

Интеллектуальная цифровая экономика: формирование и развитие

Intelligent digital economy: formation and development

Научная статья

УДК 621:319.23

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>



ИНДУСТРИЯ 5.0 И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА: ОСНОВЫ НЕЙРО-ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КИБЕРСОЦИАЛЬНЫХ МЕТАЭКОСИСТЕМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.В. Бабкин¹ ✉, И.В. Либерман², П.М. Клачек²

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

² Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,
г. Калининград, Российская Федерация

✉ al-vas@mail.ru

Аннотация. В настоящее время понятие нейро-цифровая трансформация активно внедряется в теоретическую и практическую область деятельности цифровой экономики и Индустрии 5.0. В будущих исследованиях, на основе активного внедрения и развития разработанных к настоящему времени методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации промышленности, в том числе в компаниях макроуровня (SpaceX, «Карбоновая долина (Ростех)» и т.д.), авторы планируют приступить к созданию мультивариантной конструкции научно-технологического развития высокотехнологичных промышленных комплексов на основе методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и интеллектуальной экономики. Развитие системно-целевой схемы когнитивного каркаса киберсоциальных экосистем, на основе модели нейро-цифрового интеллекта и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем позволило авторам разработать системно-целевую схему системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов. На основе этой схемы авторами разработан и внедрен комплекс прикладных систем управления когнитивным производством развития высокотехнологичных промышленных комплексов. Развитие концептуальных и методологических основ нейро-цифровой трансформации и киберсоциальных метаэкосистем Индустрии 5.0. высокотехнологичных промышленных комплексов позволяет перейти к созданию и апробации прикладных инструментариев управления развитием киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики. Цель исследования – разработать системно-синергетический подход и инструментарий (платформу) нейро-цифровой трансформации высокотехнологичных промышленных комплексов. Основные результаты, представленные в статье. На основе системной тетрады, и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем, разработана системно-целевая схема создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов. Предложен метод моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов на основе многоагентного генетического алгоритма. Разработана блок-схема и прикладное программное обеспечение многоагентного генетического алгоритма. Разработана архитектура и программное обеспечение прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов в

условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики. Выполнена апробация прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологических промышленных комплексов, в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики, к решению задачи моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологических агропромышленных комплексов Калининградской области.

Ключевые слова: интеллектуальная экономика, Индустрия 5.0, киберсоциальные экосистемы, искусственный интеллект, высокотехнологические промышленные комплексы

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика», <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

Для цитирования: Бабкин А.В., Либерман И.В., Клачек П.М. (2023) Индустрия 5.0 и интеллектуальная экономика: основы нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологических промышленных комплексов. *П-Economy*, 16 (5), 8–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>



INDUSTRY 5.0 AND INTELLIGENT ECONOMY: FUNDAMENTALS OF NEURO-DIGITAL TRANSFORMATION OF CYBER SOCIAL META-ECOSYSTEMS OF HIGH-TECH INDUSTRIAL COMPLEXES

A.V. Babkin¹ ✉, I.V. Liberman², P.M. Klachek²

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation;

² Baltic Federal University of Immanuel Kant,
Kaliningrad, Russian Federation

✉ al-vas@mail.ru

Abstract. Currently, the concept of neuro-digital transformation is being actively introduced into the theoretical and practical field of activity of the digital economy and Industry 5.0. In future studies, on the basis of active implementation and development, methods and tools for neuro-digital transformation of industry developed to date, including in macro-level companies (SpaceX, Carbon Valley (Rostec), etc.), the authors plan to start creating a multivariate design for the scientific and technological development of high-tech industrial complexes based on methods and tools for neuro-digital transformation and intelligent economy. The development of a system-targeted scheme of the cognitive framework of cyber social ecosystems, based on the model of neuro-digital intelligence and the system-synergistic concept of neuro-digital transformation of cyber social ecosystems, allowed the authors to develop a system-targeted scheme of a system tetrad of cyber social meta-ecosystems for the development of high-tech industrial complexes. Based on this scheme, the authors developed and implemented a complex of applied cognitive production management systems for the development of high-tech industrial complexes. Development of conceptual and methodological foundations of neuro-digital transformation and cyber social meta-ecosystems of Industry 5.0. high-tech industrial complexes allows you to move on to the creation and testing of applied tools for managing the development of cyber-social meta-ecosystems for the design of high-tech industrial complexes in the conditions of Industry 5.0. and intelligent economics. The purpose of the study is to develop a system-synergistic approach and a tool (platform) for the neuro-digital transformation of high-tech industrial complexes. Main results presented in the article. Based on the system tetrad and the system-synergistic concept of neuro-digital transformation of cyber social ecosystems, a system-targeted scheme for creating a system-synergistic

tetrad of cyber social meta-ecosystems for the development of high-tech industrial complexes was developed. The authors disclosed a method of simulating neuro-digital transformation of cyber social meta-ecosystems for the development of high-tech industrial complexes based on a multi-agent genetic algorithm. A block diagram and application software of a multi-agent genetic algorithm was developed. The architecture and software of the application tools for managing the development of cyber-social meta-ecosystems for the design of high-tech industrial complexes in the conditions of Industry 5.0 and the intelligent economy were developed. The application tools for managing the development of cyber social meta-ecosystems for the design of high-tech industrial complexes were tested, in the conditions of Industry 5.0 and the intelligent economy, to solve the problem of modeling the neuro-digital transformation of cyber social meta-ecosystems of high-tech agro-industrial complexes of the Kaliningrad region.

Keywords: intelligent economy, Industry 5.0, cyber social ecosystems, artificial intelligence, high-tech industrial complexes

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-28-01316 “Strategic management of effective sustainable ESG development of a multi-level cyber-social industrial ecosystem of a cluster type in a circular economy based on the concept of Industry 5.0: methodology, tools, practice”, <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

Citation: Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M. (2023) Industry 5.0 and intelligent economy: fundamentals of neuro-digital transformation of cyber social meta-ecosystems of high-tech industrial complexes. *П-Economy*, 16 (5), 8–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>

Введение

В работе авторов В.Л. Квинта и С.Д. Бодрунова отмечено: «шестой технологический уклад – формирующийся в настоящее время комплекс технологий, включающий нано-, био-, информационные и когнитивные технологии, отличительной чертой которого является конвергенция технологий и формирование гибридных технологий при интегрирующей роли информационных технологий (цифровизация, искусственный интеллект, обработка больших массивов информации)» [1]. В этой же работе представлены основы создания нового индустриального общества второго поколения (НИО.2), а также ноономики, как концептуальной платформы глобальной трансформации общества. Авторы отмечают, что «ноономика – неэкономическая общественная форма хозяйственной деятельности людей, нацеленная на удовлетворение ноопотребностей (в первую очередь – потребностей в развитии личности человека) на основе развития ноопроизводства, т. е. такого производства, которое осуществляется при выходе человека из непосредственной трудовой деятельности («безлюдное производство») и управлении техносферой как внешней по отношению к человеку сферой реализации потенциала человеческого познания» [1].

В работе [2] предложено понятие Индустрии 5.0 «как киберсоциальной системы [3], состоящей из совокупности взаимодействующих системно-целевых акторов-экосистем [4], функционирующих и самоорганизующихся в особой среде, “Нейросфере” [5], формируемой коллективным интеллектом, подразумевающим объединение человеческого и машинного интеллекта». Основные понятия, сущность, эволюция и формирование киберсоциальных экосистем Индустрии 5.0 рассмотрены в работах [1, 2, 7]. В работе [5], в рамках развития общей теории ноономики [6], представлена интегрированная модель глобальной трансформации общества на основе движения к нообществу и нейросфере, а также представлены концептуальные основы нейро-цифровой трансформации производств и сфер промышленности Индустрии 5.0.

В статье [8], рассмотрена архитектура системной тетрады киберсоциальных экосистем, которая «является по сути универсальной архетипической моделью киберсоциальных экосистем Индустрии 5.0», а также нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0. Этими авторами предложено понятие нейро-цифровой трансформации как процесса формирования качественных, революционных изменений, переходу к модели глобальной трансформации общества на основе движения к нообществу и нейросфере, основан-



ной на развитии ноопроизводства и интеллектуальной экономике, способных обеспечить магистральные направления технологических изменений, на основе применения знаниеинтенсивных технологий, нейро-цифрового интеллекта и стратегированных киберсоциальных, в том числе метаэкосистем, новой формации [8]. Основные предпосылки для формирования интеллектуальной экономики в условиях нового миропорядка рассмотрены в работе [9].

В условиях развития новой промышленной революции Индустрии 5.0, формирование интеллектуальной экономики позволит, по мнению авторов статьи, осуществить прорывное развитие высокотехнологичных секторов экономики России. Одна из ведущих ролей в решении этой задачи принадлежит высокотехнологичным промышленным комплексам (ВПрК) [4] и входящим в их состав промышленным предприятиям, общий вклад которых в ВВП Российской Федерации составляет более 30 процентов [4]. В работах [2, 5] рассмотрено понятие киберсоциальных метаэкосистем Индустрии 5.0 ВПрК как киберсоциальной экосистемы нового метауровня (метаэкосистемы) [3], эволюционирующей в условиях перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0, позволяющей организовать принципиально новый тип когнитивного производства [10, 11] и управления развитием метапромышленных комплексов нового поколения [12, 13].

Таким образом, развитие концептуальных и методологических основ нейро-цифровой трансформации и киберсоциальных метаэкосистем Индустрии 5.0 ВПрК, позволяет перейти к созданию и апробации прикладных инструментариев управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики.

В соответствии с изложенным цель исследования – разработать системно-синергетический подход и инструментарий (платформу) нейро-цифровой трансформации высокотехнологичных промышленных комплексов.

Задачи исследования:

1. На основе системной тетрады, и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем, разработать системно-целевую схему создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК.
2. Разработать архитектуру прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики.
3. Провести апробацию предложенных методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в центральных секторах экономики России.

Литературный обзор

В работе [5] представлена нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0, в рамках которой сформулирован комплекс операторов $\Psi_g \in \Psi$ нейро-цифровой трансформации, а также рассмотрена системно-целевая схема создания когнитивного каркаса киберсоциальных экосистем. Дальнейшее развитие системно-целевой схемы когнитивного каркаса киберсоциальных экосистем, на основе модели нейро-цифрового интеллекта [14] и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем [8], позволило разработать системно-целевую схему системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, на основе которой разработать и внедрить комплекс прикладных систем управления когнитивным производством ВПрК [14].

На рис. 1 представлена модель нейро-цифрового интеллекта инструментария стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0.

Методологической основой, представленной на рис. 1 модели нейро-цифрового интеллекта, является понятие генезиса когнитивных вычислений [14]. В соответствии с работой [14] когнитивный гиперцикл «реализуется на основе системно-целевой интеграции и согласованной самоорганизации нейро-цифровой системы, состоящей из человеческого и искусственного интеллекта», в виде комплекса когнитивных вычислительных процедур $\dot{m}_1 - \dot{m}_7$ (рис. 2).

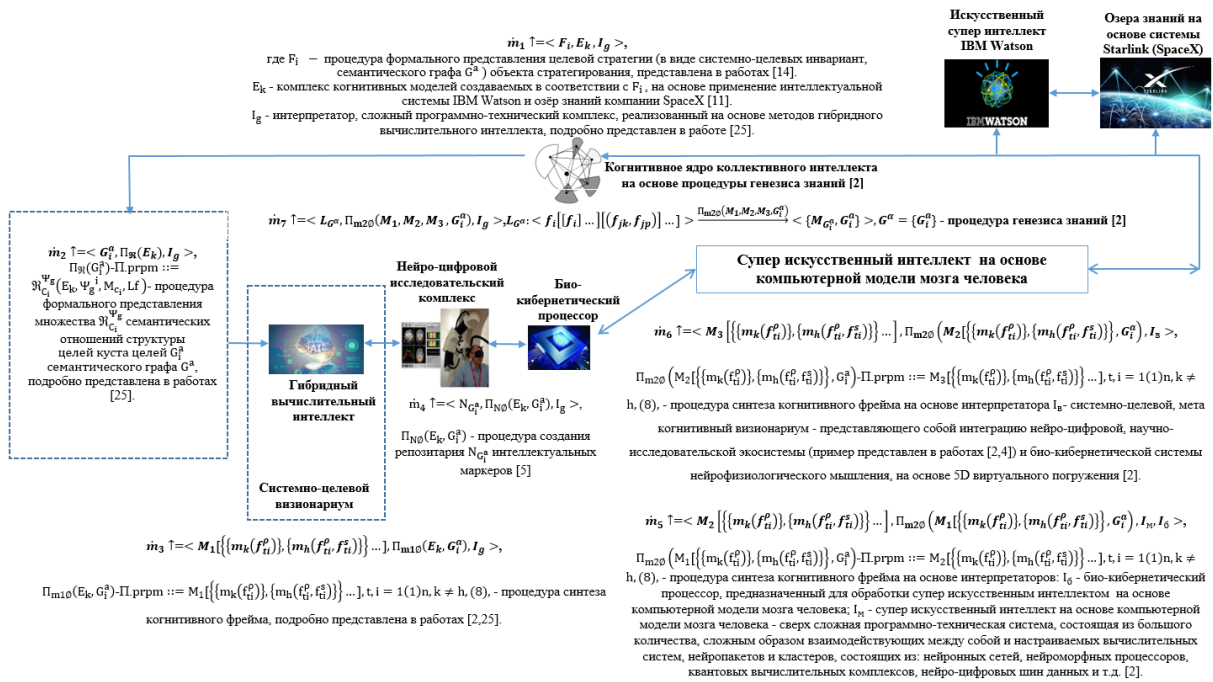


Рис. 1. Модель нейро-цифрового интеллекта инструментария стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0
 Fig. 1. Model of neuro-digital intelligence tools for strategic goal setting and planning of Industry 5.0

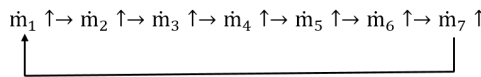


Рис. 2. Когнитивный гиперцикл модели нейро-цифрового интеллекта
 Fig. 2. Cognitive hypercycle of the neuro-digital intelligence model

В статье [14] отмечено в «результате генезиса когнитивных вычислений, как основы для создания различных моделей коллективного интеллекта, происходит сопряжение мыслительной структуры человека с мыслительной структурой искусственного интеллекта и формирование нелинейных когнитивных связей, обладающих уникальными синергетическими свойствами и поддающихся формальному описанию и реализации посредством супер искусственного интеллекта, на основе компьютерной модели мозга человека» [14]. Также в этой статье рассмотрен прикладной вариант реализации модели когнитивного гиперцикла (рис. 2) методом двухнаправленной гирдизации [15, 16], позволяющий на основе когнитивных вычислительных процедур $\dot{m}_1 - \dot{m}_7$ (подробно рассмотренных в работе [14]) осуществить синтез когнитивного каркаса киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, обеспечивая реализацию центральных механизмов киберсоциальных метаэкосистем ВПрК [2, 5]: самоорганизации, гомеостаза, адаптивности, адаптации экосистем к изменениям внешнего окружения, «Континуума экосистем» и т.д. Как показали прикладные исследования, предлагаемая модель нейро-цифрового интеллекта хорошо согласуется с теоретическими конструкциями нейроэкономики [17, 18], а также экономики несовершенных знаний [19, 20], основанных на исследовании параллельно действующих нейрональных систем, обеспечивающих процесс принятия производственно – экономических решений [21].

В статье [4] рассмотрен метод моделирования «цифровой трансформации экосистемы промышленных комплексов с использованием методов генетического алгоритма», являющийся, по

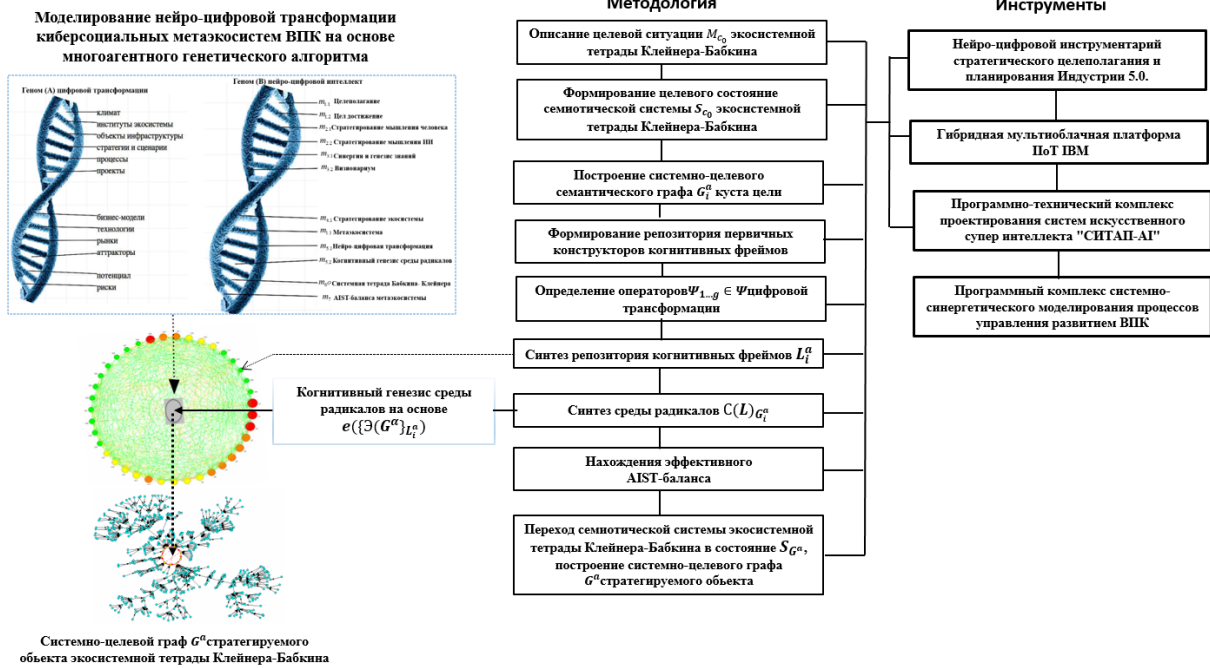


Рис. 3. Системно-целевая схема создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПК
 Fig. 3. System-targeted scheme for creating a system-synergistic tetrad of cyber social meta-ecosystems of high-tech industrial complexes

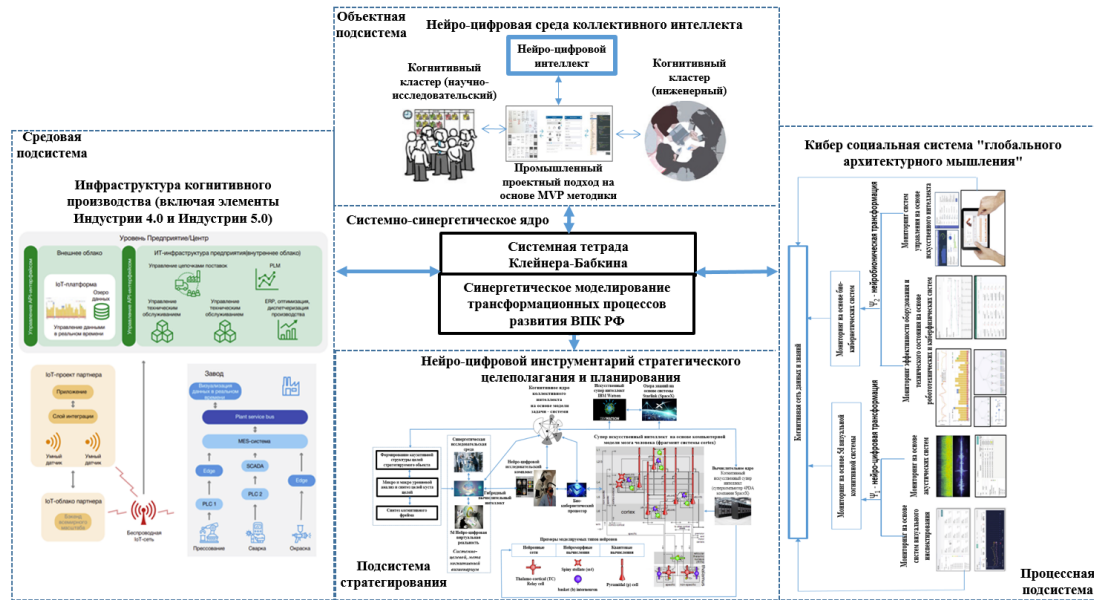


Рис. 4. Архитектура прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПК в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики

Fig. 4. Architecture of applied tools for managing the development of cyber social meta-ecosystems of high-tech industrial complexes in the conditions of Industry 5.0. and intelligent economy

мнению авторов статьи, высокоэффективным, конструктивным инструментарием, «позволяющим описывать и моделировать цифровую трансформацию среды развития ВПК», различных типов и назначений. Развитие данного метода, в рамках системной тетрады и системно-синерге-

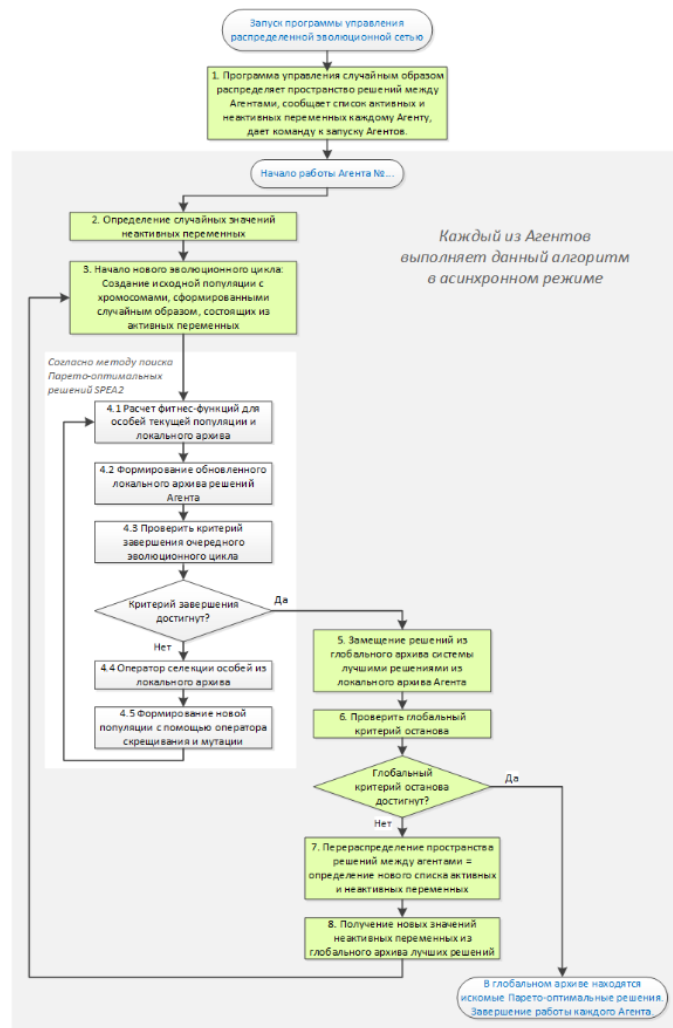


Рис. 5. Блок-схема многоагентного генетического алгоритма

Fig. 5. Flowchart of a multi-agent genetic algorithm

тической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем [8], привило к созданию системно-целевой схемы создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПК и архитектура прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики (рис. 3, 4).

Методы исследования

Одним из центральных элементов, представленной на рис. 3 системно-целевой схемы создания системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПК, является авторский метод моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК на основе многоагентного генетического алгоритма [22], обобщенная блок-схема которого представлена на рис. 5.

На рис. 6. представлен состав двух хромосом генетического алгоритма.

Исходные данные и целевая функция генома А и В для работы многоагентного генетического алгоритма представлены, соответственно, в работах [4] и [8]. Реализация многоагентного генетического алгоритма как отдельного инструментария моделирования процессов управления и нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, так и в со-

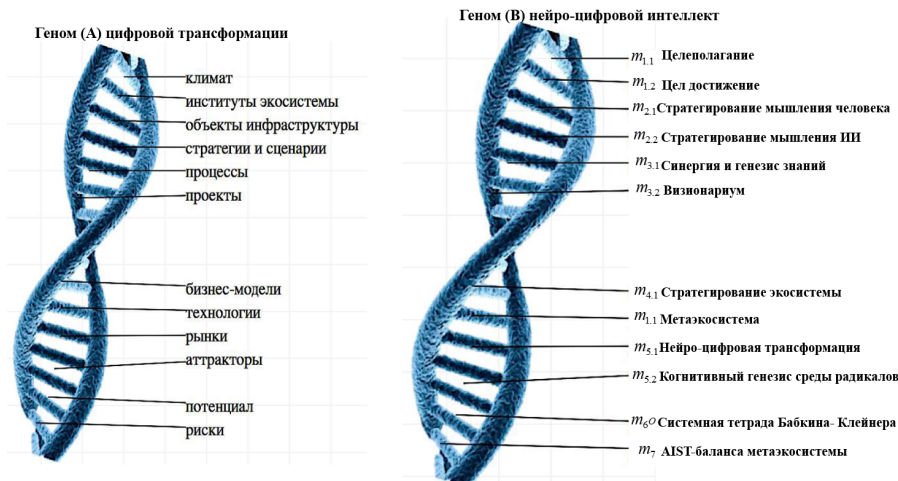


Рис. 6. Состав хромосом многоагентного генетического алгоритма
Fig. 6. Composition of chromosomes of a multi-agent genetic algorithm

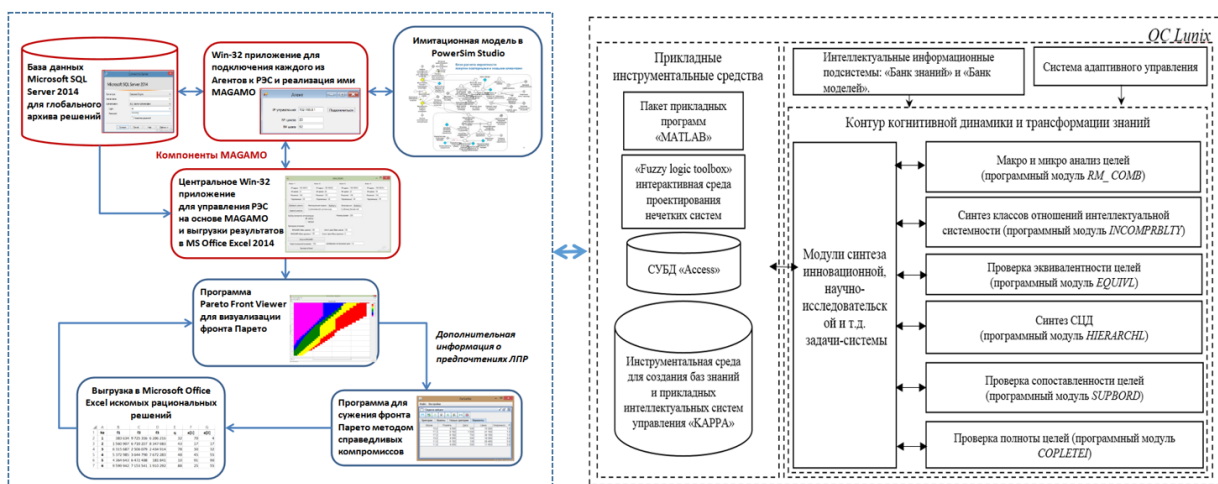


Рис. 7. Архитектура программного комплекса многоагентного генетического алгоритма
Fig. 7. Architecture of a multi-agent genetic algorithm software package

стае системно-целевой схемы создания системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, возможна с использованием широкого спектра инструментов и технологий [23, 24]. Ниже представлен один из вариантов программной реализации моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, на основе многоагентного генетического алгоритма.

Результаты и обсуждение

Начиная с 2019 г. по настоящее время, в рамках программы по созданию информационно-аналитического центра губернатора Калининградской области, в Калининградской области проходит разработка и апробация технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции индустрия 5.0 [2]. В рамках данного проекта, на базе инструментальной среды «СИТАП-AI», была разработана технология-платформа проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 [2]. На рис. 7 представлено интегри-

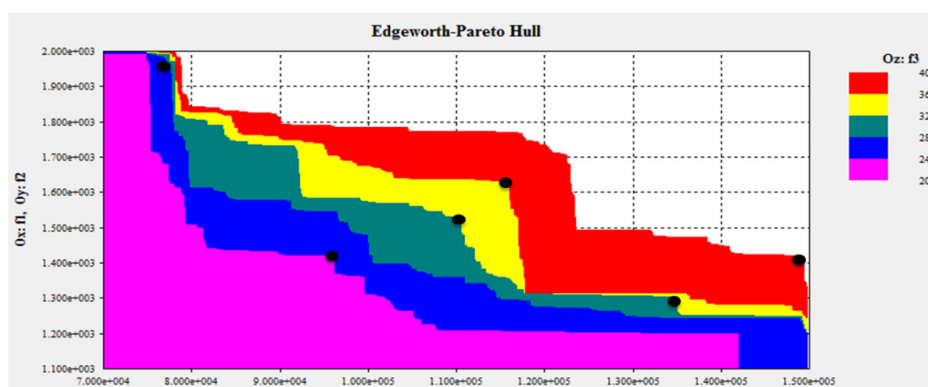


Рис. 8. Сужение найденного фронта Парето многоагентного генетического алгоритма
 Fig. 8. Restriction of the found Pareto front of a multi-agent genetic algorithm

рованное программное обеспечение, разработанное для реализации моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных, в том числе агропромышленных, комплексов на основе многоагентного генетического алгоритма (см. рис. б), включающее: инструментальную среду «СИТАП-АИ», предназначенную для моделирования когнитивных вычислительных процедур $\dot{m}_1 - \dot{m}_7$ модели нейро-цифрового интеллекта (рис. 1); программный комплекс имитационного моделирования процесса управления развитием ВПК на основе многоагентного генетического алгоритма.

Применение программного комплекса к решению задачи моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов (ВАПрК), на основе многоагентного генетического алгоритма, позволило разработать (рис. 8) шесть рациональных вариантов управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВАПрК Калининградской области.

На рис. 9. представлен нейробионический вариант (Парето-оптимальных решений), полученный на основе применения инструментальной среды (рис. б) моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВАК Калининградской области.

В настоящее время ведется активная подготовка к внедрению разработанных инструментариев и полученных на их основе рациональных вариантов управления развитием киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов на базе ряда ведущих агропромышленных комплексов Калининградской области. На основе нейробионического варианта нейро-цифровой трансформации управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВАПрК в настоящее время проведено усовершенствование экспериментальной мехатронной системы зерноуборочного комбайна (СЕВИС) [25]. Как показали исследования и эксперименты применение нейробионического варианта управления развитием ВАПрК даже для усовершенствования отдельного технического устройства позволит существенно улучшить в целом показатели экономической эффективности агропромышленного производства, за счет существенного повышения эффективности при организации уборки урожая, что доказывает в целом эффективность предлагаемых в настоящей работе методов и инструментариев и необходимость продолжения исследований по данному направлению.

Заключение

В будущих исследованиях на основе активного внедрения и развития разработанных к настоящему времени методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации промышленности, в том числе в компаниях макроуровня (SpaceX, «Карбоновая долина (Ростех)» и т.д.), авторы пла-

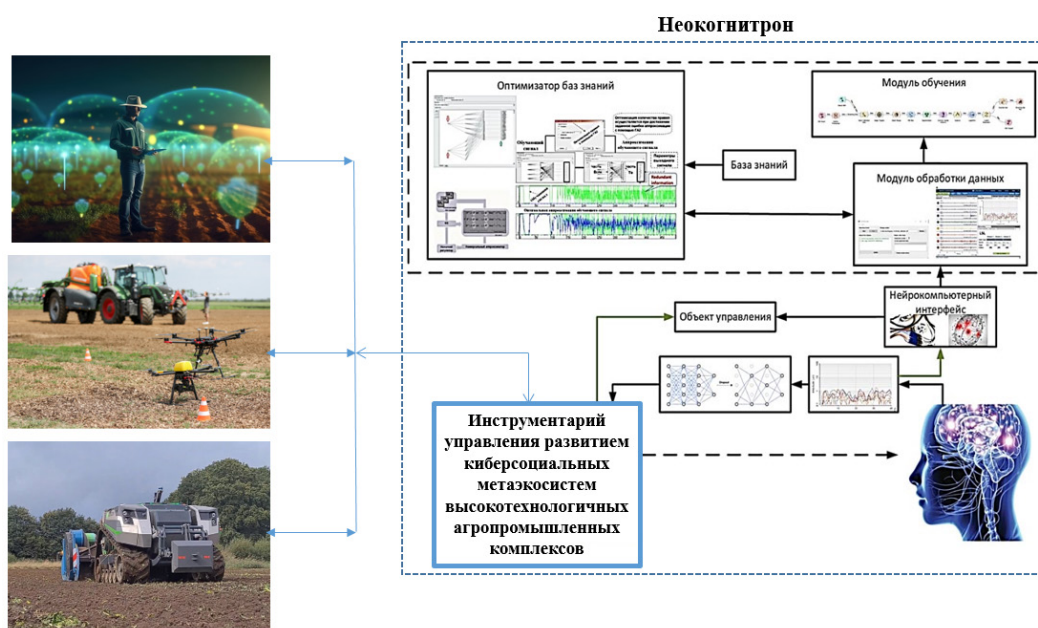


Рис. 9. Нейробионический вариант нейро-цифровой трансформации управления развитием киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов
 Fig. 9. Neurobionic version of the neuro-digital transformation of managing the development of cyber-social meta-ecosystems of high-tech agro-industrial complexes

нируют приступить к созданию мультивариантной конструкции научно-технологического развития ВПрК, на основе методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и интеллектуальной экономики.

Таким образом, в рамках исследований получены следующие результаты.

1. На основе системной тетрады и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем разработана системно-целевая схема создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК.
2. Предложен метод моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК на основе многоагентного генетического алгоритма. Разработана блок-схема и прикладное программное обеспечение многоагентного генетического алгоритма.
3. Разработана архитектура и программное обеспечение прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики.
4. Выполнена апробация прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики, к решению задачи моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов Калининградской области.

В работе ([4], раздел 1.3) представлена модель развития промышленных комплексов по стадиям жизненного цикла, а также обосновывается вывод «трансформация крупных промышленных комплексов необходима на стадии зрелости, чтобы предотвратить стадию спада и осуществить кратное наращивание роста ПК». Как показали исследования авторов, проведенные в процессе апробации разработанных в рамках данной статьи методов и инструментариев, так и проведенных в рамках разработки системной тетрады киберсоциальных экосистем экосистемы Starbase [8], а также исследования представленные в работе [10, 26, 27], в настоящее время ряд крупных ВПрК, как российских, так и западных компаний, практически полностью достигли

стадии зрелости, исчерпав практически полностью ресурс цифровой трансформации. Кроме того, как показывают исследования, количество компаний (на всех уровнях сосуществования промышленных комплексов – макро, микро, мезо [4]) достигающих стадии зрелости, возрастает экспоненциально. Таким образом, уже в скором времени, мировая экономика может столкнуться с рядом серьезных проблем: синхронизированное замедление развития, кризис инвестиций, и т.д. Для решения данных проблем, связанных с необходимостью трансформации крупных индустриальных комплексов на стадии зрелости, необходим новый вектор прорывного развития ВПрК, связанный в первую очередь с созданием новых подходов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и нейро-цифровизации ВПК.

Направления дальнейших исследований

В будущих исследованиях на основе активного внедрения и развития, разработанных к настоящему времени методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации промышленности, в том числе в компаниях макроуровня (SpaceX, «Карбоновая долина (Ростех)» и т.д.) авторы планируют приступить к созданию мультивариантной конструкции научно-технологического развития ВПрК с использованием методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и интеллектуальной экономики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Квинт В.Л., Бодрунов С.Д. (2021) *Стратегирование трансформации общества: знание, технологии, ноономика*. Монография. СПб.: ИНИР им. С. Ю. Витте, 351.
2. Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М. (2021) Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие. *Экономика промышленности*, 14 (4), 375–395. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>
3. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. (2021) Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель. *Экономическое возрождение России*, 4 (70). DOI: <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62>
4. Tolstykh T.O., Kostuhin Y.Y., Zhaglovskaya A.V., Shkarupeta E.V., Garin A.P. (2020) Scenarios for the development of industrial complexes in the digital economy. *Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. "Lecture Notes in Networks and Systems" Plekhanov Russian University of Economics. Luxembourg*, 1255–1261.
5. Бабкин А.В., Корягин С.И., Либерман И.В. и др. (2022) Индустрия 5.0: Нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования. *Технико-технологические проблемы сервиса*, 3 (61), 64–85.
6. Бодрунов С.Д. (2018) *Ноономика*, монография, М.: Культурная революция, 432.
7. Дударева О.В., Шкарупета Е.В. (2021) Концептуальные аспекты цифровой трансформации промышленных экосистем. *Цифровая экономика, умные инновации и технологии, Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2021 года*, 64–66.
8. Бабкин А.В., Либерман И.В., Клачек П.М., Шкарупета Е.В. (2023) Индустрия 5.0: Основы создания системной тетрады киберсоциальных экосистем. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: экономика*, 1, 103–120. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2023-1-103-120>
9. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. (2023) Интеллектуальная экономика экосистем: понятие, эволюция, формирование. *Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0» (ИНПРОМ), 27-30 апреля 2023, Санкт-Петербург*. (Под ред. д-ра экон. наук Родионова Д.Г., д-ра экон. наук Бабкина А.В.), 713.
10. Bonnaud S., Didier C. (2019) *Industrie 4.0 & Fabrication Cognitive. Cas d'usage, Patterns d'Architecture, Solutions IBM*. [online] Available at: <https://www.ibm.com/downloads/cas/N8DLLD6A> [Accessed 18.08.2023].
11. Горлачева Е.Н., Иванникова Е.М. (2019) Методология управления когнитивными факторами производства высокотехнологичных предприятий. *Экономика науки*. 5 (3). С. 203–214.

12. Бодрунов С.Д. (2018) Конвергенция технологий – новая основа для интеграции производства, науки и образования. *Экономическая наука современной России*, 1, 8–19.
13. Цифровая Россия: новая реальность. (2017) *Отчёт экспертной группы Digital McKinsey* [online] Available at: <https://corpshark.ru/wp-content/uploads/2017/07/Digital-Russia-report.pdf> [Accessed 20.08.2023].
14. Колесников А.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Клачек П.М., Бабкин А.В. (2022) Индустрия 5.0: Основы создания нейро-цифрового интеллекта на примере компании SPACEX. *Сборник трудов двадцать пятой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием, 21–23 декабря 2022 года (КИИ-2-22)*, 2, 341–350.
15. Колесников А.В., Кириков И.А. (2007) *Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем*, М.: ИПИ РАН, 387.
16. Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В., Румовская С.Б., Доманицкий А.А. (2011) *Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем* (Под ред. А.В. Колесникова), М.: ИПИ РАН, 295 с.
17. Bechara A., Damasio A. (2005) The Somatic Marker Hypothesis: A Neural Theory of Economic Decision. *Games and Economic Behavior*, 52, 336–372.
18. Bogacz R. (2007) Optimal decision-making theories: linking neurobiology with behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 118–125.
19. Lemos N. (2007) *An Introduction to the Theory of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 244.
20. Foray D. (2004) *The Economics of Knowledge*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 289.
21. Трофимова Е.А., Мазуров В.Д., Гилев Д.В. (2017) *Нейронные сети в прикладной экономике*. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 96.
22. Хивинцев М.А., Акопов А.С. (2013) Распределенная эволюционная сеть для решения многокритериальных оптимизационных задач в системах имитационного моделирования. *Бизнес-информатика*, 3 (25), 35–41.
23. Akopov A.S., Nevencev M.A. (2013) A Multi-agent genetic algorithm for multi-objective optimization. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Manchester, UK, October 13-16*, 1391–1396.
24. Bleuer S., Brack M., Thiele L., Zitzler E. (2001) Multiobjective genetic programming: Reducing bloat by using SPEA 2. *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (CES-2001). Seoul, Korea, May 27-30*, 536–543.
25. Федоров А.А. и др. (2021) Основы создания нейро-цифровых экосистем. *Гибридный вычислительный интеллект*, монография, Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 320.
26. Бетелин В.Б. (2018) Проблемы и перспективы формирования цифровой экономики в России. *Вестник Российской академии наук*, 1, 3–9.
27. Цифровая экономика Российской Федерации (2019) *Официальный сайт Правительства России*. [online] Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. [Accessed 20.08.2023].
28. Журавлев Д.М., Глухов В.В. (2021) Стратегирование цифровой трансформации экономических систем как драйвер инновационного развития. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 14 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14201>
29. Махмудова Г.Н., Ашуоров З.А., Разакова Б.С. (2022) Развитие цифровой экосистемы и формирование цифровых платформ в Узбекистане. *π-Economy*, 15 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15201>
30. Писарев И.В., Бывшев В.И., Пантелеева И.А., Парфентьева К.В. (2022) Исследование готовности регионов России к цифровой трансформации. *π-Economy*, 15 (2), 22–37. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15202>

REFERENCES

1. Kvint V.L., Bodrunov S.D. (2021) *Strategirovanie transformatsii obshchestva: znanie, tekhnologii, noonomika*. Monografiya. SPb.: INIR im. S. Yu. Vitte, 351.

2. Babkin A.V., Fedorov A.A., Liberman I.V., Klachek P.M. (2021) Industriya 5.0: ponyatie, formirovanie i razvitie. *Ekonomika promyshlennosti*, 14 (4), 375–395. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>
3. Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. (2021) Intellektual'naya kibersotsial'naya ekosistema Industrii 5.0: ponyatie, sushchnost', model'. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*, 4 (70). DOI: <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62>
4. Tolstykh T.O., Kostuhin Y.Y., Zhaglovskaya A.V., Shkarupeta E.V., Garin A.P. (2020) Scenarios for the development of industrial complexes in the digital economy. *Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. "Lecture Notes in Networks and Systems" Plekhanov Russian University of Economics. Luxembourg*, 1255–1261.
5. Babkin A.V., Koryagin S.I., Liberman I.V. i dr. (2022) Industriya 5.0: Neuro-tsifrovoy instrumentarii strategicheskogo tselepolaganiya i planirovaniya. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 3 (61), 64–85.
6. Bodrunov S.D. (2018) *Noonomika*, monografiya, M.: Kul'turnaya revolyutsiya, 432.
7. Dudareva O.V., Shkarupeta E.V. (2021) Kontseptual'nye aspekty tsifrovoy transformatsii promyshlennykh ekosistem. *Tsifrovaya ekonomika, umnye innovatsii i tekhnologii, Sankt-Peterburg, 18–20 aprelya 2021 goda*, 64–66.
8. Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M., Shkarupeta E.V. (2023) Industriya 5.0: Osnovy sozdaniya sistemnoi tetrady kibersotsial'nykh ekosistem. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: ekonomika*, 1, 103–120. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2023-1-103-120>
9. Babkin A.V., Shkarupeta E.V. (2023) Intellektual'naya ekonomika ekosistem: ponyatie, evolyutsiya, formirovanie. *Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Intellektual'naya inzhener'naya ekonomika i Industriya 5.0» (INPROM), 27-30 aprelya 2023, Sankt-Peterburg*. (Pod red. d-ra ekon. nauk Rodionova D.G., d-ra ekon. nauk Babkina A.V.), 713.
10. Bonnaud S., Didier C. (2019) Industrie 4.0 & Fabrication Cognitive. *Cas d'usage, Patterns d'Architecture, Solutions IBM*. [online] Available at: <https://www.ibm.com/downloads/cas/N8DLLD6A> [Accessed 18.08.2023].
11. Gorlacheva E.N., Ivannikova E.M. (2019) Metodologiya upravleniya kognitivnymi faktorami proizvodstva vysokotekhnologichnykh predpriyatii. *Ekonomika nauki*. 5 (3). S. 203–214.
12. Bodrunov S.D. (2018) Konvergentsiya tekhnologii – novaya osnova dlya integratsii proizvodstva, nauki i obrazovaniya. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoi Rossii*, 1, 8–19.
13. Tsifrovaya Rossiya: novaya real'nost'. (2017) *Otchet ekspertnoi gruppy Digital McKinsey* [online] Available at: <https://corpshark.ru/wp-content/uploads/2017/07/Digital-Russia-report.pdf> [Accessed 20.08.2023].
14. Kolesnikov A.V., Koryagin S.I., Liberman I.V., Klachek P.M., Babkin A.V. (2022) Industriya 5.0: Osnovy sozdaniya neuro-tsifrovogo intellekta na primere kompanii SPACEX. *Sbornik trudov dvadtsat' pyatoi natsional'noi konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem, 21–23 dekabr'ya 2022 goda (KII-2-22)*, 2, 341–350.
15. Kolesnikov A.V., Kirikov I.A. (2007) *Metodologiya i tekhnologiya resheniya slozhnykh zadach metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem*, M.: IPI RAN, 387.
16. Kolesnikov A.V., Kirikov I.A., Listopad S.V., Rumovskaya S.B., Domanitskii A.A. (2011) *Reshenie slozhnykh zadach kommivoyazhera metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem* (Pod red. A.V. Kolesnikova), M.: IPI RAN, 295 s.
17. Bechara A., Damasio A. (2005) The Somatic Marker Hypothesis: A Neural Theory of Economic Decision. *Games and Economic Behavior*, 52, 336–372.
18. Bogacz R. (2007) Optimal decision-making theories: linking neurobiology with behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 118–125.
19. Lemos N. (2007) *An Introduction to the Theory of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 244.
20. Foray D. (2004) *The Economics of Knowledge*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 289.
21. Trofimova E.A., Mazurov V.D., Gilev D.V. (2017) *Neironnye seti v prikladnoi ekonomike*. Ekaterinburg: Izd-vo UrFU, 96.
22. Khivintsev M.A., Akopov A.S. (2013) Raspredele'naya evolyutsionnaya set' dlya resheniya mnogokriterial'nykh optimizatsionnykh zadach v sistemakh imitatsionnogo modelirovaniya. *Biznes-informatika*, 3 (25), 35–41.

23. Akopov A.S., Hevencev M.A. (2013) A Multi-agent genetic algorithm for multi-objective optimization. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Manchester, UK, October 13-16*, 1391–1396.
24. Bleuer S., Brack M., Thiele L., Zitzler E. (2001) Multiobjective genetic programming: Reducing bloat by using SPEA 2. *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (CES-2001). Seoul, Korea, May 27-30*, 536–543.
25. Fedorov A.A. i dr. (2021) *Osnovy sozdaniya neuro-tsifrovyykh ekosistem. Gibridnyi vychislitel'nyi intellekt*, monografiya, Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 320.
26. Betelin V.B. (2018) Problemy i perspektivy formirovaniya tsifrovoi ekonomiki v Rossii. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 1, 3–9.
27. Tsifrovaya ekonomika Rossiiskoi Federatsii (2019) *Ofitsial'nyi sait Pravitel'stva Rossii*. [online] Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. [Accessed 20.08.2023].
28. Zhuravlev D.M., Glukhov V.V. (2021) Strategirovanie tsifrovoi transformatsii ekonomicheskikh sistem kak draiver innovatsionnogo razvitiya. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskije nauki*, 14 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14201>
29. Makhmudova G.N., Ashurov Z.A., Razakova B.S. (2022) Razvitie tsifrovoi ekosistemy i formirovanie tsifrovyykh platform v Uzbekistane. *π-Economy*, 15 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15201>
30. Pisarev I.V., Byvshev V.I., Panteleeva I.A., Parfent'eva K.V. (2022) Issledovanie gotovnosti regionov Rossii k tsifrovoi transformatsii. *π-Economy*, 15 (2), 22–37. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15202>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

БАБКИН Александр Васильевич

E-mail: al-vas@mail.ru

Aleksandr V. BABKIN

E-mail: al-vas@mail.ru

ЛИБЕРМАН Ирина Владимировна

E-mail: ILiberman@kantiana.ru

Irina V. LIBERMAN

E-mail: ILiberman@kantiana.ru

КЛАЧЕК Павел Михайлович

E-mail: pklachek@mail.ru

Pavel M. KLACHEK

E-mail: pklachek@mail.ru

Поступила: 03.09.2023; Одобрена: 26.10.2023; Принята: 26.10.2023.

Submitted: 03.09.2023; Approved: 26.10.2023; Accepted: 26.10.2023.