

<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-4-1244>

Киберфизическое развитие технополисов в условиях цифровизации и интеллектуализации промышленности

Е.В. Шкарупета^{1,2,3}  

¹ Псковский государственный университет, 180000, Псков, пл. Ленина, д. 2, Российская Федерация

² Воронежский государственный технический университет,
394071, Воронеж, 20-летия Октября, д. 84, Российская Федерация

³ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
662972, Железнодорожск, ул. Северная, д. 1, Российская Федерация

 9056591561@mail.ru

Аннотация. В статье отражены результаты многоаспектного исследования, направленного на анализ сложившихся моделей и концепций технополисов с акцентом на их киберфизическое развитие в свете современных технологических и социально-экономических изменений. Технополисы признаны одними из самых крупных и потенциально важных проектов в мире. Целью исследования явились систематизация и анализ существующих моделей технополисного развития, а также определение ключевых факторов, влияющих на эффективность и инновационную активность этих зон в контексте цифровизации и интеллектуализации промышленности. Проанализирована эволюция исследовательского интереса к технополисной концепции. Осуществлена систематизация определений и теоретических подходов к понятию технополиса. Эшелонированная концепция технополиса представлена на основе когнитивной триады экономических, технологических и градостроительных аспектов. Выстроена эмпирическая типология кластеров, показаны их отличия от наукоградов и технопарков. Технополисы предложено рассматривать с позиции их включения в объектную составляющую инновационно-промышленных экосистем наравне с кластерами, парками и зонами. Выделены ограничения технополисной концепции. Проведен анализ текущего состояния и перспектив развития технополисов в РФ как локомотивов инновационной активности в условиях цифровизации промышленности. Предложена модель киберфизического технополиса на основе интеллектуальных пространств, интегрирующая в себя последние достижения в области информационных технологий и управленческих инноваций. Предложенная модель предполагает создание синергетического взаимодействия между физическими и цифровыми элементами промышленной среды, что может служить стимулом для скачкообразного развития технополисов и всей инновационно-промышленной экосистемы страны. Направлением дальнейших исследований может стать разработка моделей для оценки экономического вклада киберфизических технополисов на макро- и микроуровне.

Ключевые слова: технополисы, технопарки, наукограды, киберфизический технополис, киберфизическое развитие, интеллектуальный технополис, цифровизация, интеллектуализация

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-28-01226).

Для цитирования: Шкарупета Е.В. Киберфизическое развитие технополисов в условиях цифровизации и интеллектуализации промышленности. *Экономика промышленности*. 2023;16(4):381–397. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-4-1244>

Cyberphysical development of technopolises under conditions of digitalisation and intelligentisation of industry

E.V. Shkarupeta^{1,2,3}  

¹ Pskov State University, 2 Lenin Sq., Pskov 180000, Russian Federation

² Voronezh State Technical University, 84 20-letiya Oktyabrya Str., Voronezh 394071, Russian Federation

³ Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 1 Severnaya Str., Zheleznogorsk 662972, Russian Federation

 9056591561@mail.ru

Abstract. The article reflects the results of a multidimensional study aimed at analysing the established models and concepts of technopolises, focusing on their cyber-physical development in the light of modern technological and socio-economic changes. Technopolises are recognised as some of the largest and potentially most important projects in the world. The aim of the research was to systematise and analyse existing models of technopolis development, and to identify the key factors influencing the efficiency and innovation activity of these zones in the context of digitalisation and intellectualisation of industry. The evolution of research interest in the technopolis concept was analysed. The systematisation of definitions and theoretical approaches to the concept of technopolis was carried out. The echeloned concept of technopolis is presented on the basis of the cognitive triad of economic, technological and urban planning aspects. The empirical typology of clusters is built, their differences from science cities and technoparks are shown. Technopolises are proposed to be considered from the position of their inclusion in the object component of innovation-industrial ecosystems along with clusters, parks and zones. The limitations of the technopolis concept are highlighted. The analysis of the current state and prospects of technopolises development in the Russian Federation as locomotives of innovation activity in the conditions of industry digitalisation is carried out. The model of cyber-physical technopolis based on intellectual spaces integrating the latest achievements in the field of information technologies and managerial innovations is proposed. The proposed model implies the creation of synergetic interaction between physical and digital elements of the industrial environment, which can serve as a stimulus for the leapfrog development of technopolises and the entire innovation-industrial ecosystem of the country. The development of models for assessing the economic contribution of cyber-physical technopolises at the macro- and micro-levels may become a direction for further research.

Keywords: technopolises, technoparks, science cities, cyber-physical technopolis, cyber-physical development, intelligent technopolis, digitalisation, intelligentisation

Acknowledgements: The study has been conducted with the support of the Russian Science Foundation (Project No. 23-28-01226).

For citation: Shkarupeta E.V. Cyberphysical development of technopolises under conditions of digitalisation and intelligentisation of industry. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2023;16(4):381–397. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-4-1244>

技术城市在数字化和智能化条件下的网络物理发展

E.V. 什卡鲁佩塔^{1,2,3}  

¹ 普斯科夫国立大学, 180000, 俄罗斯联邦普斯科夫市列宁广场2号

² 沃罗涅日国立技术大学, 394071, 俄罗斯联邦沃罗涅日市十月革命胜利20周年大街 84号

³ 俄罗斯紧急情况部国家消防局西伯利亚消防救援学院, 662972, 俄罗斯联邦热列兹诺哥尔斯克市谢韦尔纳亚大街 1号

 9056591561@mail.ru

摘要: 本文反映了一项多面研究成果, 旨在分析技术城市的现有模式和概念, 重点是根据现代技术和社会经济变革对技术城市的网络物理发展进行分析。技术城市被认为是世界上最大和最具潜在的重要项目之一。这项研究的目的是对现有的技术城市发展模式进行系统化分析, 并找

出在工业数字化和智能化背景下影响这些地区效率和创新活动的关键因素。分析了技术城市概念研究兴趣的演变。对技术城市概念的定义和理论方法进行了系统化。在经济、技术和城市规划三方面认知的基础上，提出了技术城市的分层概念。建立了集群的经验类型，显示了它们与科学城和科技园区的区别。建议将技术城市与产业集群和科技园区一起纳入创新工业生态系统的客体组成部分，以此为视角研究技术城市。此外，还强调了技术城市概念的局限性。分析了俄罗斯联邦技术城市在工业数字化背景下作为创新活动火车头的发展现状和前景。在整合信息技术和管理创新领域最新成果的知识空间基础上，提出了网络物理技术城市模型。所提出的模型意味着在工业环境的物理和数字元素之间建立协同互动，这可以促进技术城市和国家整个创新工业生态系统的跨越式发展。进一步研究的方向可能是建立模型，从宏观和微观层面评估网络物理技术城市的经济贡献。

关键词：技术城市、技术园区、科学城、网络物理技术城市、网络物理发展、智能技术城市、数字化、智能化。

致谢：本研究得到了俄罗斯科学基金会（项目编号：23-28-01226）的支持。

Введение

Исследуя и изучая технополисы, ученые и практики имеют дело, возможно, с одним из самых крупных и, безусловно, одним из потенциально самых важных проектов в мире. Технополисы, представляя собой комплексные структуры, где синтезируются научные исследования, инновационная деятельность и производственные мощности, становятся фокусными пунктами трансформации экономических систем. Эволюция этих технологически насыщенных городских агломераций несет в себе ключи к пониманию тенденций развития современной индустрии и динамики цифровой экономики. В условиях стремительного развития цифровых технологий и перехода к интеллектуализации промышленных процессов на основе Индустрии 4.0 и 5.0 киберфизическое развитие технополисов приобретает особую актуальность и стратегическое значение.

Проблема, стоящая перед учеными и практиками, заключается в необходимости глубокого анализа и понимания процессов, происходящих в технополисах с учетом их киберфизического измерения. Это требует разработки новых концептуальных подходов, которые бы отражали сложность взаимодействий между технологиями, человеческим капиталом и инфраструктурой.

Целью настоящего исследования является систематизация и анализ существующих моделей технополисного развития, а также определение ключевых факторов, влияющих на эффективность и инновационную активность этих зон в контексте цифровизации и интеллектуализации промышленности.

Объектом исследования выступают технополисы как многофункциональные формирования, где цифровые технологии и интеллектуальные

системы взаимодействуют с физическими объектами и промышленными процессами, создавая уникальное пространство для научно-технического прогресса и экономического роста.

Технополисная концепция

Эволюция исследовательского интереса к технополисному развитию может быть оценена на основе данных открытого каталога мировой экосистемы научных исследований OpenAlex¹. Автор выявил 2584 статей с ключевым словом «technopolis» за период с 1953 по 2023 г. (рис. 1).

Первым ученым-экономистом, которого можно рассматривать как основателя технополисной концепции, является А. Marshall, предложивший в 1890 г. понятие локализованных отраслей [1]. Далее, в 1933 г., W. Christaller создал теорию центральных мест, представляющую собой модель, описывающую организацию пространства в городской системе с учетом распределения населенных пунктов [2]. Прообразом современных технополисов как наукоградов еще в 30-е гг. XX в. стали советские академгородки, а непосредственный предшественник технополисов как научных парков был впервые создан в 1951 г. в США Ф. Терманом на базе Стэнфордского университета путем использования части университетских земель для создания локализованной промышленной зоны, в которую в дальнейшем были привлечены компании электронной и авиакосмической промышленности. Для реализации этого проекта была создана соответствующая инфраструктура – подведены дороги, коммуникации, связь, построены основные фонды, создана соответствующая сфера услуг. Созданная зона впервые получила название исследовательского промышленного парка.

¹ OpenAlex, a free index for the world's research. URL: <https://openalex.org> (дата обращения: 01.12.2023).

Как показано в [3], в 1950-х гг. также появились первые агломерационные теории: теория полюсов роста F. Perroux [4] (1950 г.), теория пространственного развития W. Isard [5] (1952 г.) и др. В 1962 г. модель «центр – периферия» была создана J. Friedmann [6], а в 1973 г. M.S. Granovetter [7] провел исследование «Сила слабых связей». В 1979 г. G. Becattini [8] ввел понятие «промышленные округа».

Зародившись в 50-х гг. XX в., концепция технополисов получила второе дыхание в 80-х гг. XX в. в трудах R.W. Smilor, D.V. Gibson и G. Kozmetsky [9]. Этими авторами в 1989 г. была предложена так называемая концепция колеса технополиса [10]. Ключевые семь основных сегментов институциональной структуры технополиса (муниципалитет, крупные технологические компании, малые технологические компании, региональная власть, местное правительство, фе-

деральное правительство и группы поддержки) изложены этими же авторами на год раньше [11].

Другой фундаментальной работой, развивающей основы технополисной теории, является труд M. Castells и P. Hall [12], в котором авторы, анализируя политику и практику Японии (в частности, объединение элементов городо-садов и Силиконовой долины), создали концепцию, включающую исследовательские университеты, научные центры, промышленные исследовательские парки, совместные консорциумы НИОКР, фонды венчурного капитала, офисные комплексы, международные конгресс-центры и жилые новые города.

В табл. 1 систематизированы различные определения понятий «технополис», «technopôle»², «технополисная концепция».

² Французское слово, используемое для общего описания технополисов.

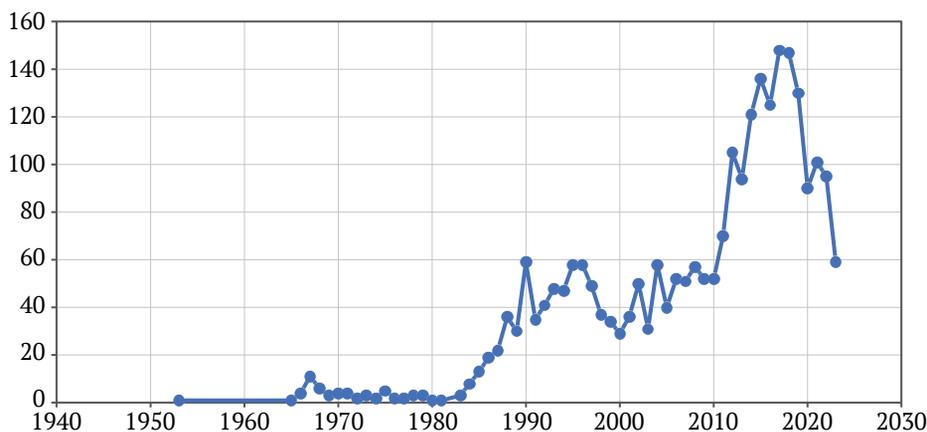


Рис. 1. Распределение количества публикаций с ключевым словом *technopolis* по годам (составлено автором по данным OpenAlex на 06.11.2023)

Fig. 1. Distribution of the number of publications with the keyword *technopolis* by year (compiled by the author according to OpenAlex data as of 06.11.2023)

Таблица 1 / Table 1

Систематизация определений понятия «технополис» по годам

Systematisation of definitions of the concept of “technopolis” by year

Автор(ы)	Год	Определение понятия	Источник
М. Магуама – приглашенный профессор международного бизнеса на факультете экономики бизнеса Гавайского университета	1985	Технополис – это здоровая среда обитания с культурными удобствами в сочетании с высокотехнологичными производствами, удаленная от существующих перенаселенных промышленных центров и адаптированная к местным особенностям	[13]
Ш. Тацуно – американец японского происхождения, ученый и практик, профессионал в области анализа технологических тенденций и управления ими	1986	Концепция технополиса не ограничивается упором только на технологию, а предлагает создание совершенно новых городов, заполненных исследовательскими центрами, новыми университетами, технологическими центрами, жилыми массивами, парками и учреждениями культуры. Цель состоит в создании среды, в которой люди могли бы становиться творцами и гармонично развитыми гражданами	[14]

Окончание табл. 1

Автор(ы)	Год	Определение понятия	Источник
R.W. Smilor, D.V. Gibson, G. Kozmetsky – Техасский университет в Остине, США	1989	Современный технополис – это город, в котором коммерциализация технологий взаимодействует с государственным и частным сектором, стимулируя экономическое развитие и способствуя диверсификации технологий	[9]
M. Castells и P. Hall – Академия предпринимательского лидерства Университета Иллинойса, США	1994	Технополисы – это (как правило) плановые проекты, направленные на создание на концентрированной территории инновационной высокотехнологичной промышленности и связанных с ней производств, часто являющиеся результатом сотрудничества государственного и частного сектора. Их продвижением занимаются правительства, часто совместно с университетами и частными компаниями, которые займут созданные площади	[12]
А.Н. Авдулов, А.М. Кулькин – Российская академия наук, Институт научной информации по общественным наукам, Россия	1992	Технополис – научно-производственный комплекс с развитой инфраструктурой сферы обслуживания, охватывающий территорию отдельного города	[15; 16]
		Технополис – город, в экономике которого главную роль играют исследовательские центры, разрабатывающие новые технологии, и производства, эти технологии использующие	[15; 16]
		Технополис – город, построенный заново или заметно реконструированный в ходе и в результате развития новых производств	[15; 16]
D.S. Oh – Чунгнамский национальный университет, Корея	1995	Концепция «технополиса» предполагает создание новых поселений, включающих исследовательские парки, новые университеты, технологические центры, жилье и культурные объекты	[17]
Н.Р. Фрезинская – ГИПРОНИИ РАН, Россия	2009	Технополисы – относительно самостоятельные, комплексные градостроительные образования	[18]
R. Hassink и S.H. Berg – Кильский университет, Германия	2014	Технополис – земельно-имущественная форма технологической политики, направленной на создание пространственной агломерации высокотехнологичных предприятий и организаций	[19]
R. Sutriadi – Технологический институт Бандунга, Индонезия	2016	Технополис включает в себя множество аспектов городской жизни, таких как более эффективное экономическое развитие, умные люди и устойчивое развитие	[20]
		Технополис – город, который применяет технополисную концепцию.	[20]
R. Sutriadi – Технологический институт Бандунга, Индонезия	2018	Технополис – это инновационный подход к устойчивому планированию на уровне города или региона, способствующий развитию на основе знаний путем непрерывного обучения человеческих ресурсов как неотъемлемой части развития городских или региональных ресурсов, особенно в стимулировании уровня технологической готовности от базовой идеи до полного коммерческого применения/продукта в городской и региональной системе в контексте системы планирования национального развития	[21]
R. Sutriadi, F.N. Aziz, A. Ramadhan – Технологический институт Бандунга, Индонезия	2022	Технополе – это инновационная концепция развития города, связанная с технологией, которая представляет собой прогресс в создании знаний и инноваций	[22]
		Технополе – это центр деятельности (полюс), а также город (полис), на который указывает наличие групп людей и разнообразных видов деятельности. Его специфическая особенность связана с новейшими изобретениями и технологиями, которые могут стимулировать экономическую деятельность и городской образ жизни, особенно в качестве центра деятельности на городской территории	[22]
		Имеет смысл использовать коммуникативный городской подход в понимании концепции технополя как выбранной темы развития городской территории	[22]

Анализ различных трактовок концепции технополиса демонстрирует мультидисциплинарный характер этого явления, в котором переплетаются экономические, технологические и градостроительные аспекты (рис. 2).

Технологическое и экономическое измерение связано с технологическими инновациями и экономическим развитием на основе технологий; градостроительное измерение предполагает создание среды, привлекательной для высококвалифицированных работников и предпринимателей в качестве места проживания и работы.

М. Maruyama [13] акцентирует внимание на создании здоровой среды с культурными удобствами и высокотехнологичными промышленностями, отдаленных от перенасыщенных промышленных центров, что указывает на стремление к экономическому возрождению и развитию регионов через инновации. Ш. Тацуно [14] расширяет концепцию, включая создание новых городов с исследовательскими центрами и университетами, что обогащает технологический и культурный ландшафт, а также предоставляет градостроительное измерение через планирование жилых районов и парков. R.W. Smilor и его коллеги из Университета Техаса [9] определяют технополис как место взаимодействия коммерциализации технологий с государственным и частным сектором, акцентируя внимание на экономическом развитии и продвижении технологического разнообразия.

М. Castells и Р. Hall [12] видят технополисы как чаще всего планируемые проекты, направленные на создание инновационных высокотехнологичных промышленностей и связанных с ними отраслей в сконцентрированном районе, часто в результате публично-частного сотрудничества, что подразумевает и экономическую, и градостроительную синергию. Российские исследователи А.Н. Авдулов и А.М. Кулькин [15; 16]

описывают технополис как научно-производственный комплекс с развитой инфраструктурой, что включает экономический и градостроительный аспекты, подразумевающая комплексный подход к разработке и применению новых технологий.

Определение D.S. Oh [17] из Чуннамского национального университета Кореи и Н.Р. Фрезинской [18] из ГИПРОНИИ РАН в России указывает на создание новых поселений, включая исследовательские парки и жилые районы, что соотносится с градостроительным аспектом и обозначает технополис как комплексную урбанистическую формацию. Исследователи R. Hassink и S.-H. Berg [19] из Университета Киля в Германии рассматривают технополисы как форму технологической политики, направленную на создание пространственной агломерации высокотехнологичных предприятий и организаций, что свидетельствует о том, как экономические и технологические факторы содействуют формированию городской структуры.

R. Sutriadi [20–22] из Института технологий Бандунга в Индонезии в различные годы представляет технополис как инновационный подход к устойчивому планированию на уровне города или региона, что стимулирует знания и развитие человеческих ресурсов в контексте национального планирования развития и рассматривает его как средоточие деятельности и прогресса в создании знаний и инноваций. Эти определения сочетают в себе экономические, технологические и градостроительные элементы, подчеркивая важность непрерывного обучения и технологической готовности в развитии урбанизированных территорий.

Национальная технологическая цель технополисов – предоставить высокотехнологичным отраслям достаточное количество промышленных площадей и условий для творческих исследований. Эти ресурсы сосредоточены в крупных

Экономическое измерение	Технологическое измерение	Градостроительное измерение
Технополис как многофункциональная экономическая структура, интегрирующая науку, бизнес и промышленность для стимулирования регионального экономического развития, создания новых рабочих мест и повышения качества жизни	Технополис как средоточие высокотехнологичного предпринимательства, инноваций и научных исследований, обеспечивающее платформу для коммерциализации научно-технических достижений и ускорения технологического прогресса	Технополис как планомерно развивающаяся урбанистическая зона, где интеграция образовательных учреждений, исследовательских центров и жилых районов направлена на создание сбалансированной и устойчивой городской среды

Рис. 2. Мультидисциплинарный характер технополисной концепции

Fig. 2. Multidisciplinary nature of the technopolis concept

мегаполисах. Региональная технологическая задача заключается в стимулировании технологического развития менее развитых территорий. Для этого физическая, научная и институциональная инфраструктура развивается децентрализованно путем сочетания мер, принимаемых на местном и региональном уровнях национальным правительством [23].

Особое значение в развитии технополиса имеют четыре фактора: достижение научного превосходства, разработка и поддержание новых технологий для развивающихся отраслей, привлечение крупных технологических компаний и создание собственных технологических компаний [9].

Технополис состоит из трех взаимосвязанных компонентов: промышленного блока, академических и исследовательских институтов и жилой зоны [24]. Важнейшим элементом технополиса является создание высокотехнологичных промышленных комплексов, включающих электронику, мехатронику, робототехнику, биотехнологии и другие подобные отрасли. Эти комплексы рассматриваются как ключевые элементы, обеспечивающие саморазвитие экономики технополиса. Таким образом, технополисы должны обеспечить приходящие высокотехнологичные фирмы необходимым набором производственных и исследовательских мощностей. К академическим элементам относятся университеты, научно-исследовательские институты и лаборатории, способные обеспечить предприятия технополиса передовым уровнем научно-технических знаний и стимулировать исследования. Что касается жилья, то в технополисах должны быть созданы благоприятные условия для жизни высококвалифицированного персонала и членов их семей [25].

Эмпирическая типология технополисов

Классифицировать технополисы можно по разным параметрам – по масштабам, целям, по степени наукоемкости, по составу участников и т.д. [15; 16]. Технополисы могут быть запланированными или незапланированными, финансироваться частным образом, государством или создаваться на основе государственно-частного партнерства [19]. Технополисы могут быть региональными (расположенными в городских агломерациях и группах городских агломераций) либо локальными (занимающими относительно самостоятельные участки городских территорий) [26].

К технополисам также могут относиться «размытые» центры высоких технологий, в которых нет специальных высокотехнологичных зон, но в рассредоточенной, дисперсивной форме все

или почти все элементы технополиса присутствуют (например, города Нью-Йорк, Чикаго или Филадельфия) [15; 16; 27].

Термин «центр высоких технологий» можно использовать в широком смысле для обозначения объектов недвижимости, иногда связанных с реконструкцией городов, целью которой является содействие и стимулирование роста высокотехнологичных фирм за счет передачи технологий и перекрестного оплодотворения в сочетании с высшим учебным заведением или исследовательским центром [17].

В научной литературе и на практике встречается значительное количество терминов, обозначающих различные варианты парковых структур или близких к ним по замыслу организаций: научный парк, исследовательский парк, промышленный (индустриальный) парк, технопарк, технополис, наукоград, инновационный парк, инкубатор. Часто вместо слова «парк» используют слово «центр» с теми же приставками: технологический центр, инновационный центр и т.п. [15; 16]. В последнее время на волне интереса к парадигме устойчивого развития в научный оборот вошли также понятия промышленных, инновационных экосистем, сетей промышленного симбиоза и т.д. Кроме того, кластерная теория, введенная в 1990 г. М. Porter [28] также взаимодействует и коррелирует с технополисной концепцией [29]. Разнобой в терминологии затрудняет анализ и обуславливает необходимость четкой классификации перечисленных структур.

Эмпирическую типологию будем строить, передвигаясь от общего к частному, т.е. используя метод дедукции (рис. 3).

Самым широким понятием в контексте настоящего исследования выступает понятие «инновационно-промышленная экосистема» [30–33]. Инновационно-промышленные экосистемы основаны на синергетическом взаимодействии объектных (кластер, парк, зона), структурных (платформа), процессных (сеть) и инновационных (инкубатор, центр) составляющих [34]. «Экосистема играет роль естественной оболочки для организации взаимодействия кластеров, платформ, сетей и бизнес-инкубаторов» [35].

Рассмотрим объектную составляющую инновационно-промышленных экосистем, к которой Г.Б. Клейнер [36] относит кластеры, парки и зоны. На взгляд автора, помимо кластеров, парков и зон в контур объектной составляющей инновационно-промышленных экосистем должны быть включены технополисы и наукограды. Наукограды и технополисы являются эволюционировавшими формами инновационного устройства,



Рис. 3. Дедуктивный подход к построению эмпирической типологии технополисов

Fig. 3. Deductive approach to building an empirical typology of technopolises

выросшими из таких предшествующих организационных структур, как технопарк и кластер. Технопарк представляет собой начальную стадию в этой последовательности, образуя научно-производственный комплекс, который создает оптимальные условия для становления и роста мелких высокотехнологичных фирм. В ходе функционирования технопарка происходит выработка многочисленных связей между участниками, включающими в себя научные учреждения, образовательные институты, предприятия реального и финансового сектора экономики, что приводит к его преобразованию в ключевой инновационный кластер, способный координировать инновационную деятельность входящих в него элементов [37; 38]. Кластер объединяет экономические субъекты из различных областей, включая научные исследования, инженерию, консалтинг, логистику, производство и финансы, причем один из агентов, будь то крупное производственное предприятие, группа малых компаний, научный институт или высшее учебное заведение, выступает в качестве основного двигателя инноваций и ключевого компонента кластера. Последующая стадия развития – это технополис, который является более комплексной структурой и глубоко интегрирован в институциональную, экономическую и социальную ткань региона, что способствует расширенному синергетическому взаимодействию всех участников инновационного процесса.

Ряд авторов, например, R. Hassink и S.-H. Berg [19], термины «технополис» и «наукоград» используют как синонимы. Другие – напротив, отмечают, что в зависимости от направленности и деятельности можно провести различие между технополисами и наукоградом. Так, техно-

полисами являются города с большим количеством высокотехнологичных производственных компаний и относительно небольшим числом институтов фундаментальных исследований. И, наоборот, наукограды – это районы с преобладанием институтов фундаментальных исследований и относительно небольшим количеством высокотехнологичных производственных фирм. Эти два термина и типы сообществ, которые они представляют, не являются взаимоисключающими. Например, Силиконовая долина в США хорошо зарекомендовала себя и как наукоград, и как технополис [39].

Наукограды и технополисы также различает G. Dabinett в своей эмпирической типологии, основанной на международном опыте и позволяющей объяснить инициативы, в которых акцент был сделан на плановом технопромышленном развитии [40]:

1. Технопарки – попытка стимулировать новый промышленный рост путем привлечения высокотехнологичных производственных фирм на привилегированную территорию. Функции, определяемые в терминах экономического развития, – сознательно созданная бизнес-зона, являющаяся результатом усилий правительства и/или университетов.

2. Наукограды – строго научно-исследовательские комплексы, не имеющие прямой территориальной привязки к производству. Наукограды предназначены для достижения более высокого уровня научного мастерства за счет синергии, которую они должны генерировать в своем уединенном научном окружении.

3. Программы технополисов – локализация национальных программ, региональное развитие.

В рамках этой типологии наукограды рассматриваются как «новые поселения, как правило, планируемые и строящиеся правительствами и нацеленные на создание передового научного потенциала и синергетической исследовательской деятельности путем концентрации критической массы исследовательских организаций и ученых в пределах высококачественного городского пространства» [12]. В отличие от других типов технополисов, наукограды характеризуются тем, что они ориентированы на науку и исследование, не зависящие от их влияния на непосредственную производственную среду. Как правило, они задумываются как поддержка национального научного развития, что само по себе считается позитивной целью, в надежде на то, что более качественные научные исследования постепенно распространятся на всю экономику и социальную структуру. Они также часто представляются как инструменты регионального развития, призванные содействовать децентрализации научных исследований со всем вытекающим отсюда престижем на периферию страны или, в противном случае, периферию метрополии [40].

С точки зрения одних из главных методологов технополисной концепции М. Castells и Р. Hall «наукограды» являются одним из подвидов технополисов и представляют собой чисто исследовательские комплексы с небольшим количеством или отсутствием прямых связей с местной или региональной промышленностью [12]. К ним относятся Академгородок (Сибирь), Таедок (Корея), Цукуба и Кансай (Япония) и др.

Ученые М. Castells и Р. Hall предлагают собственную классификацию, выделяя шесть типов технополисов [12]:

1) «полупланоные» технополисы – это промышленные комплексы высокотехнологичных фирм, построенные на базе инновационных сред. Эти комплексы, соединяющие НИОКР и производство, являются настоящими командными центрами нового индустриального пространства. Некоторые из них полностью сформировались на последней волне глобальной индустриализации, характеризующейся появлением новых высокотехнологичных фирм (наиболее известной во всем мире является Силиконовая долина). Другие новые комплексы развиваются на базе старых промышленных регионов, проходящих через процесс трансформации и реиндустриализации (примером является бостонский район Route 128). Эти новые технопромышленные комплексы возникают без целенаправленного планирования, хотя и там правительства и университеты сыграли решающую роль в их развитии;

2) наукограды – целенаправленно создаваемые сугубо научно-исследовательские комплексы, не имеющие прямой территориальной привязки к производству. Они призваны выйти на более высокий уровень научного мастерства за счет синергетического эффекта, который должны генерировать в своем уединенном научном окружении, концентрируя человеческие и материальные ресурсы;

3) технопарки – территории, на которых доминируют высокотехнологичные компании, в развитии которых принимали активное участие государственные органы и университеты. Технопарки призваны стимулировать новый промышленный рост с точки зрения рабочих мест и производства за счет привлечения высокотехнологичных производственных компаний на привилегированную территорию. Инновационные функции не исключаются из таких проектов, но в основном они определяются в терминах экономического развития. Название «технопарк» не должно заслонять реальности, которая заключается в целенаправленном создании высокотехнологичной бизнес-зоны в результате государственных или университетских инициатив. К наиболее жестко спланированному правительственному парку можно отнести Ксинчу на Тайване. Смешанной схемой создания характеризуется София-Антиполис во Франции, а самой свободной университетской инициативой является Кембридж в Англии;

4) программные технополисы – как инструменты регионального развития и промышленной децентрализации. До сих пор в мире существует только одна крупная подобная программа – программа «Технополис» в Японии [41; 42]. Например, в Турции технополисы создаются в соответствии с Законом № 4691 «О зонах технологического развития» и называются зонами технологического развития (*Technology Development Zones, TDZ*) [43]. В России на основании Федерального закона от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации»³ создаются индустриальные (промышленные) парки, промышленные кластеры, инжиниринговые центры, промышленные технопарки, технопарки в сфере высоких технологий и т.д. Создание технополисов в РФ законодательно не регулируется;

5) крупные мегаполисы промышленно развитых стран – являются технополисами и по физическим характеристикам мало чем отлича-

³ Федеральный закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» (посл. ред.). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119/ (дата обращения: 06.11.2023).

ются от них, несмотря на то что их не принято называть инновационными. Такие мегаполисы выступают квинтэссенцией инновационной среды и могут быть дифференцированы по времени существования: старые метрополии, сохранившие свою ведущую технологическую роль (Токио, Париж, Лондон); метрополии, утратившие роль передовых производственных центров (Нью-Йорк и Берлин); вновь появившиеся технологически-индустриальные метрополии, которые фактически заняли их место (Лос-Анджелес и Мюнхен);

б) технополисы, находящиеся на ранней стадии планирования, – современные попытки создания инновационных сред.

А.Н. Авдулов и А.М. Кулькин [15; 16] классифицируют научные парки по масштабу, выделяя:

– регион науки – исследовательские центры, работающие над разработками новых технологий, масштаб которых сопоставим с административным округом или районом;

– технополис – комплекс науки и производства с развитой инфраструктурой сферы услуг, входящий в территорию отдельного города;

– технопарк – научно-производственный территориальный комплекс, в состав которого входят исследовательский центр и взаимосвязанная с ним зона производства;

– инкубатор – начальная ступень и одна из частей технопарка, представляющая из себя здание или несколько зданий, где на определенный срок размещаются создаваемые малые наукоемкие фирмы-клиенты.

С точки зрения масштаба и развития, I. Masser указал на разницу между технополисами и научными парками: технополисы более масштабны и часто связаны с крупным физическим развитием инфраструктуры и объектов по модели нового города, в то время как научные парки более ограничены по масштабу [44]. Технополисы также более ориентированы на производство, чем научные парки. Другими словами, технополис, по сравнению с технопарком и инкубатором, является более масштабным образованием и имеет расширенную и развитую коммунально-бытовую, транспортную, строительную и торговую подсистему [45]. В случае технопарка его динамичную систему следует разделить на образовательную, предпринимательскую, исследовательскую и поддерживающую. Если рассматривать систему технополиса, то она включает в себя промышленный, научно-исследовательский, кредитно-финансовый, информационный и инновационный компоненты, которые тесно переплетены в его структуру.

После запуска в РФ в 2018 г. национального проекта «Наука»⁴ было расширено применение организационных моделей взаимодействия в сфере науки и производства, предложенных ранее в Национальной технологической инициативе (НТИ). Новая стратегия научно-производственной синергии направлена на формирование интегрированной сетевой структуры, в рамках которой взаимодействуют научные образовательные центры мирового уровня (НОЦ); научные центры мирового уровня (НЦМУ); центры развития компетенций руководителей научных, научно-технических проектов и лабораторий и т.д. Помимо национального проекта «Наука», формы научно-производственной кооперации в РФ регулирует Федеральный закон от 29.07.2017 № 216-ФЗ «Об инновационных научно-технологических центрах и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»⁵ и Концепция технологического развития до 2030 г.⁶

Критика концепции технополиса охватывает множество аспектов, включая экономические, управленческие и социальные измерения. Одним из аргументов противников является потенциальная экономическая неэффективность, поскольку инициативы технополиса могут привести к растрате ресурсов без гарантии отдачи [46]. Кроме того, реализация проекта технополиса требует долгосрочных инвестиций времени и ресурсов для достижения инновационной синергии [46], что становится затруднительным из-за продолжительности процесса, занимающего до двух десятилетий (необходимый срок, чтобы последствия технополя стали очевидными, составляет от 15 до 25 лет [12]).

Также существует мнение, что развитие технополиса часто остается изолированным и не интегрируется в широкий экономический и пространственный контекст. Технополисы увеличивают свою зависимость от привлечения новых

⁴ Паспорт национального проекта «Наука» (утв. Президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16).

⁵ Федеральный закон от 29.07.2017 № 216-ФЗ (ред. от 28.12.2022) «Об инновационных научно-технологических центрах и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221172/ (дата обращения: 06.11.2023).

⁶ Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года» (вместе с «Концепцией технологического развития на период до 2030 года»). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_447895/ (дата обращения: 06.11.2023).

инвестиций, что может привести к конкуренции за снижение стоимости, которая в свою очередь зависит от общей экономической конъюнктуры. Еще одно критическое замечание касается того, что технополис привлекает преимущественно мобильные инвестиции, в то время как местное эндогенное развитие остается незначительным. Задачи производства и услуг часто оказываются рутинными, с акцентом на субподряд и функциональный отток, что снижает стоимость и качество по сравнению с базовыми экономиками. Проблематичным является также отсутствие эффективных связей между университетами и предприятиями. Локальные академические и предпринимательские круги могут страдать от недостатка творческих и предпринимательских талантов, а устоявшиеся социальные связи – препятствовать полноценному взаимодействию. Такие препятствия усугубляются национальной политикой в области образования, исследований и предпринимательства. Технополисы также могут испытывать недостаток в создании мягкой инфраструктуры, необходимой для поддержки исследований и развития технологий, например, в форме венчурного капитала и международного обмена знаниями. Без этого дальнейшее разви-

тие становится все более зависимым от расширения твердой инфраструктуры. Ограничения или трудности в перемещении высококвалифицированных кадров и ведущих научно-исследовательских и разработочных мероприятий приводят к созданию иерархического разделения труда в области науки и техники. Отсутствие межсекторальных связей, добровольного сотрудничества и вытекающих из университетов, лабораторий и исследовательских центров spin-off компаний также являются предметом критики, подчеркивая стагнацию предпринимательской и бизнес-культуры. Кроме того, развитие технополиса может быть сдержано и нарушено непродуктивной конкуренцией и соперничеством между местными властями и развивающимися институтами, что влечет за собой неэффективность и непредсказуемость, а также увеличивает фискальные нагрузки [40].

Исследование современного состояния технопарков, наукоградов и технополисов в РФ

По данным Минпромторга России⁷, общее количество технопарков в России по годам незначительно увеличивается, достигнув в 2023 г. отметки в 107 единиц, при этом число действующих технопарков увеличилось с 71 до 79, а число создаваемых осталось неизменным в 2022–2023 гг. – 28 единиц. Из общего числа технопарков, формы собственности распределены следующим образом: 27 – государственных, 73 – частных и 7 – смешанных, что указывает на доминирующую роль частного сектора в создании и управлении технопарками.

Большинство технопарков сосредоточено в трех федеральных округах: Центральном (43 единицы), Приволжском (33 единицы) и Уральском (14 единиц). На уровне субъектов РФ Московская область и Москва являются лидерами по количеству технопарков, что говорит о концентрации инновационной активности и инвестиционных потоков в этих регионах. Среднее значение технопарков, приходящееся на субъект РФ с действующими и создаваемыми парками, составляет 3 единицы, что подчеркивает различия в масштабах технопарков между регионами и может отражать различные стратегии регионального развития, степень вовлеченности местных властей и доступность ресурсов для поддержки такого рода инициатив.

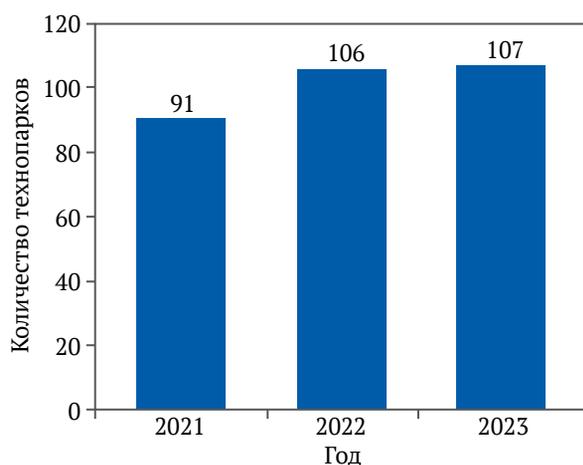


Рис. 4. Количество технопарков в РФ за 2021–2023 гг.

(по данным Минпромторга России)

Источник: Сводная статистическая информация геоинформационной системы по технопаркам. ГИС Промышленности. URL: <https://gisp.gov.ru/atlas/map/industrial> (дата обращения: 03.11.2023).

Fig. 4. Number of technoparks in the Russian Federation for 2021–2023 (according to the Ministry of Industry and Trade of Russia)

Source: Summary statistical information of the geographic information system for technology parks. GIS Industry. URL: <https://gisp.gov.ru/atlas/map/industrial> (accessed on 03.11.2023).

⁷ Сводная статистическая информация геоинформационной системы по технопаркам. ГИС Промышленности. URL: <https://gisp.gov.ru/atlas/map/industrial> (дата обращения: 03.11.2023).

Территориальные параметры технопарков демонстрируют значительный масштаб с площадью в 1 001,29 га и общим объемом помещений более 2 млн м². Количество резидентов, занимающихся производством, достигает 2721, что подтверждает роль технопарков как платформ для промышленного развития. Инвестиции в строительство и проектирование, составляющие 7,4 млрд руб., подчеркивают активность и потенциал для дальнейшего роста. Наличие свободных площадей в 5,71 % также указывает на потенциал для привлечения новых резидентов. В то же время наблюдается снижение общего количества резидентов с 3134 в 2022 г. до 3102 в 2023 г., что может свидетельствовать о консолидации рынка или повышении требований к резидентам. Списочная численность занятых достигает почти 64 тыс. чел., а количество рабочих мест – около 59,3 тыс., что важно для оценки занятости и создания новых рабочих мест в высокотехнологичных отраслях. Сектор промышленных технопарков также вносит заметный вклад в экономику с объемом отгруженной продукции в 106,2 млрд руб. и инновационных товаров и услуг в 72,3 млрд руб. При этом в федеральный бюджет поступило 11,9 млрд руб. налогов и таможенных платежей, что подтверждает финансовую эффективность технопарков. Количество технопарков, участвующих в программах поддержки, составляет 45 единиц, что подчеркивает внимание государства к развитию данного сегмента⁸.

В РФ функционируют 14 наукоградов⁹. Город Обнинск в Калужской области известен как первый в мире наукоград, где расположен первый атомный научно-исследовательский центр и была построена первая в мире атомная электростанция, подключенная к энергосистеме страны. Города Дубна, Жуковский, Королев, Пущино, Реутов, Фрязино, Протвино и Черноголовка находятся в Московской области и являются важными центрами научных исследований в таких областях, как ядерная физика, космонавтика, биотехнологии, аэродинамика и др. Город Троицк имеет особый статус, так как географически расположен на границе Москвы и Московской области и является одним из центров научной деятельности в составе г. Москвы. Город Мичу-

ринск в Тамбовской области и район Петергоф в Санкт-Петербурге также известны своими научными учреждениями и историческим вкладом в развитие науки. Город Бийск в Алтайском крае и поселок Кольцово в Новосибирской области являются значимыми научными центрами сибирского региона, в которых сосредоточены исследования и разработки в сфере биотехнологий и фармацевтики.

Самыми известными российскими технополисами являются Сколково, Иннополис, Сириус. Среди перспективных российских проектов, претендующих на звание технополиса, но не являющихся наукоградом, можно упомянуть Военный инновационный технополис «ЭРА», особую экономическую зону «Технополис «Москва», инновационный территориальный кластер ракетного двигателестроения «Технополис «Новый звездный», «Технополис «Химград», инновационный кластер «Технополис GS», «Технополис «Политех» и ряд других [47].

Модель киберфизического технополиса на основе интеллектуальных пространств

Одной из самых современных и актуальных форм выступают интеллектуальные цифровые технополисы [48]. Подобные комплексные социально-экономические формации представляют собой эволюцию классического понимания технополисов в условиях цифровизации и интеллектуализации экономики. Системный интеллект, как основа функционирования такого технополиса, объединяет различные формы интеллекта для создания комплексной среды, где знания и инновации являются важнейшими активами. Естественный интеллект обеспечивается человеческими ресурсами технополиса – учеными, инженерами, предпринимателями, которые способны на генерацию идей и проведение исследований. Искусственный интеллект вносит вклад в эффективную обработку данных, автоматизацию процессов и повышение точности прогнозов. Социальный интеллект отражает способность коллектива технополиса взаимодействовать с широким кругом социальных акторов и обществом в целом, обеспечивая социальную интеграцию инноваций и их эффективное распространение.

Цифровые технологии, такие как Интернет вещей (*Internet of Things*, IoT), большие данные и аналитика, виртуальная и дополненная реальность, не только усиливают операционные возможности технополиса, но и создают новые формы социально-экономической организации. Они способствуют формированию таких понятий, как

⁸ Сводная статистическая информация геоинформационной системы по технопаркам. ГИС Промышленности. URL: <https://gisp.gov.ru/atlas/map/industrial> (дата обращения: 03.11.2023).

⁹ Федеральный закон от 7 апреля 1999 г. № 70-ФЗ «О статусе наукограда Российской Федерации» (с изм. и доп. от 20 апреля 2015 г.). URL: <https://base.garant.ru/180307/> (дата обращения: 10.10.2022).

«умный город» или «умное производство», где оптимизация ресурсов и управление процессами достигается через полную интеграцию цифровых и физических компонентов инфраструктуры.

Интеллектуальный цифровой технополис становится местом конвергенции разнообразных дисциплин и секторов, способствуя формированию новой экосистемы знаний и инноваций, что, в свою очередь, является основой для динамичного и устойчивого развития.

Технополисы, технопарки, зоны технологического развития, центры исследований и разработок, а также фирмы являются основными участниками открытых инноваций и национальных инновационных систем. Поэтому их можно легко стимулировать к созданию устойчивых цифровых экосистем для ответственных инноваций с использованием современных технологий, таких как интеллектуальные пространства, которые еще предстоит чаще применять на рабочих местах и в промышленности [43]. Примеры интеллектуальных пространств, которые стали очевидными в период Индустрии 4.0, в настоящее время необходимо рассматривать с учетом их растущего влияния на Индустрию 5.0 [49], чтобы изучить потенциал и необходимость технополисов для интеллектуальной среды (рис. 5).

Модель киберфизического технополиса структурирована через взаимодействие объектной и субъектной составляющих интеллектуаль-

ных пространств. Интеллектуальные пространства, оборудованные современными технологиями сбора и обработки данных, превращаются в мощный инструмент аналитики и управления, который открывает новые перспективы для эмпирических исследований и практических инноваций в рамках развития технополисов.

Объект в контексте этой модели олицетворяет материальную и технологическую инфраструктуру технополиса. Он включает в себя такие элементы, как IoT, который обеспечивает взаимосвязь физических объектов через сеть, позволяя им собирать и обмениваться данными; сенсорные технологии, обеспечивающие сбор информации о физическом состоянии объектов; продуктивность, указывающую на эффективность производственных и управленческих процессов; роботизацию, внедрение роботов в различные сферы деятельности; промышленность, представляющую собой совокупность производственных мощностей и технологических процессов.

Субъект в этой модели представляет собой активных участников технополиса – людей, коллективы, организации и общественные структуры. Субъекты взаимодействуют с объектами через интеллектуальные пространства, используя новые технологии, иницируя и реализуя проекты, общественную деятельность в социуме, олицетворяющем социальную структуру и культурную среду технополиса.



Рис. 5. Модель киберфизического технополиса на основе интеллектуальных пространств

Источник: составлено автором по материалам [43]

Fig. 5. Model of cyber-physical technopolis based on intellectual spaces

Source: compiled by the author based on [43]

В левой части модели под Индустрией 5.0 понимаются новейшие достижения технологического развития, такие как гибридные и социальные предприятия, новые киберфизические интерфейсы и креативность, которая представляет собой способность к инновациям и разработке новых идей.

В правой части модели представлены элементы Индустрии 4.0, которые включают в себя уже более устоявшиеся технологии и методы работы, такие как IoT, сенсорные технологии, роботизация и промышленность, образующие физическую основу киберфизического технополиса.

Интеллектуальные пространства в центральной части модели соединяют Индустрию 5.0 и Индустрию 4.0, обеспечивая рамки для взаимодействия субъектов технополиса, общества, новых технологий и действий в пространстве. Это включает в себя способность к социальному взаимодействию, развитию и внедрению технологических новинок, а также к практическому применению идей для повышения продуктивности на местах.

Интеллектуальные пространства в контексте киберфизического технополиса выступают в качестве ключевого элемента, обеспечивающего сбор, обработку и анализ больших объемов данных. Трансформация рабочих пространств в интеллектуальные здания позволяет реализовать динамическое управление рабочими процессами, учитывая активность пользователей и их взаимодействие с рабочей средой. Интеграция контекстно-зависимых блокчейн-приложений на базе данных, полученных из интеллектуальных пространств, открывает новые горизонты в области безопасности, прозрачности и децентрализации операций, что критически важно для координации и сотрудничества в рамках технополисов. IoT-приложения, реализованные в этих интеллектуальных пространствах, могут обеспечивать не только сбор данных в реальном времени, но и их сертификацию, что является важным аспектом при подтверждении подлинности и ответственности определенным стандартам [43].

Технополис, обладающий киберфизическим измерением, предполагает гармоничное слияние информационных технологий с физическими активами в комплексную структуру, которая эффективно функционирует в пространственном континууме. Взаимодействие на принципах доверия и паритета между участниками технополиса может служить определяющим условием для продвижения инноваций. В условиях цифровой экономики такое взаимодействие становится реальным благодаря применению современных информационно-коммуникационных технологий и развитию цифровых моделей ведения бизнеса.

Заключение

Итоги настоящего исследования свидетельствуют о значимости и многоаспектности технополисного развития в условиях цифровизации и интеллектуализации промышленности:

1. Доказана растущая актуальность темы технополисов в научном сообществе, что отражено в увеличении количества публикаций и расширении тематических рамок изучения.

2. Систематизация определений и концептуальных подходов к понятию технополиса позволила выделить ключевые характеристики и функции, присущие этим уникальным формам организации производственных и научных процессов.

3. Технополисная концепция раскрыта на основе когнитивной интеграции экономических, технологических и градостроительных аспектов, что подчеркивает мультидисциплинарный характер технополисов и обуславливает их способность создавать максимально благоприятные условия для инноваций и развития.

4. Применение метода дедукции позволило выстроить эмпирическую типологию технополисов, обосновать необходимость их включения в объектную составляющую инновационно-промышленных экосистем наравне с кластерами, парками и зонами.

5. Критический анализ концепции технополисов позволил подчеркнуть важность всестороннего подхода к их изучению, учитывая многообразные экономические, управленческие и социальные измерения.

6. Исследование современного состояния технопарков, наукоградов и технополисов в Российской Федерации выявило значительный потенциал и динамику развития данных объектов, что позволяет говорить о наличии перспективных платформ для реализации инновационных проектов.

7. Предложена модель киберфизического технополиса на основе интеллектуальных пространств, являющаяся ответом на вызовы цифровизации и интеллектуализации промышленности. Внедрение этой модели может стать катализатором для развития нового типа экономической активности, основанной на гармоничном слиянии цифровых и физических компонентов производственной среды.

Направлением дальнейших исследований может стать изучение влияния киберфизических технополисов на динамику региональной и глобальной экономики, а также разработка моделей для оценки их экономического вклада на макро- и микроуровнях.

Список литературы / References

1. Marshall A. *Industry and trade: a study of industrial technique and business organization : and of their influences on the conditions of various classes and nations*. London: Macmillan; 1920. 874 p.
2. Christaller W. *Die zentralen Orte in Süddeutschland*. Jena: Gustav Fischer; 1933. 331 p.
3. Нестерова Н.Н., Черкасов В.А. Ретроспектива теорий пространственного развития региональной экономики. *Социально-экономические явления и процессы*. 2015;10(12):52–57. <http://doi.org/10.20310/1819-8813-2015-10-12-52-57>
Nesterova N.N., Cherkasov V.A. Retrospective of theories of spatial developments of regional economy. *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy = Social Phenomena and Processes*. 2015;10(12):52–57. (In Russ.). <http://doi.org/10.20310/1819-8813-2015-10-12-52-57>
4. Perroux F. Les espaces économiques. *Economie Appliquée*. 1950;3(1):225–244. <https://doi.org/10.3406/eoap.1950.3793>
5. Isard W. A general location principle of an optimum space-economy. *Econometrica*. 1952;20(3):406–430. <http://doi.org/10.2307/1907412>
6. Friedmann J. *Regional development policy: a case study of Venezuela*. MIT Press; 1966. 279 p.
7. Granovetter M.S. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*. 1973;78(6):1360–1380.
8. Becattini G. *Dal settore industriale al distretto industriale: alcune considerazioni sull'unità di indagine dell'economia industriale*. Bologna: Il Mulino; 1979.
9. Smilor R.W., Gibson D.V., Kozmetsky G. Creating the technopolis: High-technology development in Austin, Texas. *Journal of Business Venturing*. 1989;4(1):49–67. [http://doi.org/10.1016/0883-9026\(89\)90033-5](http://doi.org/10.1016/0883-9026(89)90033-5)
10. Батлер Дж., Гибсон Д. Исследовательские университеты в структуре региональной инновационной системы: опыт Остина, штат Техас. *Форсайт*. 2013;7(2):42–57.
Butler J., Gibson D. Research universities in the structure of a regional innovation system: the experience of Austin, Texas. *Foresight and STI Governance*. 2013;7(2):42–57. (In Russ.)
11. Smilor R.W., Kozmetsky G., Gibson D.V. Technology and economic development in the modern technopolis. *Technology in Society*. 1988;10(4):433–445. [http://doi.org/10.1016/0160-791X\(88\)90005-X](http://doi.org/10.1016/0160-791X(88)90005-X)
12. Castells M., Hall P. *Technopoles of the world: the making of twenty-first-century industrial complexes*. London; New York: Routledge; 1994. 275 p.
13. Maruyama M. Report on a new technological community: the making of a Technopolis in an international context. *Technological Forecasting and Social Change*. 1985;27(1):75–98. [http://doi.org/10.1016/0040-1625\(85\)90005-8](http://doi.org/10.1016/0040-1625(85)90005-8)
14. Тацуно Ш. Стратегия – технополисы. 1986. Гл. 6. Концепция технополиса. *Управление мегаполисом*. 2008;(6):142–162.
Tatsuno Sh. Strategy – technopolises. 1986. Ch. 6. Technopolis concept. *Upravlenie megapolisom*. 2008;(6):142–162. (In Russ.)
15. Авдулов А.Н., Кулькин А.М. *Научные и технологические парки, технополисы и регионы науки*. М.: ИНИОН РАН; 1992. 166 с.
16. Авдулов А.Н., Кулькин А.М. *Научные и технологические парки, технополисы и регионы науки*. М.: ИНИОН РАН; 2005. 148 с.
17. Oh D.S. High-technology and regional development policy: an evaluation of Korea's technopolis programme. *Habitat International*. 1995;19(3):253–267. [http://doi.org/10.1016/0197-3975\(94\)00047-6](http://doi.org/10.1016/0197-3975(94)00047-6)
18. Фрезинская Н.Р. Пространственная организация технополисов-научноградов. *Academia. Архитектура и строительство*. 2009;(4):36–45.
Frezinskaya N.R. Spatial structure of technopolices (science towns). *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2009;(4):36–45. (In Russ.)
19. Hassink R., Berg S. H. Regional innovation support systems and technopoles. In: D.S. Oh, F. Phillips (eds.). *Technopolis*. London: Springer; 2014. P. 43–65. http://doi.org/10.1007/978-1-4471-5508-9_3
20. Sutriadi R.A. Communicative city as a preliminary step towards a technopolis agenda. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2016;227:623–629. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.124>
21. Sutriadi R. Defining smart city, smart region, smart village, and technopolis as an innovative concept in Indonesia's urban and regional development themes to reach sustainability. *IOP Conf. series: Earth and environmental science. 18 October 2017, Surabaya, Indonesia*. IOP Publishing; 2018. Vol. 202:012047. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/202/1/012047>
22. Sutriadi R., Aziz F.N., Ramadhan A. Communicative city features in technopole development: A case study in Bandung, Indonesia. *Journal of Regional and City Planning*. 2022;33(1):84–110. <http://doi.org/10.5614/jpwk.2022.33.1.5>
23. Stöhr W.B., Pönighaus R. Towards a data-based evaluation of the Japanese technopolis policy: the effect of new technological and organizational infrastructure on urban and regional development. *Regional Studies*. 1992;26(7):605–618. <http://doi.org/10.1080/00343409212331347251>
24. Fujita K. the high technology and regional development in Japan. *International Journal of Urban and Regional Research*. 1988;12(4):566–593.
25. Kawashima T., Stöhr W. Decentralized technology policy: the case of Japan. *Environment and Planning C: Politics and Space*. 1988;6(4):427–439. <http://doi.org/10.1068/c060427>

26. Фрезинская Н.Р. Территориальное развитие прогрессивных отраслей хозяйства. *Вестник АН СССР*. 1991;61(12):29–39.
Frezinskaya N.R. Territorial development of progressive sectors of the economy. *Vestnik AN SSSR*. 1991;61(12):29–39. (In Russ.)
27. Peters L.S., Wheeler P.A. *Technology based regional economic development: An overview*. Center for Science & Technology Policy, Rensselaer Polytechnic Institute, School of Management; 1988. 224 p.
28. Porter M.E. New global strategies for competitive advantage. *Planning Review*. 1990;18(3):4–14. <http://doi.org/10.1108/EB054287>
29. Гамидуллаева Л.А., Страхов Е.П. Эволюция концепции кластерного развития: от агломерационной теории к экосистемам. *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2023;14(1):106–125. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2023.14.1.106-125>
Gamidullaeva L.A., Strakhov E.P. Evolution of the cluster development concept: from agglomeration theory to ecosystems. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2023;14(1):106–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2023.14.1.106-125>
30. Глухов В.В., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. Стратегическое управление промышленными экосистемами на основе платформенной концепции. *Экономика и управление*. 2021;27(10):751–765. <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2021-10-751-765>
Glukhov V.V., Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. Strategic management of industrial ecosystems based on the platform concept. *Economics and Management*. 2021;27(10):751–765. (In Russ.). <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2021-10-751-765>
31. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель. *Экономическое возрождение России*. 2021;(4 (70)):39–62. <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62>
Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. Intelligent cyber-social ecosystem of Industry 5.0: definition, essence, model. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = The Economic Revival of Russia*. 2021;(4 (70)):39–62. (In Russ.). <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62>
32. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Польщиков Т.И. Концепция эффективного устойчивого ESG-развития промышленных экосистем в циркулярной экономике. *Экономическое возрождение России*. 2023;(1(75)):124–139. <http://doi.org/10.37930/1990-9780-2023-1-75-124-139>
Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. The concept of effective sustainable ESG-development of industrial ecosystems in a circular economy. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = The Economic Revival of Russia*. 2023;(1(75)):124–139. (In Russ.). <http://doi.org/10.37930/1990-9780-2023-1-75-124-139>
33. Квинт В.Л., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. Стратегирование формирования платформенной операционной модели для повышения уровня цифровой зрелости промышленных систем. *Экономика промышленности*. 2022;15(3):249–261. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261>
Kvint V.L., Babkin A.V., Shkarupeta E.V. Strategizing of forming a platform operating model to increase the level of digital maturity of industrial systems. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2022;15(3):249–261. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261>
34. Дударева О.В. *Управление устойчивым развитием промышленных экосистем в условиях технологических трансформаций*. Курск: ЗАО «Университетская книга»; 2023. 401 с.
35. Клейнер Г.Б. Экономика экосистем: шаг в будущее. *Экономическое возрождение России*. 2019;(1(59)):40–45.
Kleiner G.B. Ecosystem economy: step into the future. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = The Economic Revival of Russia*. 2019;(1(59)):40–45. (In Russ.)
36. Клейнер Г.Б. Промышленные экосистемы: взгляд в будущее. *Экономическое возрождение России*. 2018;(2(56)):53–62.
Kleiner G.B. Industrial ecosystems: a look into the future. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = The Economic Revival of Russia*. 2018;(2(56)):53–62. (In Russ.)
37. Ташенова Л.В., Бабкин А.В. Системообразующий инновационно-активный промышленный кластер в условиях цифровой трансформации: понятие, сущность, особенности. В сб.: *Труды науч. практ. конф. с междунар. участием «Экономика и менеджмент в условиях цифровизации: состояние, проблемы, форсайт»*. Санкт-Петербург, 25 декабря 2017 г. СПб.: ФГАО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 2017. С. 301–313.
38. Бабкин А.В., Ташенова Л.В. Концептуальная модель организационно-экономического механизма управления цифровым потенциалом системообразующего инновационно-активного промышленного кластера. *Естественно-гуманитарные исследования*. 2020;(3(29)):58–63. <http://doi.org/10.24411/2309-4788-2020-10230>
Babkin A.V., Tashenova L.V. Conceptual model of the organizational-economic mechanism for managing the digital potential of a system-forming innovative-active industrial cluster. *Natural-Humanitarian Studies*. 2020;(3(29)):58–63. (In Russ.). <http://doi.org/10.24411/2309-4788-2020-10230>
39. Rogers E.M., Dearing J. Turbocharging innovation in three cities. *IEEE Engineering Management Review*. 1990.
40. Dabinett G. A new strategic approach to science cities: towards the achievement of sustainable and

- balanced spatial development. In: Oh D.S., Phillips F. (eds.). *Technopolis*. London: Springer; 2014. P. 3–21. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5508-9_1
41. Ariga Y. Law for accelerating development based upon high-technology industrial complexes (Technopolis Law). *Tihoujiti*. 1983;(428):18–29.
 42. Tatsuno S. *The technopolis strategy: Japan, high technology, and the control of the twenty-first century*. New York, NY: Prentice Hall Press; 1986. 298 p.
 43. Erişen S. An empirical study of the technoparks in Turkey in investigating the challenges and potential of designing intelligent spaces. *Sustainability*. 2023;15(13):10150. <https://doi.org/10.3390/su151310150>
 44. Masser I. By accident or design: Some lessons from technology led local economic development initiatives. *Review of Urban & Regional Development Studies*. 1991;3(1):78–93. <http://doi.org/10.1111/j.1467-940X.1991.tb00080.x>
 45. Кривенко М.М., Алексева Т.Г. География технополисов и технопарков высокоразвитых стран мира. В: Сб. трудов Междунар. конкурса науч.-исслед. проектов молодых ученых и обучающихся «Современное географическое познание окружающего мира». Оренбург, 28 февраля 2023 г.; 2023. С. 151–165.
 46. Miao J.T., Paul B., Phelps N.A. (eds.). *Making 21st Century Knowledge Complexes. Technopoles of the world: Changes, dynamics and challenges*. London: Routledge; 2015. P. 3–20. 322 p. <https://doi.org/10.4324/9781315852003>
 47. Шкарупета Е.В. Определение роли и факторов технополисного развития в экономической безопасности депрессивных регионов. *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2023;(4).
 48. Шкарупета Е.В., Долганова Я.А., Пёрышкин М.О. Интеллектуальный цифровой технополис в контексте повышения экономической безопасности депрессивных регионов. *π-Economy*. 2023;16(5):66–77. <https://doi.org/10.18721/πE.16505> Shkarupeta E.V., Dolganova Ya.A., Peryshkin M.O. Intelligent digital technopolis in the context of improving economic security of depressed regions. *π-Economy*. 2023;16(5):66–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.18721/πE.16505>
 49. Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., Shkarupeta E. Industry 5.0 and digital ecosystems: scientometric research of development trends. In: *Ilin I., Petrova M.M., Kudryavtseva T. (eds.). Digital transformation on manufacturing, infrastructure & service. DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham; 2023. Vol 684. P. 544–564. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32719-3_42*

Информация об авторе

Елена Витальевна Шкарупета – д-р экон. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр комплексного изучения проблем региональной безопасности», Псковский государственный университет, 180000, Псков, пл. Ленина, д. 2, Российская Федерация; профессор кафедры цифровой и отраслевой экономики, Воронежский государственный технический университет, 394071, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, Российская Федерация; старший научный сотрудник, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 662972, Железногорск, ул. Северная, д. 1, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3644-4239>; e-mail: 9056591561@mail.ru

Information about the author

Elena V. Shkarupeta – Dr.Sci. (Econ.), Professor, Leading Researcher, Research Laboratory “Centre for Complex Study of Regional Security Problems”, Pskov State University, 2, Lenin Sq., Pskov 180000, Russian Federation; Professor of the Department of the Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University, 84 20-letiya Oktyabrya Str., Voronezh 394071, Russian Federation; Senior Researcher of Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 1 Severnaya Str., Zheleznogorsk 662972, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3644-4239>; e-mail: 9056591561@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2023; поступила после доработки 01.12.2023; принята к публикации 02.12.2023
Received 07.11.2023; Revised 01.12.2023; Accepted 02.12.2023