

УДК 338.3

**КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ИНДУСТРИИ 4.0**

Клименко А.Д.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, г. Брянск

Данная статья представляет краткий систематический обзор и классификацию технологий, применяемых в контексте четвертой промышленной революции. Анализируются существующие подходы к классификации и предлагается авторская классифицирующая структура, позволяющая гибко группировать технологии по их взаимосвязям и характеристикам. Классификация, представленная в статье, призвана обеспечить актуальность и универсальность, позволяя эффективно адаптировать её к будущим технологическим достижениям.

*Ключевые слова:* Индустрия 4.0, технологические решения, промышленность, классификация Индустрии 4.0.

DOI 10.22281/2542-1697-2024-03-04-22-26

Термин «Индустрия 4.0» отражает эпоху четвертой промышленной революции, подразумевая интеграцию и реализацию соответствующих проектов на различных предприятиях. В рамках данной концепции ключевое внимание уделяется полной цифровой трансформации физических ресурсов компании и их слиянию в единую цифровую сеть, которая также включает в себя данные от деловых партнеров. В действительности, это охватывает обширный ассортимент современных технологических инноваций, используемых для достижения вышеуказанных целей.

Современное производство переживает существенные изменения с появлением Индустрии 4.0. Слияние производственных процессов и цепочек поставок с инновационными решениями становится главной сутью данной концепции, приводя к новому способу управления ресурсами и людьми. Машины, ресурсы и люди теперь взаимодействуют в целостной системе, меняя традиционную централизованную парадигму на децентрализованный подход. Подобные изменения призваны позволить организациям существенно сократить время на создание продукции, разрабатывать более персонализированные товары, обеспечивать гибкость в производственных процессах, оптимизировать использование ресурсов и повышать устойчивость бизнеса в целом.

Хотя принятие организацией концепции Индустрии 4.0 основано на внедрении конкретных технологий, важно понимать, что приобретение единичных технологий не решает задачу по переходу производственной системы на уровень четвертой промышленной революции. Например, при принятии решения внедрения машины для аддитивного производства нельзя не учитывать ее взаимодействие и связь с другими технологиями, такими как программное обеспечение CAD, компьютеры, а также процедуры постобработки. Однако их использование вовсе не гарантирует успеха, если не учитывать бизнес-кейс и общую цель формирования решения для аддитивного производства как единого комплекса технологий для конкретной промышленной организации.

Обычно под технологиями понимают комплексные знания, позволяющие человечеству воздействовать на окружающую среду с целью её изменения согласно определённым правилам и процедурам. В более узком смысле, это понятие часто связано с разработкой и использованием различных устройств и программного обеспечения, хотя в его основе лежат не только инженерные решения, но и фундаментальные научные знания, обеспечивающие теоретическую базу для практического внедрения [9, с. 845].

Помимо управления широким спектром технологий, один из основных вызовов заключается в абстракции, обнаруживаемой в научных работах. Для достижения общего понимания и четкой идентификации технологических объектов, важно ориентироваться на детальную классификацию. Такая классификация должна быть в должной мере гибкой, чтобы охватить и разделить технологии с различной степенью детализации. В итоге, решение проблемы разнообразия и сложности требует создания классификации, которая

помогает эффективно разделять технологии по категориям, основываясь на их взаимосвязи и характеристиках. В исследовании «Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review» авторами представлен обзор пяти ключевых технологических направлений: интернет вещей, киберфизические системы, технологии аддитивного производства, технологии облачного производства, а также аналитика больших данных и искусственный интеллект. Они исследуют, как эти технологии могут быть применены для эффективного планирования и управления производственными процессами, предлагая обзор их потенциала. Однако в работе не делается акцент на детальной классификации данных технологий, а также остаются нерассмотренными другие аспекты разработки промышленных продуктов [4].

Научная работа «The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review» расширяет взгляд на виды технологий Индустрии 4.0, уделяя внимание как различным стадиям, через которые проходит продукт в течение своего существования, так и проводя глубокий анализ десяти разноплановых технологических направлений. Эти направления включают в себя Интернет вещей, киберфизические системы, аддитивное производство, облачные сервисы, анализ больших данных, искусственный интеллект, технологию блокчейн, моделирование, визуализацию, а также автоматизацию и использование промышленных роботов. Данная работа предоставляя более глубокое и всестороннее изучение технологических инноваций [11].

В исследовательской работе «Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster» авторы классифицируют технологии на девять основных категорий: моделирование, обработка больших данных и аналитика, облачные сервисы, киберфизические системы, обеспечение кибербезопасности, разработка робототехники, дополненная реальность, аддитивное производство и осуществление системной интеграции. Исследователь утверждает, что эти технологии играют ключевую роль в разнообразных аспектах, начиная от разработки до обслуживания продуктов, однако точная природа взаимосвязей между этими аспектами и самими технологиями остается не до конца раскрытой [5]. Авторы В. А. Дадалко, Д. Р. Назырова и П. П. Топчий в своем исследовании разрабатывают новую систему разделения технологических инноваций Индустрии 4.0, опираясь на глубокий анализ данных. Они выделяют важность синтеза облачных сервисов, инструментов Интернета вещей и мобильных приложений в создании единой сети, способствующей объединению производственных и управленческих процессов. В рамках исследования подчеркивается роль цифровых бизнес-моделей и обширного взаимодействия с клиентами через многоуровневую коммуникацию, использование профилирования, технологий дополненной реальности, анализа больших объемов данных и применения умных датчиков. Кроме того, акцентируется внимание на революционном вкладе 3D-печати, интерфейсов, основанных на взаимодействии с нейронами, методов определения местоположения и систем проверки подлинности в процесс цифровизации продуктов и услуг [1].

В работе «A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems» представлен оригинальный подход к созданию иерархической архитектуры для кибер-физических систем, центрирующейся вокруг анализа данных. Авторская модель организована вокруг пяти ключевых уровней: начиная с интеллектуальных соединений, таких как датчики, до уровня обмена данными, включающего элементы, способствующие взаимодействию между устройствами. Далее следует киберуровень, представленный, например, цифровыми копиями, уровень познания, отвечающий за анализ ситуации и принятие решений, и, наконец, уровень конфигурации, который включает механизмы самооптимизации. Однако, несмотря на выдающуюся идею взаимосвязанных иерархических уровней, данная концепция больше сосредоточена на результативности производственных систем, в то время как потенциал отдельных умных устройств и процессы разработки продукции остаются в стороне от основного внимания [8].

В исследовании «Industry's 4.0 transformation process: how to start, where to aim, what to be aware of» осуществляется рассмотрение связей между целями, инновациями и

препятствиями в контексте Индустрии 4.0. Подход базируется на анализе девяти разноплановых технологических сфер, которые включают в себя: интеллектуальные производственные процессы, продвинутое оборудование, высокотехнологичные рабочие места, облачные и вычислительные сервисы, методы коллективного доступа, инновационные продукты, аналитику больших данных, сетевые решения и меры по обеспечению кибербезопасности, подчеркивая их значимость для развития и преодоления трудностей в рамках индустриального перехода к четвертой промышленной революции [6].

В научной работе И.В. Тарасова подчеркиваются ключевые инновации, основывающиеся четвертую промышленную революцию. Эти инновации включают: обработку и анализ объемных данных, использование автономных робототехнических систем, внедрение симуляционных моделей, усовершенствование интеграции информационных технологий, развитие промышленной сети интернета вещей, укрепление мер по кибербезопасности, применение облачных решений, технологию трехмерной печати и разработку приложений для дополненной реальности [3].

В контексте классификации технологий, относящихся к Индустрии 4.0, основное внимание уделяется технологиям, которые улучшают производственный процесс, повышая его автоматизированность и самостоятельность. Эти технологии, в более широком смысле, обозначаются как «производственная линия» [11, с. 1938].

Технологический прогресс охватывает разнообразие операций с данными, начиная от их сбора до анализа, и охватывает как облачные сервисы, так и обработку данных. Эти инновации способствуют эффективному сотрудничеству и распределению вычислительных ресурсов, необходимых для управления бизнес-процессами. Кроме того, они способствуют более эффективному взаимодействию и обмену данными между организациями. В то время как аспекты обработки данных взаимосвязаны с собиранием, сохранением и анализом информации, особое внимание уделяется аналитике, включая обработку больших объемов данных, применение искусственного интеллекта и использование технологии блокчейна. Эти процессы не только облегчают глубокий анализ и безопасное управление информацией, но и являются краеугольным камнем четвертой промышленной революции [7].

Технологии, связанные с моделированием и вычислениями, считаются одним из способов использования данных и тесно переплетены с ними. Эти методы, начиная от систем управления ресурсами предприятия, систем управления производственными процессами, интегрированных производственных систем, компьютерного проектирования и производства до передовых техник прогнозирующего моделирования для оптимизации бизнес-процессов и решения возникающих проблем, способствуют объединению различных подходов для улучшения и оптимизации деловой деятельности.

Технологии человеческого интерфейса не рассматриваются в подробном виде, однако их значение нельзя недооценивать, когда речь идет о взаимодействии между работниками, продуктами и оборудованием, особенно в контексте создания, агрегирования и использования данных, а также их визуализации. Кроме того, благодаря подобным технологиям возможно объединение людей и технологий в единую сеть в реальном времени, что тесно перекликается с возможностями облачных вычислений. Технологии, основанные на датчиках, хоть и не выделяются отдельно, играют ключевую роль в процессах сбора и анализа информации, служа мостом между физическим и цифровым измерениями в контексте Индустрии 4.0 за счет аккумуляции данных из реального мира [10, с. 671].

Технологии, обеспечивающие безопасность в сфере киберпространства, также становятся ключевыми. Они предотвращают любые попытки неавторизованного доступа, вмешательства или атаки на программное и аппаратное обеспечение промышленных инфраструктур [2, с. 7].

Классификация технологических решений Индустрии 4.0 представлена на рисунок 1. Структура данной классификации позволяет эффективно группировать различные технологии и выделять их из общего контекста. Также она способна сохранять актуальность со временем, так как новые инновации могут быть внесены в уже существующие категории.



Рисунок 1 – Классификация технологических решений Индустрии 4.0

Киберфизические системы, объединяющие различные технологии, не поддаются жесткому закреплению за какой-либо конкретной категорией и в соответствии с этим не выделяются в рамках данной классификации.

#### Список использованных источников

1. Дадалко, В. А. Инструменты цифровой экономики как способы обеспечения прозрачности хозяйствования промышленного предприятия / В. А. Дадалко, Д. Р. Назырова, П. П. Топчий // Экономика. Налоги. Право. – 2018. – Т. 11, № 5. – С. 84-91.
2. Зегжда Д. П. Кибербезопасность прогрессивных производственных технологий в эпоху цифровой трансформации / Д. П. Зегжда, Ю. С. Васильев, М. А. Полтавцева [и др.] // Вопросы кибербезопасности. – 2018. – № 2(26). – С. 2-15.
3. Тарасов И. В. Технологии Индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний / И. В. Тарасов // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 2(105). – С. 62-69.
4. Bueno A., Godinho Filho M., Frank A. G. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review // Computers & industrial engineering. – 2020. – Vol. 149. – P. 106774.
5. Dalmarco G. et al. Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster // The journal of high technology management research. – 2019. – Vol. 30. – №. 2. – P. 100355.
6. Calabrese A. et al. Industry's 4.0 transformation process: how to start, where to aim, what to be aware of // Production Planning & Control. – 2022. – Vol. 33. – №. 5. – Pp. 492-512.
7. Inkermann D. et al. A framework to classify Industry 4.0 technologies across production and product development // Procedia CIRP. – 2019. – Vol. 84. – Pp. 973-978.
8. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing letters. – 2015. – Vol. 3. – Pp. 18-23.
9. Nosalska K. et al. Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies // Journal of Manufacturing Technology Management. – 2019. –

#### Сведения об авторах

Клименко Александр Дмитриевич – аспирант 3 курса специальности Региональная и отраслевая экономика ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени



академика И.Г. Петровского». Адрес: 241036, Россия, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14. E-mail: [lupin.2221@gmail.com](mailto:lupin.2221@gmail.com).

**UDC 338.3**

## **CLASSIFICATION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGY SOLUTIONS**

Klimenko A.D.

Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, Bryansk

This article presents a brief systematic review and classification of technologies used in the context of the Fourth Industrial Revolution. The existing approaches to classification are analysed and the author's classification structure is proposed, allowing flexible grouping of technologies according to their interrelationships and characteristics. The classification presented in the article is designed to ensure relevance and universality, allowing for effective adaptation to future technological developments.

*Keywords: Industry 4.0, technology solutions, industry, Industry 4.0 classification.*

### **References**

1. Dadalko, V. A. Tools of digital economy as ways to ensure transparency of management of industrial enterprise / V. A. Dadalko, D. R. Nazirova, P. P. Topchiy // Economics. Taxes. Pravo. - 2018. - T. 11, № 5. - С. 84-91.
2. Zegzhda, D. P. Cybersecurity of progressive production technologies in the era of digital transformation / D. P. Zegzhda, Y. S. Vasiliev, M. A. Poltavtseva [et al.] // Voprosy cybersecurity. - 2018. - № 2(26). - С. 2-15.
3. Tarasov I. V. Industry 4.0 technologies: impact on increasing the productivity of industrial companies / I. V. Tarasov // Strategic decisions and risk management. - 2018. - № 2(105). - С. 62-69.
4. Bueno A., Godinho Filho M., Frank A. G. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review //Computers & industrial engineering. – 2020. – Vol. 149. – P. 106774.
5. Dalmarco G. et al. Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster //The journal of high technology management research. – 2019. – Vol. 30. – №. 2. – P. 100355.
6. Calabrese A. et al. Industry's 4.0 transformation process: how to start, where to aim, what to be aware of //Production Planning & Control. – 2022. – Vol. 33. – №. 5. – Pp. 492-512.
7. Inkermann D. et al. A framework to classify Industry 4.0 technologies across production and product development // Procedia CIRP. – 2019. – Vol. 84. – Pp. 973-978.
8. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems //Manufacturing letters. – 2015. – Vol. 3. – Pp. 18-23.
9. Nosalska K. et al. Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies // Journal of Manufacturing Technology Management. – 2019. – Vol. 31. – №. 5. – Pp. 837-862.
10. Szász L. et al. Industry 4.0: a review and analysis of contingency and performance effects //Journal of Manufacturing Technology Management. – 2020. – Vol. 32. – №. 3. – Pp. 667-694.
11. Zheng T. et al. The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review //International Journal of Production Research. – 2021. – Vol. 59. – №. 6. – Pp. 1922-1954.

### **About the author**

Klimenko Alexander Dmitrievich - PhD student of the 3rd course in Regional and Sectoral Economics Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Bryansk State University named after a.G. Petrovsky». Address: 14 Bezhitskaya str., Bryansk, 241036, Russia. E-mail: [lupin.2221@gmail.com](mailto:lupin.2221@gmail.com).