

УДК 334.021.1

**СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КЛАСТЕРАХ**  
Демьянов Сергей Александрович, старший преподаватель  
Полесский государственный университет

**DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES IN  
BIOTECHNOLOGY CLUSTERS**  
Demyanov Sergey, Senior Lecturer  
Polessky State University, demianov.s@polessu.by

**Аннотация.** В статье рассматриваются стратегии цифровой трансформации биотехнологических кластеров. На основе анализа теоретических подходов выделена типология стратегий цифровой трансформации, определены функции стратегии и проанализированы институциональные механизмы реализации стратегий. Выявлены цифровые технологии, определяющие современный этап трансформации биотехнологических кластеров: промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, цифровые двойники, агрегаторные платформы.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, биотехнологические кластеры, стратегии цифровой трансформации, искусственный интеллект, цифровые двойники

**Abstract.** The article discusses the strategies of digital transformation of biotechnology clusters. Based on the analysis of theoretical approaches, a typology of digital transformation strategies is identified, the functions of the strategy are determined, and the institutional mechanisms for implementing the strategies are analyzed. The article identifies the digital technologies that define the current stage of transformation of biotechnology clusters: industrial Internet of Things, artificial intelligence, digital twins, and aggregator platforms.

**Keywords:** digital transformation, biotechnology clusters, digital transformation strategies, artificial intelligence, digital twins

Формирование стратегий цифровой трансформации биотехнологических кластеров требует учета трех ключевых измерений: технологического (какие цифровые технологии, и с какой степенью интеграции используются), организационного (как трансформируются механизмы координации и управления) и институционального (как изменяются нормы и правила взаимодействия участников). В зависимости от приоритетности этих измерений в научной литературе выделяются следующие основные типы стратегий:

*Стратегия технологической модернизации* (или «цифровизация операционной эффективности») ориентирована на внедрение цифровых решений в производственные процессы отдельных предприятий – участников кластера. Как отмечает Г. Вестерман с соавторами [1], данный тип стратегии характеризуется фокусом на автоматизацию, роботизацию и внедрение систем класса MES/ERP, но при этом не затрагивает радикально модели взаимодействия внутри кластера. В практике стран СНГ этот подход часто реализуется в рамках «цифровых фабрик» и «умных произ-

водств» на отдельных предприятиях, не приводя к формированию единого цифрового пространства кластера.

*Стратегия платформенной интеграции* предполагает создание общей цифровой платформы, объединяющей участников кластера для обмена данными, совместного использования мощностей и координации инновационных проектов. По мнению Н.В. Смородинской [2], такая стратегия трансформирует кластер в «сетевую экосистему», где географическая близость дополняется или замещается цифровой связанностью. Ключевыми элементами выступают API-интерфейсы, стандарты обмена данными и цифровые двойники производственных цепочек. Примером служат платформы «Индустрия 4.0» в немецких кластерах, обеспечивающие сквозную интеграцию поставщиков, производителей и научных организаций.

*Стратегия экосистемного лидерства* ориентирована на создание условий для возникновения новых видов деятельности и бизнес-моделей на стыке участников кластера. Как подчеркивает Д. Тис [3], такая стратегия требует активной роли координатора, который задает правила цифрового взаимодействия, управляет доступом к данным и обеспечивает справедливое распределение выгод. В биотехнологических кластерах данный подход может выражаться в создании открытых платформ для доклинических исследований, где данные о результатах экспериментов и клинических испытаний циркулируют между компаниями и научными центрами с соблюдением прав интеллектуальной собственности.

*Стратегия адаптивной цифровизации* предполагает отказ от жесткого долгосрочного плана в пользу итеративного развития цифровых сервисов и быстрого прототипирования. Концепция, развиваемая Д. Роджерсом [4], базируется на представлении о цифровой трансформации как о непрерывном эксперименте, где стратегия представляет собой набор обучающих механизмов, а не фиксированный документ. Для кластеров это означает создание «изолированных сред» для апробации цифровых решений, гибкие механизмы финансирования пилотных проектов и регулярную корректировку приоритетов на основе данных.

*Стратегия кадрово-компетентностной трансформации* акцентирует внимание на формировании цифровых компетенций участников кластера как необходимом условии цифровой трансформации. По данным исследований MIT Sloan Management Review [5], отсутствие соответствующих навыков является главным барьером на пути цифровой трансформации. Для кластеров эта стратегия предполагает создание совместных образовательных программ, центров цифровых компетенций и механизмов переподготовки кадров под новые цифровые роли.

Представленная типология, однако, не является жестко фиксированной: на практике биокластеры часто реализуют гибридные стратегии, сочетая элементы технологической модернизации с платформенной интеграцией, а адаптивный подход может дополнять долгосрочное стратегическое планирование. Кроме того, выбор конкретного типа стратегии существенно зависит от отраслевой специфики кластера, его стадии жизненного цикла и уровня цифровой зрелости участников.

Функциональная роль стратегии цифровой трансформации биотехнологического кластера носит комплексный, системообразующий характер. Выделенные в ходе теоретического анализа пять функций – интеграционная, адаптационная, управленческая (координационная), инновационная и институциональная – охватывают ключевые аспекты преобразования кластерной структуры под воздействием цифровых технологий. Каждая из функций приобретает специфическое содержание в зависимости от типа кластера, его отраслевой принадлежности и уровня цифровой зрелости участников.

Реализация стратегий цифровой трансформации биотехнологических кластеров в развитых государствах опирается на систему институциональных механизмов, которые могут быть разделены на три категории.

1. Механизмы государственной поддержки. В США, Германии, Японии и Китае ключевыми инструментами государственной поддержки цифровизации в области биотехнологий выступают: целевые программы финансирования исследований и разработок; налоговые льготы и инвестиционные вычеты для предприятий, внедряющих цифровые технологии; государственно-частное партнерство в создании цифровой инфраструктуры. Так, в Канаде, в 2017 году была запущена Инициатива по созданию инновационных суперкластеров, предусматривающая безвозмездные взносы правительства страны в отраслевые консорциумы, ведущие амбициозные проекты по созданию новых конкурентных преимуществ для канадских фирм в быстрорастущих областях, таких

как искусственный интеллект, передовое производство и чистые технологии. Инициатива поддерживает пять магистральных направлений деятельности: создание технологического лидерства в области инновационного развития; формирование ГЧП для масштабирования бизнеса; подготовку высококвалифицированных специалистов; обеспечение доступа фирм и компаний к государственной базе инноваций [6].

2. Механизмы индустриальных альянсов. Важную роль в цифровой трансформации биотехнологических кластеров играют отраслевые альянсы, объединяющие предприятия, научные организации и государственные структуры. В Германии ключевым институтом выступает платформа «Индустрия 4.0», созданная Немецкой ассоциацией машиностроительных предприятий «VDMA», электротехнической ассоциацией «ZVEI» и ИТ-ассоциацией «Bitkom». Деятельность данного пула ассоциаций направлена на продвижение биотехнологий и концептуальных решений в области биоинженерии и биотехнологий; деятельность научно-исследовательских институтов направлена на разработку инновационных технологий, технических стандартов и качественную подготовку высококвалифицированных кадров; деятельность крупных компаний и корпораций – на технологические решения и производство биотехнологий; малых и средних предприятий – на инновационные разработки через совместные проекты [7]. Во Франции аналогичные функции выполняет альянс «La French Fab», объединяющий биопромышленные и ИТ-организации для создания более конкурентоспособной биотехнологической продукции.

3. Механизмы регуляторных изолированных сред и стандартизации. Важнейшим условием цифровой трансформации биотехнологических кластеров выступает создание гибкой регуляторной среды, позволяющей тестировать новые технологии без риска нарушения действующего законодательства. В Европейском союзе активно развиваются институты регуляторных «песочниц» (изолированных сред), в рамках которых компании могут апробировать инновационные цифровые решения в сфере здравоохранения, биотехнологий и энергетики. В сфере стандартизации ключевую роль играет сотрудничество между наднациональными структурами и национальными. Германия и США через платформу «Индустрия 4.0» и (NIST) Национальный институт стандартов и технологий ведут совместную работу по стандартизации интерфейсов и протоколов для промышленного интернета вещей. Еврокомиссия поддерживает развитие стандартов интероперабельности через Альянс интернета вещей (AIOTI), объединяющий более 200 организаций [8].

Анализ успешных практик развитых государств позволяет выделить пять ключевых инновационных технологий, определяющих современный этап цифровой трансформации биотехнологических кластеров:

1. Промышленный интернет вещей, который обеспечивает сбор большого объема данных в онлайн-режиме от оборудования, датчиков и систем управления, создавая основу для цифровых двойников и предиктивной аналитики. В китайском биотехнологическом кластере «Net-Zero Ordos-Envision» данные от 46 компаний интегрированы в единую систему управления энергией для оптимизации и распределения возобновляемой энергии в кластере [9].

2. Искусственный интеллект и машинное обучение применяются для прогнозирования спроса, оптимизации производственных графиков, управления энергопотреблением и выявления аномалий. В проекте «FLEX4FACT» алгоритмы машинного обучения используются для составления графиков производственных процессов на сутки вперед с учетом прогнозов цен на электроэнергию.

3. Цифровые двойники создают виртуальные копии физических объектов, процессов в биотехнологических кластерах, позволяя моделировать сценарии развития кластерных структур, оптимизировать параметры процессов и снижать промышленные и иные риски. В британском биокластере «Zero Carbon Hub» цифровой двойник используется для моделирования водородной инфраструктуры, оценки экономических и экологических последствий решений [10].

4. Агрегаторные платформы выступают как интеграционные узлы, которые обеспечивают взаимодействие участников с разным уровнем цифровой зрелости.

5. Стандартизация цифровых интерфейсов и архитектур обеспечивает интероперабельность разнородных систем и снижает барьеры для включения новых участников. В Германии разработана архитектура «Индустрия 4.0» и концепция, стандартизирующая представление цифровых двойников.

Анализ видов стратегий цифровой трансформации биотехнологических кластеров позволяет сделать следующие выводы:

Во-первых, существующие типологии стратегий цифровой трансформации (технологическая модернизация, платформенная интеграция, экосистемное лидерство, адаптивная цифровизация) образуют многомерное пространство выбора, в котором кластеры могут комбинировать элементы разных типов в зависимости от отраслевой специфики, уровня цифровой зрелости и стадии жизненного цикла.

Во-вторых, биотехнологические кластеры обладают ярко выраженной отраслевой спецификой (длинные инновационные циклы, междисциплинарность, жесткое регулирование), которая делает значимыми стратегии, ориентированные на согласование жизненных циклов оборудования, технологий и продукции.

В-третьих, критический анализ показывает, что в современных исследованиях цифровая составляющая стратегического управления кластерами не получила детальной проработки: отсутствуют рекомендации по формированию цифровых платформ, использованию ИИ и больших данных, а также метрики цифровой зрелости. Однако организационно-экономический механизм, процедуры выбора стратегий и система показателей могут быть успешно дополнены цифровыми компонентами, что позволит сформировать полноценные стратегии цифровой трансформации биотехнологических кластеров.

#### Список использованных источников

1. Westerman G. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation / G. Westerman, D. Bonnet, A. McAfee. – Boston : Harvard Business Review Press, 2014. – 292 p.
2. Smorodinskaya N.V. When and why regional clusters become basic building blocks of modern economy / N.V. Smorodinskaya, D.D. Katukov // Baltic Region. – 2019. – Vol. 11, No. 3. – P. 61-91.
3. Teece D.J. Profiting from innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world / D.J. Teece // Research Policy. – 2018. – Vol. 47, No. 8. – P. 1367–1387.
4. Rogers D.L. The Digital Transformation Playbook: Rethink Your Business for the Digital Age / D.L. Rogers. – New York : Columbia Business School Publishing, 2016. – 278 p.
5. Kane G.C. Achieving Digital Maturity / G.C. Kane, D. Palmer, A.N. Phillips, D. Kiron, N. Buckley // MIT Sloan Management Review. – 2017. – Vol. 59, No. 1. – P. 1–29.
6. Innovation, Science and Economic Development Canada. Innovation Superclusters Initiative [Электронный ресурс] // [ised-isde.canada.ca](https://ised-isde.canada.ca). – 2025. – Режим доступа: <https://ised-isde.canada.ca/site/innovation-superclusters-initiative/> (дата обращения: 24.01.2026).
7. Инь Либо. Развитые страны конкурируют за создание промышленного Интернета [Электронный ресурс] // [transfertech.cn](https://www.transfertech.cn). – 2024. – Режим доступа: <https://www.transfertech.cn/news/3LxEtqbm.html> (дата обращения: 24.01.2026).
8. AIoTI – The Alliance for Internet of Things Innovation [Электронный ресурс] // TinkerIoT. – 2025. – Режим доступа: <https://tinkeriota.com/aioti-the-alliance-for-internet-of-things-innovation/> (дата обращения: 25.01.2026).
9. World Economic Forum. How digital collaboration is shaping the future of industrial clusters worldwide [Электронный ресурс] // [weforum.org](https://www.weforum.org). – 2025. – Режим доступа: <https://www.weforum.org/stories/2025/01/digital-collaboration-industrial-clusters/> (дата обращения: 24.01.2026).
10. Research: Digital twin of an industrial cluster: a proof of concept on the Humber Estuary [Электронный ресурс] // Environment Agency. – 2024. – 15 January. – Режим доступа: <https://www.govwire.co.uk/news/environment-agency/research-digital-twin-of-an-industrial-cluster-a-proof-of-concept-on-the-humber-estuary-76252> (дата обращения: 25.01.2026).