

# Национальная киберфизическая экосистема: теоретические и методологические аспекты

**Аннотация.** Представлены результаты исследования генезиса теории экосистем, их киберфизических и цифровых разновидностей. Разработано определение понятия «национальная киберфизическая экосистема», предложены направления ее становления, раскрыта актуальность данной научной проблематики.

**Ключевые слова:** экосистема, цифровая экосистема, киберфизическая система, киберфизическое пространство, цифровая трансформация.

**Для цитирования:** Зубрицкая И. Национальная киберфизическая экосистема: теоретические и методологические аспекты // Наука и инновации. 2023. №3. С. 43–47. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-03-43-47>

УДК 338.3(476)



**Инесса Зубрицкая,**  
доцент кафедры маркетинга  
Белорусского национального  
технического университета,  
кандидат экономических наук;  
[zubritskaya@tut.by](mailto:zubritskaya@tut.by)

Высокая степень неопределенности и непрогнозируемые риски, вызванные комплексом внешних и внутренних факторов, оказывают значительное влияние на экономическую деятельность субъектов хозяйствования. На дисбаланс и неустойчивость мировой экономики указывают эксперты Всемирного экономического форума, по мнению которых только 12% компаний в настоящее время устойчивы, а подавляющее большинство организаций за последние 18 месяцев подверглись воздействию многочисленных факторов. Например, руководители предприятий, участвующие в проводимом исследовании, заявили,

что более 75% их времени тратится на решение задач, связанных с устойчивостью, и они ожидают дальнейших сбоев в течение следующих пяти лет [1].

Известные экономисты М.В. Мясникович и С.Ю. Глазьев также обращают внимание на наступление эпохи перераспределения ролей и мест национальных экономик на международной арене, на последствия разворачивающегося мирового экономического кризиса, вызванного глобальными структурными сдвигами, сменой производственной парадигмы, коронавирусной пандемией, которые уже привели к нарушению глобальных цепочек поставок, нестабильности

на финансовых рынках, негативно повлияли на традиционные отрасли экономики, инвестиционную активность, занятость населения и др. [2].

По мнению доктора экономических наук, профессора В.Ф. Байнева, проблема формирования и реализации эффективной национальной политики и гармоничного сбалансированного развития территорий выдвигается в разряд наиболее актуальных задач для многих стран мира. Она в равной мере характерна и для региональной политики России и других постсоветских стран, включая Беларусь [3].

Цифровая форма глобализации усилила интеграцию экономик, включив всю совокупность материальных и нематериальных активов в стоимость промышленной продукции, и изменила модели управления производственными, продуктовыми и бизнес-процессами, еще больше ужесточила конкуренцию на мировом рынке.

Вертикальная и горизонтальная интеграция цифровых производственных ресурсов привела к внедрению в производство и бизнес робототехники, аддитивных технологий, промышленного Интернета вещей, облачных и квантовых технологий, искусственного интеллекта, то есть техноконтехнологических средств Четвертой промышленной революции [4]. Вместе с тем целый ряд отраслей в силу возрастающих потребностей и недостаточного обеспечения производства цифровым капиталом [5] для того, чтобы выжить и обеспечить предельную производительность в условиях неопределенности, труднопрогнозируемости рисков и под воздействием стремительных изменений предпочтений потребителей и их поведения, вынуждены искать новые способы удовлетворения рыночного спроса.

Изучение мирового опыта цифровой трансформации обрабатывающей промышленности [6], тенденций самоорганизации и самоуправления субъектов хозяйствования, образующих на основе цифровых технологий бизнес-сообщества, объединенные цепочками создания валовой добавленной стоимости, показало, что ее центральным звеном становится цифровое промышленное предприятие. Под ним понимается «интегрированный комплекс цифровых, интеллектуальных и физических производственных ресурсов, полностью управляемый с помощью цифровых технологий в экосистеме, обеспечивающей повышенную динамичность взаимодействий ее субъектов» [5].

Происходящие организационно-экономические явления, связанные с цифровой трансформацией экономики, нуждаются в научном объяснении,

а также в разработке теоретико-методологического базиса на основе исследования генезиса понятий «киберфизическая система», «экосистема», «цифровая экосистема», «киберфизическое пространство».

Анализ научных публикаций российских ученых-экономистов А.В. Бабкина [7], А.Е. Карлика [8], В.П. Куприяновского [9], А.А. Федорова [10] и др., рассматривающих научную проблематику формирования инновационных экономических систем на основе киберфизических производственных систем, облачных технологий, цифровых платформ, человеческого и искусственного интеллекта, показал, что научная дискуссия об экономической и организационной сущностях и особенностях концепций «Индустрия 4.0» и «Индустрия 5.0», а также роли в них человека имеет ряд спорных и до конца не разрешенных вопросов.

Так, В.П. Куприяновский говорит о том, что «киберфизические системы интегрируют в себе кибернетическое начало, компьютерные аппаратные и программные технологии, качественно новые исполнительные механизмы, встроенные в окружающую их среду и способные воспринимать ее изменения, реагировать на них, самообучаться и адаптироваться» [9], но не описывает роль человека в управлении ими. Другие экономисты отождествляют киберфизические системы с «безлюдным» производством, но, рассматривая особенность концепции «Индустрия 5.0», указывают на наличие такого фактора, как взаимодействие человека и машины, ранее не присутствовавшего в «Индустрии 4.0» [7, 8, 10].

Спорными остаются вопросы принадлежности к обозначенным концепциям таких параметров, как, например, удовлетворение индивидуализированного спроса, применение сквозной аналитики, машинное обучение. Вместе с тем общеизвестным фактом является то, что все они прописаны в модели «Индустрия 4.0», разработанной в Германии для повышения конкурентоспособности немецкой промышленности, и нашли отражение в государственных целевых программах более чем 80 стран [4].

Что касается генезиса термина «киберфизическая система» (Cyber-Physical System, CPS), то он введен в оборот в 2006 г. для обозначения технической сути комплексов, состоящих из реальных физических объектов со встроенными интеллектуальными датчиками, контроллерами, специальным программным обеспечением, телекоммуникационным обслуживанием. Именно с их внедрением, по мнению Х. Джилла, директора по встроенным и гибридным системам Национального научного фонда США,

могла быть решена проблема модернизации национального промышленного производства. Впоследствии понятие «киберфизические системы» Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) определил как интеллектуальные системы, которые включают в себя спроектированные взаимодействующие сети физических и вычислительных компонентов, и как системы, обладающие огромным потенциалом для создания инновационных приложений и воздействия на различные секторы экономики во всем мире [11].

Международный опыт показал, что вытеснение рабочих из цеха цифровым производственным оборудованием и робототехническими системами обуславливает интеллектуализацию труда. Высококвалифицированный, обладающий цифровыми навыками и компетенциями персонал рассматривается в качестве человеческого интеллекта, проводящего мониторинг межмашинного (объектно-объектного) взаимодействия киберфизической системы, анализирующего ее работу и управляющего алгоритмами принятия решений искусственным интеллектом.

Таким образом, в киберфизической системе функции «учителя» принадлежат человеку и его интеллекту. Следовательно, без его участия такая система не образуется и является самоуправляемой только в рамках многократно повторяющихся ситуаций, алгоритм принятия решений которых запрограммирован.

Такое взаимодействие человека и умного производственного оборудования приводит к новому виду социальных субъектно-объектных взаимоотношений, где первостепенную роль играет интеллектуальный труд. При этом уровень человеческого интеллекта гарантированно выше искусственного в киберфизической системе, поскольку он обуславливает гарантии надежности, жизнеспособности и экономической безопасности.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что киберфизическими системами могут считаться интегрированные системы физических и вычислительных компонентов, предоставляющие новые функциональные возможности человеку для улучшения качества его здоровья и жизни, а в целом – для обеспечения общественного благосостояния.

Вместе с тем основополагающие вопросы, касающиеся восприятия, передачи, хранения, переработки и использования информации в подобных системах, рассматриваются кибернетикой. Под управлением в кибернетике понимают процесс изменения состояния или функционирования сложной дина-

мической системы, необходимый для выполнения поставленных перед ней целей или задач [12].

Формирование научного методологического подхода к становлению национальной киберфизической экосистемы согласуется с законами кибернетики с учетом выявленных в исследовании особенностей современных киберфизических систем. Вместе с тем, в отличие от существующих положений, в формировании такого научного подхода учитывается, во-первых, сложность организации и функционирования, обусловленная независимыми сквозными комплексными взаимодействиями субъектов и объектов по следующим направлениям, ранее не рассматриваемым наукой: субъектно-объектному (человек – машина), объектно-объектному (машина – машина), субъектно-субъектному (человек – человек) [13]. Основанные на распределении и совместном потреблении производственных ресурсов, такие взаимодействия представляются как вид производственных отношений, характеризующий новую формацию общественного развития, при которой собственность на средства производства уступает место временному их потреблению. При этом цифровые производительные силы (киберфизические производственные системы под управлением человека) создают добавленную стоимость, часть которой становится «цифровой», включающую амортизацию киберфизической производственной системы, оплату цифровых навыков и компетенций, полученную на основе цифрового капитала прибыль. К тому же для его реализации требуется разработка теоретического базиса определений понятий национальной киберфизической экосистемы, включающей приоритетную социально-экономическую составляющую, поскольку ее компоненты, множественные взаимодействующие цифровые бизнес-сообщества, являются открытыми экосистемами, эффективность и выживаемость которых обусловлена одновременно кооперацией, субконтракцией и конкуренцией субъектно-объектного хозяйствования.

При сквозной цифровизации производственных процессов межобъектные (машинные) взаимодействия, возникающие между различным цифровым производственным оборудованием и вспомогательными цифровыми устройствами (киберфизическими производственными системами), требуют исследования в рамках новой парадигмы совместного субъектно-объектного взаимодействия.

Киберфизические экосистемы образуют киберфизическое пространство как среду жизнедеятельности человека, которая сегодня формируется в результате цифровой трансформации всех ее сфер,

вследствие социальной и общественной активности населения в освоении цифровых навыков и наработки цифровых компетенций, что, в свою очередь, сопровождается ростом производства, распределения, промежуточного и конечного потребления цифровых ресурсов [14].

Изучение публикаций, где имеется ссылка на термин «цифровая экосистема», показал, что авторы используют его в контексте описания сферы услуг. Частичная же интеграция субъектов производственной сферы, как следует из исследования, происходит на уровне бизнес-процессов. Поэтому, на наш взгляд, термин «цифровая экосистема» не отражает всей сложности и разнообразия сквозных взаимодействий и, следовательно, не вполне соответствует современным тенденциям развития экономики в условиях Четвертой промышленной революции, а потому нуждается в уточнении основных, характеризующих ее субъектов и объектов, а также свойств и возникающих при этом связей и отношений, наиболее полно определяющих новые организационные и экономические закономерности.

Термин «экосистема» был заимствован экономической наукой из биологии. Позже основоположник теории систем, австралийский биолог Л. Берталанфи трактовал его как самоорганизующуюся, саморегулирующуюся и саморазвивающуюся открытую систему, характеризующуюся входными и выходными потоками вещества и энергии. Благодаря такой трактовке понятие «экосистема» приобрело междисциплинарное значение.

Философ Дж. Ф. Мур ввел понятие «предпринимательская экосистема» и представил все стадии ее эволюции. Его учение перекликается с идеей цепочек создания ценности, предложенной экономистом М. Портером, когда участниками экосистемы являются компания, ее поставщики, посредники, потребители.

Анализ генезиса понятий «киберфизическая система» и «экосистема» в различных прикладных аспектах позволяет определить национальную киберфизическую экосистему как совокупность целевых бизнес-сообществ, интегрированных в результате сквозной цифровой трансформации отраслей экономики страны, обусловленную непрерывными субъектно-объектными, объектно-объектными, субъектно-субъектными взаимодействиями, способствующими росту общественного благосостояния и национальной безопасности на основе своевременного реагирования и адаптации к изменяющимся факторам макро- и микро-среды. Ее отличительный признак в том, что она

создает национальную цифровую платформу в замкнутом субъектно-объектном экономическом пространстве, к которой подключаются каналы внешней среды и аналитические системы, определяющие существующие политические, экономические, социальные и технико-технологические факторы макросреды, раскрывающие возможности для экономического роста, гуманитарной безопасности общества.

На межотраслевом уровне экономический смысл становления национальной киберфизической экосистемы состоит во взаимовыгодном распределении между отраслями национальной экономики общих ресурсов и их использовании, увеличении добавленной стоимости за счет повышения производительности труда и снижения транзакционных издержек.

Предлагаемая трактовка раскрывает экономические и организационные особенности киберфизических экосистем:

- *сочетание конкуренции, кооперации и субконтрактации между участниками;*
- *адаптация к изменяющимся факторам макро- и микро-среды, способствующая появлению инновационных бизнес-моделей;*
- *создание инновационной продукции, обладающей повышенной ценностью для потребителя;*
- *удовлетворение индивидуализированного спроса в рамках массового производства промышленной продукции;*
- *совместное и распределенное промежуточное потребление производственных ресурсов, приводящее к минимизации производственных затрат;*
- *прирост в балансе каждого субъекта хозяйствования цифровых материальных и нематериальных активов.*

В результате проведенного исследования, во-первых, показана актуальность разработки научной теоретической базы становления национальной киберфизической экосистемы как нового научного направления. Во-вторых, разработан теоретический базис, включающий генезис существующих в экономической теории понятий, связанных с данным феноменом, на основе которого предложена трактовка понятия «национальная киберфизическая экосистема», ранее не рассматриваемая экономической наукой. В-третьих, выявлены особенности экономической и организационной природы киберфизических экосистем, раскрывающие теоретические основы для разработки методологии организационно-экономического механизма, а также управления и развития.

На основе изложенного сформулированы направления становления национальной киберфизической экосистемы:

- *формирование институциональной среды, обеспечивающей безусловный приоритет человеческого интеллекта над искусственным при принятии стратегических управленческих решений;*
- *получение и накопление опыта управления цифровыми промышленными предприятиями, взаимодействиями в цепочках добавленной стоимости;*
- *приобретение цифровых навыков работы и использование цифровых компетенций;*
- *разработка организационно-экономических механизмов, способствующих росту и жизнедеятельности национальных целевых цифровых платформ, институциональной среды, содействующих безбарьерному, легитимному*

*и безопасному взаимодействию субъектов хозяйствования на цифровых платформах;*

- *создание организационно-экономических рычагов и инструментов, представляющих возможности самоорганизации киберфизических экосистем и их самоуправления на национальном и наднациональном уровне.*

Целью становления национальной киберфизической экосистемы является обеспечение национальной безопасности в условиях цифровой глобализации.

Новые теоретические знания, полученные в результате исследования, позволяют научно обосновать организационные и экономические закономерности в формировании и развитии межобъектных, субъектно-объектных, межсубъектных взаимодействий в национальной киберфизической экосистеме на основе развития человеческого интеллекта и сохранения его безусловного приоритета в принятии стратегических управленческих решений. ■

■ **Summary.** At the present stage of social development, the need has been identified for the formation and development of the theory and methodology of the economic and organizational foundations of the formation of the national cyberphysical ecosystem as a result of the digital transformation of the branches of the national economy in the cyberphysical space. The scientific publication presents the results of the study of the genesis of the theory of ecosystems, cyberphysical systems, digital ecosystems. The object of the study is the national cyberphysical ecosystem, which is considered as an integral part of the cyberphysical space. The relevance of the scientific problems of the theory and methodology of the formation of the national cyberphysical ecosystem is revealed. The subject of the study is the formation of new organizational and economic object-object, subject-object and subject-subject relations of multiple relations. The definition of the concept of «national cyberphysical ecosystem» is developed, the directions of formation of the national cyberphysical ecosystem are proposed.

■ **Keywords:** ecosystem, digital ecosystem, cyberphysical system, cyberphysical space, digital transformation.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-03-43-47>

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The Resiliency Compass: Navigating Global Value Chain Disruption in an Age of Uncertainty // World Economic Forum // [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Navigating\\_Global\\_Value\\_Chains\\_Disruptions\\_2021.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Navigating_Global_Value_Chains_Disruptions_2021.pdf).
2. М.В. Мясникович. Методологические подходы к разработке стратегии развития ЕАЭС в условиях мирового кризиса / М.В. Мясникович, С.Ю. Глазьев // Наука и инновации. 2020. №6 (208). С. 10–21.
3. В.Ф. Байнев. Техничко-технологический прогресс как ключевой фактор развития регионов в XXI веке / В.Ф. Байнев, Ю.Ю. Рунков // Проблемы развития территории. 2019. №4 (102). С. 148–162.
4. Данильченко А. В. Цифровая трансформация обрабатывающей промышленности Республики Беларусь: тенденции и перспективы развития / А.В. Данильченко, И.А. Зубрицкая, К.В. Якушенко. – Минск, 2019.
5. Зубрицкая И. А. Экономическая оценка цифровой трансформации обрабатывающей промышленности Республики Беларусь: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / И.А. Зубрицкая; Белор. гос. ун-т. – Минск, 2021.
6. И.А. Зубрицкая. Анализ мирового опыта цифровой трансформации промышленности: институциональная модель / И.А. Зубрицкая // Цифровая трансформация. 2019. №1 (6). С. 21–35.
7. А.В. Бабкин. Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель / А.В. Бабкин, Е.В. Шкарупета, В.А. Плотников // Экономическое возрождение России. 2021. №4 (70). С. 39–62.
8. А.Е. Карлик. Организационное обеспечение цифровой трансформации кооперационных сетей и внедрения киберсоциальных систем / А.Е. Карлик, В.В. Платонов, С.А. Кречко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12. №5. С. 9–22.
9. Куприяновский В. П. Киберфизические системы как основа цифровой экономики // В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.А. Сиягов / International Journal of Open Information Technologies, ISSN: 2307–8162. 2016 vol. 4, N2. P. 18–25.
10. А.А. Федоров. Индустрия 5.0: основы создания нейро-цифровых экосистем / А.А. Федоров, С.И. Корягин, И.В. Либерман, П.М. Клачек // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14. №3 С. 19–39.
11. Релизы CPS // Библиотека CPS PWG // <https://pages.nist.gov/cpspwg/library>.
12. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М., 1968.
13. Зубрицкая И. А. Методологические основы становления национальной киберфизической экосистемы / И.А. Зубрицкая // Перспективы евразийской экономической интеграции: материалы форума, посвящ. 10-летию Евразийской экономической комиссии, в рамках XVIII Междунар. науч. семинара «Мировая экономика и бизнес-администрирование», провод. в рамках XX Междунар. науч.-техн. конф. «Наука – образованию, производству, экономике», 16–17 марта 2022 г. – Минск, 2022.
14. Зубрицкая И. А. Экономика киберпространства: теоретические аспекты / И.А. Зубрицкая // Устойчивое развитие в условиях глобальных вызовов: сб. науч. ст.: / под ред. Е.В. Викторовой, 2022. – СПб., 2022.

Статья поступила в редакцию 12.10.2022 г.