

УДК 658.5

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0016

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНДУСТРИИ 4.0

©2021

Шайхулова Айгуль Фазировна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Технологии машиностроения»;

Селиванов Сергей Григорьевич, доктор технических наук, профессор

Уфимский государственный технический университет

(450077, Россия, Уфа, ул. Карла Маркса, 12, e-mails: shaihulova@inbox.ru selivanov.s.g.@mail.ru)

Аннотация. В статье поднимается проблематика разработки стратегий цифровой трансформации производства, проводится литературный обзор дефиниций и методик, которые в настоящее время используются в проектах цифровизации ведущими экспертами в области. Статья носит ознакомительно-популяризационный характер, и ставит своей задачей обзор существующих исследований для постановки задачи методики цифровизации. На основании литературного обзора ставится постановка задачи формализации методики перехода к концепции Индустрии 4.0, которая обеспечит системный подход к решению задачи проектирования Smart Factories. Рассматриваются различные методы и подходы к проектированию и разработке дорожных карт подготовки «умных» производств. В статье рассмотрена проблематика технологического аудита – анализа производственной системы как принципиально важного этапа цифровой трансформации. Обсуждаются стратегии выбора приоритетных проектов и их последующего пилотирования, а также оценки эффективности их выполнения. Настоящее исследование является частью исследований авторов, посвященного разработке цифрового двойника предприятия по функции ТПП, целью которого является подготовка фундаментальной и методической базы для разработки стратегий цифровой трансформации, а также для управления производством в условиях Индустрии 4.0 и использования средств информатизации. Целью статьи является установление приоритетных направлений исследований в области цифровой трансформации производства Индустрии 4.0.

Ключевые слова: цифровое производство, цифровая трансформация, стратегия, производственный менеджмент, проектирование производства, цифровой двойник, Индустрия 4.0.

DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGY DEVELOPMENT FOR INDUSTRY 4.0

©2021

Shaykhulova Aigul Fazirovna, candidate of technical sciences,

associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies

Selivanov Sergey Grigorievich, doctor of Technical Sciences, professor

Ufa State Technical University

(450077, Russia, Ufa, Karl Marx st., 12, e-mails: shaihulova@inbox.ru selivanov.s.g.@mail.ru)

Abstract. The article raises the problem of developing strategies for production digital transformation, provides a literary review of definitions and methods that are currently used in digitalization projects by leading experts in the field. The article is of an introductory and popularization nature and aims to review existing research for setting the task of digitalization techniques. Based on the literature review, the problem formulation of formalizing methodology for the transition to the concept of Industry 4.0 is set, which will provide a systematic approach to solving the problem of designing Smart Factories. Various methods and approaches to the design and development of roadmaps for the preparation of "smart" industries are considered. The article deals with the problems of technology audit - the analysis of the production system as a fundamentally important stage of digital transformation. Strategies for selecting priority projects and their subsequent piloting, as well as evaluating the effectiveness of their implementation are discussed. This study is part of the research and development of the authors, dedicated to the development of a digital twin of an enterprise in the function of the production preparation, the purpose of which is to prepare a fundamental and methodological basis for developing digital transformation strategies, as well as for managing production in the context of Industry 4.0 and using information technology. The purpose of the article is establishing research priority areas in the digital transformation field of Industry 4.0 production.

Keywords: digital manufacturing, digital transformation, strategy, production management, production design, digital twin, Industry 4.0.

Введение. Переход к Индустрии 4.0 является естественным этапом эволюционирования производственных систем на фоне смены технологических укладов. Научная и методологическая база для формирования ядра технологических решений цифрового производства готовится уже последние 20 лет. Можно сказать, что основой для появления отличительной черты «умных» предприятий является наличие ИАИС (ин-

тегрированной автоматизированной информационной среды), которая вырастает из использования концепции CALS и внедрения систем класса PLM. Иллюстрацией сказанного может являться диаграмма перехода (рис.1).

Исходя из рисунка 1 можно сделать важный вывод о необходимости системности и стадийности цифровой трансформации: переход на новую формацию

должен начинаться со внедрений компьютерного моделирования и с настройки систем сбора информации. Эта информация на последующих этапах позволит

разрабатывать корректные модели машинного обучения, которые смогут быть использованы для решения задач оптимизации и предиктивной аналитики.



Рисунок 1 – Прогноз по развитию технологий цифровой индустрии (Источник: СПбПУ)

Очевидно, что каждому этапу цифрового перехода будет соответствовать свой вид «производства будущего», эти производства будут отличаться друг от друга уровнем цифровизации, а также сложностью задач, которые будут решаться с помощью, например, искусственного интеллекта. В соответствии с этим Эрастос Филос, координатор ИКТ-проектов в *Factories of the Future*, выделяет три типа «производств будущего» (рис.2).



Рисунок 2 – «Производства будущего» - *Factories of the Future*

Цифровые фабрики (*Digital Factories*) ставят своей целью «увидеть» продукт до того, как он будет реально произведен. Основные технологии: *CAD/CAM/CAE*, *PDM/PLM*, станки с ЧПУ. Умные фабрики в дополнение к целям цифровых фабрик предполагают более широкое использование средств автоматизации, улучшенный контроль и оптимизацию процессов. Виртуальные фабрики суммируют цели и технологии цифровых и умных фабрик, а также создаются с целью управления цепочками поставок и для того, чтобы создавать ценность посредством объединения продуктов и услуг. Иной вариант интерпретации виртуальных фабрик – это объединение виртуальных активов и виртуальных способов управления.

Настоящая статья носит ознакомительно-популяризационный характер, и ставит своей задачей обзор существующих исследований для постановки задачи методики цифровизации. Мы понимаем, к чему мы должны в итоге прийти в обозримом будущем – необ-

ходимо понять, как разработать стратегию такого перехода, которая будет обеспечивать устойчивое развитие производства на всех этапах и стадиях цифровой трансформации.

Целью статьи является установление приоритетных направлений исследований в области цифровой трансформации производства Индустрии 4.0.

Материалы и результаты исследования. *Разработка стратегии цифровой трансформации.* В настоящее время принято рассматривать цифровизацию с двух сторон: со стороны производства, когда внедряются инструменты «умного» производства, а технологические инновации Индустрии 4.0, и со стороны продукты, когда создаются сервисы клиентского обслуживания, которые используют технологии Индустрии 4.0. Сосредоточимся на первом. Основные этапы и стадии цифровой трансформации изображены на рисунке 3.

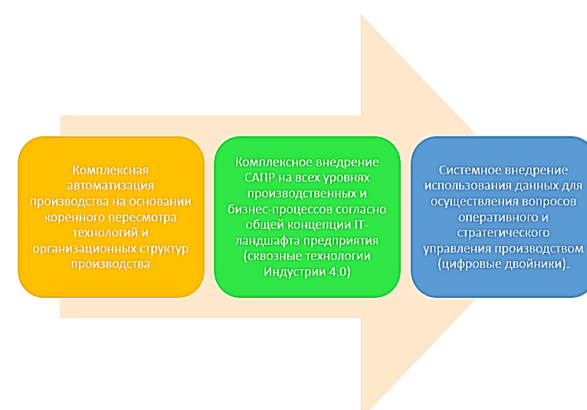


Рисунок 3 – Стадии цифровой трансформации предприятия

Тем не менее, любые проекты технического перевооружения производства, какими являются и проекты цифровой трансформации, начинаются с аудита предприятия. Технологический аудит проводится с целью постановки бизнес-задачи, которая должна будет решаться в ходе модернизации производства. Та-

кой анализ позволит:

- оценить реальный технологический уровень предприятия,
- степень автоматизации и цифровизации, выявив при этом существующие «островки» и слои цифровизации/ автоматизации,
- оценить «узкие» места производства.

Сбор данных для аудита может проводиться путем анкетирования и опроса сотрудников соответствующих служб, а также путем инспекции. Важно отметить, что данные должны быть полными, объективными и актуальными. От этого зависит правильность оценки результатов аудита. Полученная информация может быть скомпилирована в виде таблиц как результатов производственного аудита.

Одной из задач настоящего исследования является формализация этого этапа, поскольку практика показывает, что большинство провалов проектов технической подготовки производства происходит именно из-за неполного представления данных на данном этапе.

Необходимо отметить, что с повышением уровня автоматизации предприятия становится возможным автоматизированный сбор данных о производстве, вместе с тем авторы отмечают реальный технологический уровень отечественных производств, который не позволяет провести сбор данных с помощью, скажем, систем класса *MDC*.

Постановка задачи цифровой трансформации. Задача цифровой трансформации в общем виде может быть сформулирована в виде модернизации предприятия таким образом, чтобы использование данных для эффективного управления стало неотъемлемой частью производственных и бизнес-процессов предприятия. В таком случае становится доступным не только оперативное управление системы с использованием актуальных верифицированных данных, но и построение долгосрочных стратегий развития производства. В конечном счете, в этом и состоит смысл внедрения цифровых двойников/теней.

Задача цифровой трансформации ставится, исходя из найденных «узких» мест на этапе производственного аудита. Стратегия в таком случае будет состоять из череды шагов, которые будут последовательно расширять «узкие» места таким образом, чтобы совершить переход от предприятия «as is» к «as to be». Необходимо отметить, что стратегия трансформации не является статичной и должна уточняться на каждом из этапов.

Приоритезация проектов цифровой трансформации. После постановки задачи модернизации предприятия должны быть выдвинуты различные варианты решения заданной проблемы. Выбор первоочередных проектов должен основываться на критериях:

- экономической эффективности проекта (*ROI*, срока окупаемости проекта),
- решает ли проект поставленные задачи,
- вписывается ли в общую стратегию трансформации,
- насколько он реализуем с учетом данных техно-

логического аудита,

- риски проекта.

Важно отметить, что коэффициент *ROI* подходит не всем проектам: так, например, для проектов, характеризующих стратегию инновационного толчка, *ROI* может быть занижен. С другой стороны, для проектов стратегии рыночной тяги он будет давать адекватную оценку рентабельности решения. В тоже время надо понимать, что для большинства современных предприятий «узкое» место может быть в слабом уровне автоматизации предприятия, в таком случае проект будет гораздо более затратным по сравнению с решениями о внедрении САПР разного класса. Здесь необходимо формулировать комплексный критерий оценки эффективности проекта для данного предприятия на области поставленных бизнес и производственных задач, при этом необходимо использовать системы имитационного моделирования для верификации управленческих решений. Примером такой системы может являться система «*СимАТЛ*», которая была разработана авторами (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662492). Такая система способна моделировать работу производственного подразделения в зависимости от заданных условий.

На основании оценки с использованием комплексного критерия эффективности и верификации в системах имитационного моделирования выбирается приоритетный проект. Выбранное предложение будет внедряться на одном из подразделений предприятия в качестве пилотного проекта, который в случае успеха, будет масштабирован и тиражирован на остальные цеха/подразделения производства. Задачи пилотного проекта должны быть строго обозначены еще на этапе планирования так, чтобы по его завершению можно было оценить степень выполнения поставленных целей. Вне зависимости от исхода важно проанализировать успехи и неудачи, выяснить причины провалов (например, с помощью диаграммы Исикавы) и принять решение

- тиражировать пилотный проект на другие подразделения,
- тиражировать проект с внесением изменений,
- сменить стратегию, учтя причины неудачи пилотника.

Для пилотного проекта в таком случае будут очень важны короткие сроки выполнения и простота масштабирования в случае успеха.

Заключение. Успех стратегии цифровой трансформации зависит от грамотной постановки бизнес и производственной задачи, это делается на этапе технологического и производственного аудита. В связи с этим авторами ставится задача единой формальной методики разработки дорожных карт цифровой трансформации для обеспечения устойчивого развития предприятий в область технологий Индустрии 4.0. На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что приоритетным вариантом такой методики является использование комплексного критерия оцен-

ки эффективности проекта на области поставленных бизнес и производственных задач, при этом верификация управленческого решения должна производиться в системах имитационного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Белоусов Ю.В. Методология определения цифровой экономики / Белоусов Ю. В., Тимофеева О. И. // Мир новой экономики. – 2019. - №13(3). – С. 79-89. DOI: 10.26794/2220-6469-2019-13-4-79-89.
2. Н. В. Курганова Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н. В. Курганова, М. А. Филин, Д. С. Черняев, А.Г. Шаклеин, Д.Е. Наминот //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – vol. 7, no.5. – С. 120-126
3. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication / Grieves M. // White paper. – 2014. – V. 1. – P. 1–7.
4. Шведенко В.Н. Применение концепции цифровых двойников на этапах жизненного цикла производственных систем. / Шведенко В.Н., Мозохин А.Е. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. –2020. – Т. 20. № 6. – С. 815–827. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.
5. Евгеньев Г.Б. Российские технологии создания систем класса «Индустрия 4.0». / Евгеньев Г. Б. // Часть 2. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – № 9. – С. 18–27. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-9-18-27.
6. Боровков А. И. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки. / Боровков А. И., Рябов Ю. А. // Цифровая трансформация экономики и промышленности: сб. тр. конф. ИНПРОМ-2019. – 2019. – С. 234–245.
7. Боровков А. И. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. / Боровков А. И. и др. // Краткий доклад. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. – 2019. – С. 62.
8. Селиванов С. Г. Будущее развития цифрового производства в России / Селиванов С. Г., Кутин А. А., Закашевская Н.Н., Шайхулова А. Ф. // Manufacturing Engineering and technology for manufacturing growth: сборник научных трудов конференции. Ванкувер, Канада. – 2015 – С. 31 – 35
9. Love P. E. D. The ‘how’ of benefits management for digital technology: From engineering to asset management/ Love P.E.D., Matthews J. // Automation in Construction. – 2019. – #107. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102930.
10. Matarneh S.T. Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions / Matarneh S.T., Danso-Amoako M., Al-Bizri S., Gaterrell M., Matarneh R. // Journal of Building Engineering. – 2019. – 24. DOI: 10.1016/j.job.2019.100755.
11. Azhar S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry/ Azhar S. // Leadership and management in engineering. – 2011. – 11–3. – P. 241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127 28
12. Abatecola G. Real estate management: past, present, and future research directions / Abatecola G. [et al.]. // International Journal of Globalization and Small Business. – 2012. – 5–1–2. – P. 98–113. DOI: 10.1504/IJGSB.2013.050485
13. Lu Q. From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management / Lu Q., Xie X., Heaton J., Parlikad A.K., Schooling J. // Studies in Computational Intelligence. - 2020. - No. 853. P 392–404. DOI:1007/978-3-030-27477-1_30
14. Lin Y.C. Developing final as-built BIM model management system for owners during project closeout: A case study / Lin Y.C., Lin C.P., Hu H.T., Su Y.C. // Advanced Engineering Informatics. - 2018. - 36. - P. 178–193. DOI: 10.1016/j.aei.2018.04.001.
15. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 г. № 1632-р // Официальный сайт Правительства Российской Федерации. Режим доступа: <http://government.ru/>.
16. Зачем России цифровая экономика? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rb.ru/longread/digital-economy-in-russia/>.
17. Фертман А. Д. Цифровизация экономики знаний // Трамплин к успеху. - 2018. - №3. - С. 17-20. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04_april/12/Tramplin-k-uspehu-N13-2018.pdf.
18. Borodulin, Kirill Towards Digital Twins Cloud Platform/ Borodulin, Kirill & Radchenko, Gleb & Shestakov, Aleksandr & Sokolinsky, Leonid & Tchernykh, Andrei & Prodan, Radu. // Microservices and Computational Workflows to Rule a Smart Factory. – 2017. – P. 209-210. DOI: 10.1145/3147213.3149234. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/321450833>.
19. Shymchenko A. V. Review of the Computational Approaches to Advanced Materials Simulation in Accordance with Modern Advanced Manufacturing Trends / Shymchenko A. V., Tereshchenko V. V., Ryabov Y. A., Salkutsan S. V., Borovkov A. I. // Materials Physics and Mechanics. – 2017. - 3. - P. 328-352.
20. Qi Q. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison / Qi Q., Tao F // IEEE Access. – 2018. - Vol. 6. - P. 3585-3593. [Электронный ресурс]. Режим доступа:<https://ieeexplore.ieee.org/document/8258937/>

Статья поступила в редакцию 19.03.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021