь предприятиям: снижения затрат на ремонт, сокращения времени работы с информацией, снижения числа дефектов и т.д. Но при этом необходимо помнить, что каждое внедрение должно быть оправданно и иметь определенные цели.

Библиографический список

1. Фролов Е.Б., Паршина И.С., Зайцев А.С., Климов А.С. Индустрия 4.0: «Цифровой двойник» как средство повышения эффективности производственной системы // Научные технологии в машиностроении. 2019. № 2. С. 42–48.

2. Программа Цифровая экономика Россия 2024. URL: <https://data-economy.ru/> (дата обращения: 06.04.2019).

3. Что такое цифровизация? // executive.ru. 2018. URL: <https://www.e-executive.ru/management/itforbusiness/1989667-cto-takoe-tsifrovizatsiya> (дата обращения: 23.03.2019).

4. Feuer Z., Weissman Z. Преимущества «цифрового двойника». URL: <http://www.cadcamcae.lv/N113/50-53.pdf> (дата обращения: 06.04.2019).

5. Соломенцев Ю.М., Фролов Е.Б. «Цифровой двойник» производственной системы – перспективный инструмент повышения эффективности станочного парка машиностроительного предприятия // Станочный парк. 2018. № 8. С. 36–39.

6. Соломенцев Ю.М., Фролов Е.Б. «Цифровые двойники» изделия и производственной системы // Генеральный директор. 2018. № 8. С. 26–33.

7. Грюнвальд А. Создание цифрового завода будущего // САПР и графика. 2018. № 3. С. 68–69.

8. Фролов Е.Б. MES – базис для создания «цифрового двойника». URL: <https://www.e-executive.ru/management/practices/1989564-mes-bazis-dlya-sozdaniya-tsifrovogo-dvoynika?page=13#comments> (дата обращения: 06.04.2019).

9. Решетников И.С., Козлецов А.П. MES – теория и практика. М.: НГСС, 2012. Вып. 5. 112 с.

10. Решетников И.С., Козлецов А.П., Медведева Г.М. MES – теория и практика. М.: НГСС, 2011. Вып. 3. 98 с.

11. Паршина И.С., Паршин А.В. MES как один из ключевых компонентов современного российского производства // Станочный парк. 2019. № 5. С. 30–32.

12. Хаммер М., Чампи Д. Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2011. 288 с.

13. Лисовский А.Л. Оптимизация бизнес-процессов для перехода к устойчивому развитию в условиях четвертой промышленной революции // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 4. С. 10–19.

14. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.

15. Громов А.И., Фляйшман А., Шмидт В. Управление бизнес-процессами: современные методы. М.: Юрайт, 2016. 368 с.

16. Лапшин В.С. Управление процессами. Саранск : Изд-во Национального исследовательского мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва, 2015. 385 с.

17. Alstom создает цифрового двойника для принятия решений в сфере технического обслуживания парка поездов. URL: <https://www.anylogic.ru/digital-twin-of-rail-network-for-train-fleet-maintenance-decision-support/> (дата обращения: 06.04.2019).

18. «Газпромнефть» планирует к 2021 году вдвое снизить сроки капстроительства. URL: <https://ria.ru/20180920/1529019484.html> (дата обращения: 06.04.2019).

References

1. Frolov E.B., Parshina I.S., Zaytsev A.S., Klimov A.S. Industry 4.0: «Digital Counterpart» as means for effectiveness increase of production system. *Scientific-Technical and Production Journal*. 2019. No. 2. Pp. 42–48. (In Russ.)

2. Data Economy Russia 2024.. Available at: <https://data-economy.ru/> (accessed: 06.04.2019). (In Russ.)

3. What is digitalization? *executive.ru*. 2018г. Available at: <https://www.e-executive.ru/management/itforbusiness/1989667-cto-takoe-tsifrovizatsiya>. (accessed: 23.03.2019). (In Russ.)

4. Feuer Z., Weissman Z. The advantages of the «digital twin». Available at: <http://www.cadcamcae.lv/N113/50-53.pdf> (accessed: 06.04.2019). (In Russ.)

5. Solomentsev Yu.M., Frolov Ye.B. The «digital twin» of the production system is a promising tool for increasing the efficiency of the machine park of a machine-building enterprise. *Stanochnyi park = Machine park*. 2018. No. 8. Pp. 36–39. (In Russ.)

6. Solomentsev YU.M., Frolov Ye.B. «Digital twins» products and production systems. *General'nyy direktor = CEO*. 2018. No. 8. Pp. 26–33. (In Russ.)

7. Gryunval'd A. Creating a digital *factory of the future*. *SAPR i grafika = CAD and graphics*. 2018. No. 3. Pp. 68–69. (In Russ.)

8. Frolov E.B. MES - the basis for creating a «digital twin». Available at: <https://www.executive.ru/management/practices/1989564-mes-bazis-dlya-sozdaniya-tsifrovogo-dvoynika?page=13#comments> (appeal accessed: 06.04.2019). (In Russ.)

9. Reshetnikov I.S., Kozletsov A.P. *MES – teoriya i praktika* [MES - theory and practice]. Moscow: NGSS, 2012. Issue 5. 112 p. (In Russ.)

10. Reshetnikov I.S., Kozletsov A.P., Medvedeva G.M. *MES – teoriya i praktika* [MES - theory and practice]. Official materials of the association MESA International. Moscow: NGSS, 2011. Issue 3. 98 p. (In Russ.)

11. Parshina I.S. MES as one of the key components of modern Russian production. *Stanochnyi park = Stanochny Park*. 2019. No. 5. Pp. 30–32. (In Russ.)

12. Khammer M., Champi D. Reengineering the Corporation A Manifesto for Business Revolution. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2011. 288 p. (In Russ.)

13. Lisovsky A.L. Optimization business processes for transition to a sustainable

development in the conditions of the fourth industrial revolution. Strategic decisions and risk management). *Strategic decisions and risk management*. 2018. No. 4. Pp. 10–19. (In Russ.)

14. Repin V.V., Yelifеров V.G. *Protsessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovaniye biznes-protsessov* [Process approach to management. Business process modeling]. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2013. 544 p. (In Russ.)

15. Gromov A., Flyayshman A., Shmidt V. *Upravleniye biznes-protsessami: sovremennyye metody* [Business Process Management: Modern Methods]. Moscow: Yurait, 2016. 368 p. (In Russ.)

16. Lapshin V.S. *Upravleniye protsessami* [Process management]. Saransk: Publishing house Mordov. University, 2015. 385 p. (In Russ.)

17. Alstom creates a digital twin for decision making in the field of train fleet maintenance. Available at: <https://www.anylogic.ru/digital-twin-of-rail-network-for-train-fleet-maintenance-decision-support/> (accessed: 04.06.2019). (In Russ.)

18. Gazprom Neft plans to halve the period of capital construction by 2021. Available at: <https://ria.ru/20180920/1529019484.html> (accessed: 04/06/2019). (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Паршина Ирина Сергеевна – аспирант, skyla95@rambler.ru, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 127055, Москва, Вадковский пер., д. 3а

Фролов Евгений Борисович – д-р техн. наук, профессор, fobos.mes@gmail.com, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 127055, Москва, Вадковский пер., д. 3а

Iria S. Parshina – Graduate Student, skyla95@rambler.ru, Moscow State Technological University «STANKIN», 3a Vadkovsky Per., Moscow 127055, Russia

Evgenii B. Frolov – Dr Sci. (Eng.), Professor, fobos.mes@gmail.com, Moscow State Technological University «STANKIN», 3a Vadkovskii Per., Moscow 127055, Russia

Поступила в редакцию 15.04.2019 г.; после доработки 17.01.2020 г.; принята к публикации 19.02.2020 г.