

УДК 330.3: 338.12.017

<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>

## Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие

А.В. Бабкин<sup>1</sup> , А.А. Федоров<sup>2</sup> , И.В. Либерман<sup>2</sup> , П.М. Клачек<sup>2</sup>  <sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, Российская Федерация<sup>2</sup> Балтийский федеральный университет имени И. Канта,  
236041, Калининград, ул. Александра Невского, д. 14, Российская Федерация [pklachek@mail.ru](mailto:pklachek@mail.ru)

**Аннотация.** В настоящее время в Европе и России активно обсуждают следующий мега этап социально-экономического развития человечества. Речь идет о концепции Индустрия 5.0. Аспекты концепции Индустрии 5.0 обсуждались в 2020–2021 гг. на ряде известных Европейских и Российских форумов участниками из научно-исследовательских и технологических организаций. Основное внимание уделялось технологиям, поддерживающим Индустрию 5.0. В результате в мировом научном сообществе был достигнут консенсус по двум направлениям: 1) объединение возможностей подключенных технологий Индустрии 4.0 с человеко-ориентированным подходом Индустрии 5.0; 2) объединение человеческого и машинного интеллекта для создания коллективного интеллекта, что позволит избежать в будущем технологической сингулярности, а также совершенствовать человека и развивать технологии одновременно. В итоге использование коллективного интеллекта и метасистемных технологий во всех сферах жизни должно стать основой для создания принципиально новой социально-экономической и культурной стратегии развития общества на следующие многие десятилетия. В работе вводится понятие Индустрии 5.0 как кибер-социальной системы, позволяющей объединить человеческий и машинный интеллект для создания коллективного супер интеллекта, являясь источником гармоничного, технологического развития человеческой цивилизации. Представлена нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0, которая позволит поставить задачу реализации систем глобального метасистемного стратегированного развития когнитивного производства и промышленности. Создание подобных систем в рамках организации когнитивного производства и новых типов социально-экономических, кибер-социальных и промышленных экосистем на основе применения коллективного интеллекта и нейро-цифровых метатехнологий представляет собой первый этап нового эволюционного процесса развития концепции Индустрии 4.0, перехода к концепции Индустрии 5.0 и экономики метасистемных трансформаций.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, цифровая трансформация, теория стратегирования, искусственный интеллект, киберсоциальная система, Индустрия 5.0, нейросфера

**Для цитирования:** Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М. Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие. *Экономика промышленности*. 2021;14(4):375–395. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>

## Industry 5.0: concept, formation and development

A.V. Babkin<sup>1</sup> , A.A. Fedorov<sup>2</sup> , I.V. Liberman<sup>2</sup> , P.M. Klachek<sup>2</sup>  

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
29 Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg 195251, Russian Federation

<sup>2</sup> Baltic Federal University of Immanuel Kant,  
14 Alexander Nevsky Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation

 pklachek@mail.ru

**Abstract.** At present in Europe and Russia there are active discussions of the next mega stage of human social and economic development. It concerns the Industry 5.0 concept. In 2020–2021 members of scientific research and technological organizations discussed the aspects of Industry 5.0 at a number of well-known European and Russian forums. Major attention was paid to technologies maintaining Industry 5.0. As a result the world scientific community reached a consensus on two fronts: firstly, on integration of opportunities of the existing technologies of Industry 4.0 with the human-oriented approach of Industry 5.0 which will give way to harmonious interaction of human intelligence with cognitive calculations; and, secondly, on integration of human and machine intelligence to create collective intelligence which will make it possible to avoid technological singularity in future as well as provide for simultaneous humans' evolution and technologies' development. These will become the basis for creating a fundamentally new social, economic and cultural strategy of the society's development for the coming decades. The strategy is based on applying collective intelligence and meta-system technologies in all spheres of life. For the first time in the world scientific practice the authors introduce the concept of Industry 5.0 as a cyber social system which allows the alliance of human and artificial intelligence aimed at creating collective super intelligence and becomes a source of harmonious technological development of human civilization. The authors present a neuro-ecosystem model of Industry 5.0 concept which will make it possible to set the task of implementing the systems of global meta-system strategized development of cognitive production and industry. Such systems are established as part of organization of cognitive production and new types of social and economic, cyber-social and industrial ecosystems by means of implementing collective intelligence and neuro-digital meta-technologies. This is the first stage of a new evolution process of developing Industry 4.0 concept, transition to Industry 5.0 and to meta-system transformations economics.

**Keywords:** digital economy, digital transformation, strategy theory, artificial intelligence, cyber-social system, Industry 5.0, neurosphere

**For citation:** Babkin A.V., Fedorov A.A., Liberman I.V., Klachek P.M. Industry 5.0: concept, formation and development. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(4):375–395. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>

## 工业5.0：概念、形成和发展

A.V. 巴布金<sup>1</sup>, A.A. 费多罗夫<sup>2</sup>, I.V. 利伯曼<sup>2</sup>, P.M. 克拉切克<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> 圣彼得堡彼得大帝理工大学, 195251, 俄罗斯联邦, 圣彼得堡, 理工大学街, 29号

<sup>2</sup> 康德波罗的海联邦大学, 236041, 俄罗斯联邦, 加里宁格勒, 亚历山大·涅夫斯基街14号

 pklachek@mail.ru

**摘要：**当前，欧洲和俄罗斯正在积极探讨人类社会和经济发展的下一个大阶段。这里所指的是工业5.0概念。2020–2021年，在多个著名的欧洲和俄罗斯论坛上，来自研究和技术组织的代表讨论了工业5.0概念的各个方面。重点是扶持工业5.0的技术。因此，全球科学界在两个方面达成了共识：第一，将工业4.0的互联技术能力与工业5.0以人为本的方法相结合，这将为人类智能和认知计算之间的和谐互动开辟道路；第二，将人类智能和机器智能相结合，创造集体智能，这将避免未来的技术奇异点，并且同时完善人和发展技术——这最终将成为基于集体智能和元系统技术在生活各个领域的应用，为未来几十年的社会发展制定全新的社会经济和文化战

略的基础。本文首次在世界科学实践中提出了工业5.0作为网络社会系统的概念，使人类智能和机器智能相融合，创造出集体超级智能，成为人类文明和谐、技术发展的源泉。介绍了工业5.0概念的神经-生态系统模型，该模型将使我们能够设定实施认知生产和工业的全球元系统战略发展系统的任务。基于集体智能和神经数字元技术应用，在认知生产组织新型社会经济、网络社会和工业生态系统框架内建立这样的系统，，实质上是工业4.0概念发展、向工业5.0概念过渡和元系统经济转型的新进化过程的第一阶段。

**关键词：**数字经济、人工智能、网络社会系统、工业5.0神经圈、数字化转型、战略规划理论

### Введение

В июне 2021 г. корпорацией AVEVA, мирового лидера в области промышленного программного обеспечения, был проведен четвертый Саммит AVEVA World Digital (AWD 4). В рамках круглого стола форума, проходившего 17 июня 2021 г. на базе Cambridge University (Великобритания), посвященного интеграции подключенных технологий Индустрии 4.0 с гуманитарными практиками Индустрии 5.0 для дальнейшей персонализации рабочей среды, Брентом Кедзерски (Brent Kedzierski), вице-президентом компании Shell, была предложена концепция Индустрия 5.0: «Объединение возможностей подключенных технологий Индустрии 4.0 с человеко-ориентированным подходом Индустрии 5.0 откроет путь гармоничному взаимодействию человеческого интеллекта с когнитивными вычислениями»<sup>1</sup>.

С другой стороны, в рамках XXII Апрельской международной научной конференции на круглом столе, посвященном вопросам развития прорывных инноваций, Оздчан Саритас, руководитель исследовательской лаборатории института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ НИУ ВШЭ), предложил альтернативный вариант концепции Индустрия 5.0, подразумевающий объединение человеческого и машинного интеллекта для создания коллективного интеллекта, позволяющего избежать в будущем технологической сингулярности, а также совершенствовать человека и развивать технологии одновременно<sup>2</sup>.

Два предложенных выше варианта концепции Индустрия 5.0 по сути создают системообразующую основу десятилетних исследований авторов в этой области (рис. 1), представленных в работах [1–4].

На рис. 2 представлена нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0., в рамках которой авторами предложено понятие Индустрии 5.0 как кибер-социальной системы [5], состоящей из совокупности взаимодействующих системно-целевых акторов-экосистем [6], функционирующих и самоорганизующихся в особой среде – нейросфере [1], формируемой коллективным интеллектом [7], подразумевающим объединение человеческого и машинного интеллекта [1].

Предложенная на рис. 2 нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0 позволяет гармонично объединить возможности технологий Индустрии 4.0 с человеко-ориентированным подходом Индустрии 5.0 (концепция Брента Кедзерски) с коллективным интеллектом на основе объединения человеческого и машинного интеллекта (концепция Оздчан Саритас). В работе [8] приводится расширенный список определений понятия Индустрии 4.0, а также четыре фундаментальных системообразующих принципа для различных определений концепции Индустрия 4.0. В работах [9–12] подробно представлен анализ основных технологий, характерных для концепции Индустрия 4.0: анализа больших данных, автономных роботов, интернета вещей, аддитивных производств и т.д.

Тренды, возможности, перспективы для производственного сектора и экономики различных стран, активно использующих технологии и инструментарий Индустрии 4.0, представлены в работах [13–17].

Ряд ведущих специалистов в области когнитивного производства как одного из перспективных компонентов Индустрии 4.0 отмечают, что в настоящее время одним из критических аспектов развития концепции Индустрии 4.0 является конвергенция операционных технологий и когнитивных технологий, позволяющая создать принципиально новую нейро-цифровую метатеchnology, которая даст возможность решить задачу реализации системы «глобального архитектурного мышления когнитивного производства и промышленности» [18]. Создание систем глобального архитектурного мышления в рамках

<sup>1</sup> AVEVA World Digital Now On Demand. URL: <https://www.avevaworld.com/>

<sup>2</sup> XXII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества, 13–30 апреля 2021 г. (видеоархив). URL: <https://www.youtube.com/channel/UCwH5S3ybaFYquqbw-bzM6Pg/featured>

«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

Эволюция научно-прикладных исследований, проводимых в инженерно-техническом институте БФУ им. И. Канта (1997–2021)



Рис. 1. Эволюция научно-прикладных исследований, проводимых авторским коллективом по направлению: «Искусственный интеллект и цифровая экономика»

Fig. 1. Evolution of the scientific and applied investigations on artificial intelligence and digital economy

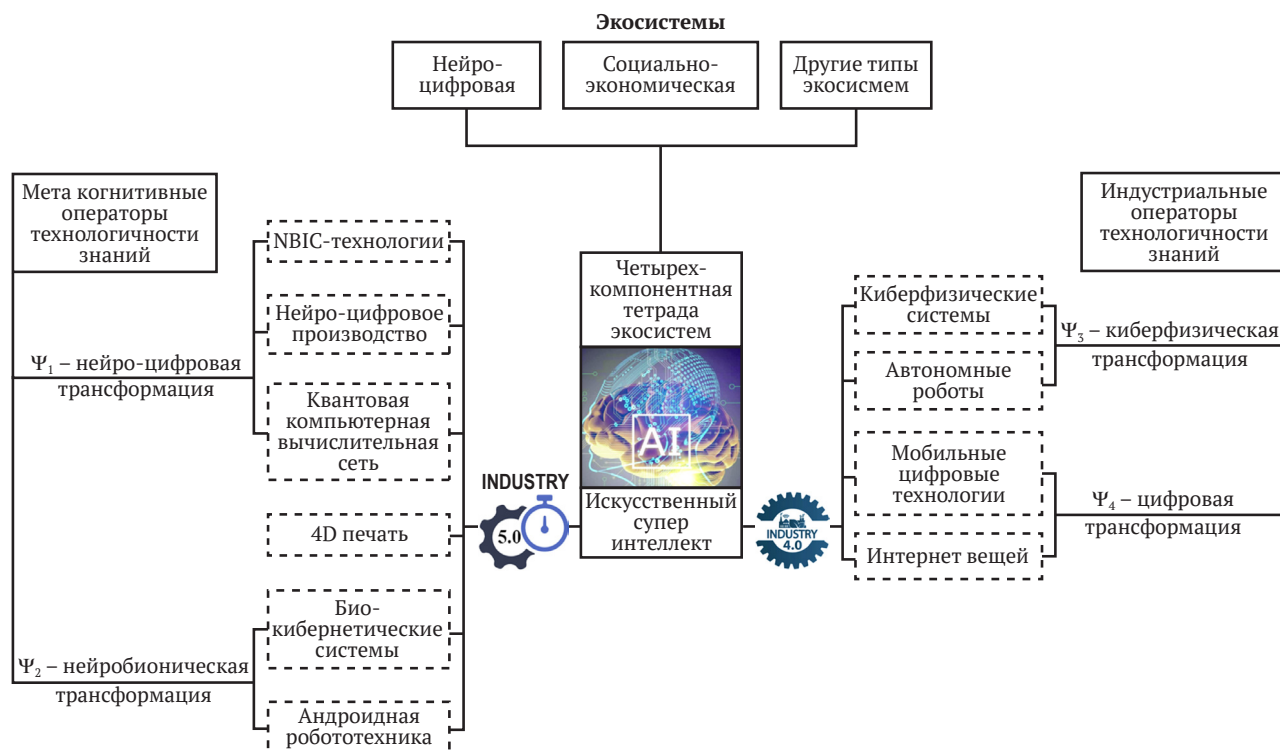


Рис. 2. Нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0

Fig. 2. Neuro-ecosystem model of the Industry 5.0 concept



организации когнитивного производства и промышленности на основе нейро-цифровой метатехнологии представляет собой по сути первый этап нового эволюционного процесса развития концепции Индустрии 4.0 и перехода к концепции Индустрии 5.0.

Исследования, проведенные авторами, показывают, что подобные нейро-цифровые метатехнологии должны разрабатываться на основе принципиально новых типов нейроинтерфейсов между человеком и вычислительными системами в виде нейро-цифровых двойников высококвалифицированных специалистов, обладающих высокими интеллектуальными, творческими и другими незаурядными способностями [1]. Разработкой подобных метатехнологий нейро-цифрового клонирования [19] на основе методов картирования мозга человека [20], квантовых вычислительных систем [21], NBIC-технологий и т.д. активно занимаются такие известные компании, как SpaceX и IBM. Как отмечено В.Г. Будановым [19], подобные метатехнологии – это «...не просто очередное научно-техническое совершенствование, они «взрывают» жизненный мир человека, вплоть до трансформации самой природы человека, его идентичности». Кроме того, по мнению авторов, разработка нейроинтерфейсов между человеком и вычислительными системами в виде нейро-цифровых двойников даст новый толчок в развитии антропоидной робототехники [22], биокрибернетических систем [1] и других технологий, являющихся центральными компонентами концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2). Объединение нейро-цифровых двойников высококвалифицированных специалистов в когнитивные системы, кластеры и т.д. позволит реализовать принципиально новые подходы, методы и инструментарию нейро-циф-

ровой, нейробионической, технологической трансформации (см. рис. 2) в рамках концепции Индустрия 5.0, что откроет массу новых возможностей в области организации и управления высокотехнологичными отраслями и процессами производства и промышленности [23, 24], обеспечив системно-эволюционное начало перехода от Индустрии 4.0 к пятому нейро-технологическому укладу Индустрии 5.0. Кроме того, авторы полагают, что в соответствии с системно-синергетическим подходом [1] реализация систем глобального архитектурного мышления на основе нейро-цифровых двойников неизбежно приведет к созданию нейросферы как системно-целевой модели ноосферного общества, состоящей из трех элементов, подробно рассмотренных в работах [25, 26]: 1) коллективного разума; 2) социально автотрофной структуры и 3) совокупности ноосферных личностей.

На рис. 3 показана эволюция концепции Индустрия.

Одной из ключевых особенностей предложенной на рис. 2 нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0 является возможность перехода к понятию мягкой технологической сингулярности [27], которому авторы статьи намерены посвятить отдельный цикл научных статей. В рамках этих статей будет показано, что предложенная на рис. 2 нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0 позволит создать кибер-социальную систему на основе искусственного суперинтеллекта, объединив человеческий и машинный интеллект для создания коллективного суперинтеллекта и сделав, таким образом, управляемым технологическое развитие человечества. Это послужит источником гармоничного технологического мира и развития человеческой цивилизации.

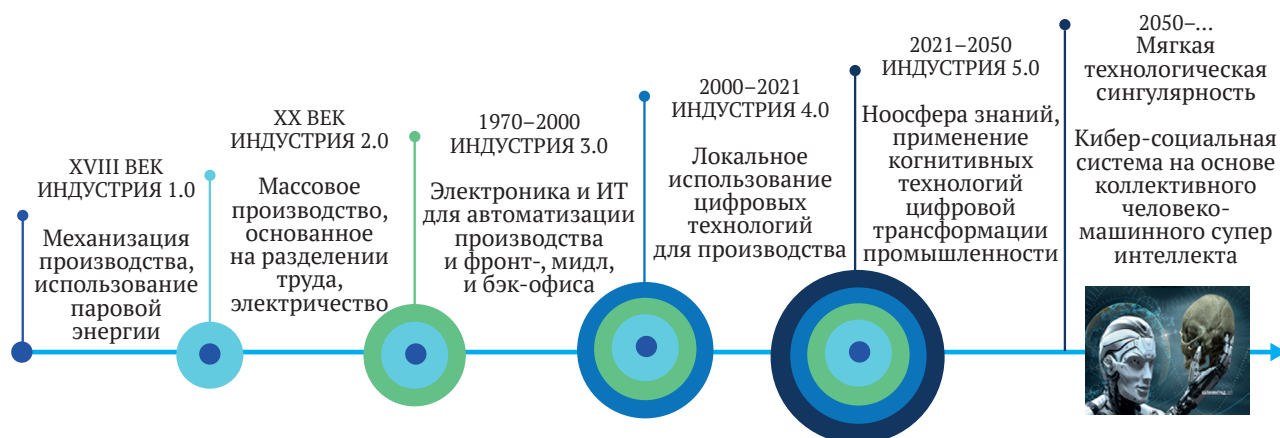


Рис. 3. Эволюция концепции Индустрия

Fig. 3. Evolution of the Industry concept

Основу представленной на рис. 2 нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0 составляет триада (греч. *τριάς*, – единство, образуемое тремя раздельными членами/частями) следующих элементов:

- 1) интеллектуальное ядро на основе искусственного суперинтеллекта;
- 2) четырехкомпонентная тетрада экосистем;
- 3) комплекс экосистем. Центральные экосистемы: социально-экономическая и нейро-цифровая.

Вопросам создания искусственного интеллекта (ИИ) и искусственного суперинтеллекта посвящено в настоящее время огромное количество научных работ. В данной статье авторы не видят необходимости детально анализировать все существующие определения и подходы к проблеме ИИ и искусственного суперинтеллекта, а лишь хотели бы отметить научные сообщества, сыгравшие заметную роль в развитии авторских идей в области гибридного вычислительного суперинтеллекта [1] как системно-образующего элемента нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2): Российская ассоциация искусственного интеллекта (РАИИ); немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту (DFKI); некоммерческая организация для исследования искусственного интеллекта OpenAI (США); центр искусственного интеллекта СПбГУ и др.

В работе [28] авторами введено понятие сложных слабоформализуемых, многокомпонентных экономических систем (ССМЭС), функционирующих в условиях неопределенности, как одного из широко распространенных классов экономических систем, характерных для цифровой экономики. Теоретико-множественное представление указанного класса сложных систем реализовано также в источниках [29, 30].

В работах [1, 2] представлены основы системно-целевого подхода в области моделирования ССМЭС на основе современных систем принятия решений и методов гибридного вычислительного интеллекта (ГВИ). Органичным развитием системно-целевого подхода на основе методов ГВИ для моделирования как ССМЭС, так и производственных экосистем на их основе может служить предлагаемая авторами модель гибридного искусственного суперинтеллекта, представленная в работе [1]. Модель основана на трех законах синергетического гибридного вычислительного интеллекта: 1) взаимной адаптации; 2) дискретных рядов структур и 3) законе трансформаций.

Таким образом, в настоящее время авторским коллективом создан теоретический и инструмен-

тальный базис, широко представленный мировому научному сообществу, в области создания искусственного суперинтеллекта на основе ГВИ, развитие которого активно продолжается в рамках создания нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0., представленной на рис. 2.

В работе [31] профессор Г.Б. Клейнер подробно исследует с позиций системной парадигмы сущность, понятие, особенности и структуру социально-экономических экосистем и экосистем в целом. Развитию данных понятий посвящены также фундаментальные исследования, представленные в работах [32–39].

Также в работе [31] профессора Г.Б. Клейнера показано, что внутренняя структура социально-экономических и других типов экосистем изоморфна структуре тетрады – комплексу четырех устойчиво взаимодействующих систем: объектной, средовой, процессной и проектной (рис. 4).

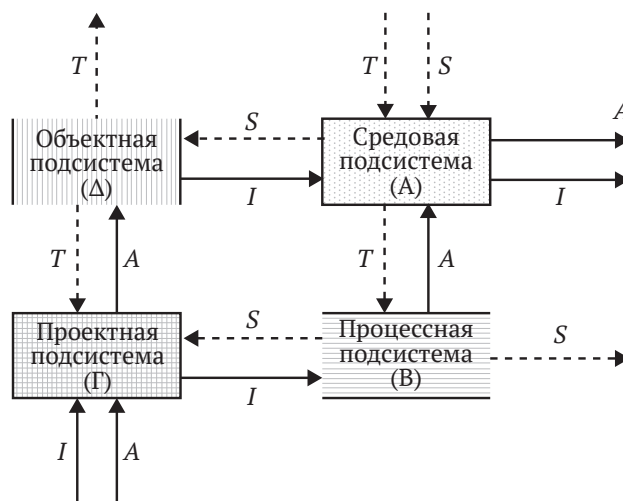


Рис. 4. Структура и функции тетрады экосистем [31]

Fig. 4. The structure and functions of the tetrad of ecosystems [31]

Профессор Г.Б. Клейнер отмечает, что «...баланс распределения ресурсов A, I, S, T между компонентами тетрады (внутренний AIST-баланс) достигается путем предоставления для каждой подсистемы доступа ко всем ресурсам A, I, S, T. Внешний AIST-баланс реализуется: по ресурсам пространства и времени – путем постоянного получения из внешней среды (через средовую подсистему) ресурсов S, T и возврата ресурса T через объектную подсистему и ресурса S через процессную; по ресурсам активности и интенсивности – путем разового получения проектной подсистемой из внешней среды запаса ресурсов A, I, а также предоставления для внешней среды доступа к этим ресурсам через средовую подсистему» [31].

Как показали исследования авторов, нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2) предполагает создание специальной, самоорганизующейся внешней среды тетрады Г.Б. Клейнера, адаптивный каркас которой обеспечивает синергетическое взаимодействие гибридного искусственного суперинтеллекта и нейро-цифровой экосистемы. Таким образом, функции, исполняемые четырьмя подсистемами тетрады (рис. 4) и подробно представленные в работе [31], будут претерпевать определенные структурные и эволюционные изменения, что потребует проведения дополнительных исследований. Кроме того, высоко адаптивная внешняя среда, подобная некому «Солярису» [40], изменяет ценностный вектор экосистемы, направляя его не только вовнутрь экосистемы (как полагает Г.Б. Клейнер [31, с. 13]), но и вовне ее.

В работе [1] представлена модель нейро-цифровой экосистемы, включающая следующие базовые уровни:

- *операционный (управление процессами когнитивного генезиса знаний; управление цифровым и нейро-цифровым пространством данных; базами, кубами и нейро-хранилищами данных и знаний);*
- *технологический (преобразование и нейро-цифровую трансформацию информации, данных и знаний);*
- *социализирующий (организация киберсоциального взаимодействия индивидумов в нейро-цифровой экосистеме);*
- *научно-образовательный (организация нейро-цифровой, образовательной и научно-исследовательской синергетической среды);*
- *инновационно-производственный (организация нейро-цифровой, научно-производственной среды, обеспечивающей генерацию новых знаний в меж-, мульти- и трансдисциплинарных областях для решения сложных производственных задач в различных сферах деятельности).*

В работе [5] вводится понятие нейро-цифровой экосистемы для реализации концепции Индустрия 5.0: «Нейро-цифровая экосистема для реализации концепции Индустрия 5.0 – это совокупность нейро-цифровых платформ, которые являясь квинтэссенцией концепции генезиса знаний, во взаимодействии с множеством когнитивных агентов, действующих на рынках и в отраслях промышленности, обеспечивают мета-когнитивное взаимодействие между людьми и технологиями, объединяя на основе нейро-цифровой трансформации материальный мир (технические системы, технологические комплексы, информационные системы и т.д.) с интеллектуальным

миром людей». В работах [1, 5] представлена технология проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0, основанная на применении методов гибридного вычислительного интеллекта, обеспечивающего нейро-цифровую (информации, данных, знаний, идей, мыслей и т.д.) трансформацию когнитивный генезис знаний на разных уровнях нейро-цифровой экосистемы.

В соответствии с экосистемной парадигмой, представленной Г.Б. Клейнером, «...экосистемы в настоящее время становятся центральным элементом социально-экономического ландшафта стран...», а также на основе центральных положений социально-экономической теории, утверждающей, что «период открытых инноваций», последовавший за периодом «закрытых корпоративных инноваций», перейдет в период «экосистемных инноваций» [31], авторы считают, что Индустрия 5.0 в процессе своего развития и эволюции будет неизбежно создавать большое количество экосистем (см. рис. 2) различных видов и назначений (цифровых, технологических, инновационных и т.д.).

В работе [31] сформулировано системообразующее условие функционирования экосистем: «Поскольку в экосистемах по определению отсутствует централизованное управление, механизмы самоорганизации, в том числе самоограничения и самомодерации («выравнивания»), должны быть органично встроены в институциональную структуру экосистем». Данный принцип получил развитие в рамках этой же работы в разделе «Системная структура экосистем», в котором утверждается: «Инновационный компонент (экосистем) – совокупность мероприятий, каждое из которых локализовано в пространстве и во времени, направленных на адаптацию экосистемы к изменениям внешнего окружения» [31].

Таким образом, на основе данных положений авторы считают, что развитие теоретико-прикладных исследований структуры и функций триады экосистем (см. рис. 4) в рамках нейро-экосистемной модели Индустрия 5.0. необходимо начать с создания модели когнитивного каркаса экосистемы (по аналогии с предложенным в работе [31, с. 7] понятием структурного каркаса экосистемы), позволяющего обеспечить механизмы:

- 1) самоорганизации, гомеостаза, адаптивности, в том числе самоограничения и самомодерации («выравнивания»), органически встроены в институциональную структуру экосистем;
- 2) адаптации экосистем к изменениям внешнего окружения;

3) «континуума экосистем» [1] как особого вида взаимодействия между экосистемами в рамках нейро-экосистемной модели Индустрия 5.0;

4) взаимодействия экосистем с операционным ядром нейро-экосистемной модели Индустрия 5.0.

По мнению авторов, разработка модели когнитивного каркаса экосистемы должна идти итерационным путем [3]. На первом этапе ставится задача создания наиболее простого, с точки зрения синтеза прикладных решений и последующего анализа результатов, универсального формального представления модели когнитивного каркаса экосистемы в рамках нейро-экосистемной модели Индустрия 5.0 (см. рис. 2). Такое представление должно позволить на формальном уровне представить и оценить возможности трансформации существующих производственно-экономических систем в рамках предложенной нейро-экосистемной модели Индустрия 5.0.

В результате будет получен необходимый опыт и аналитический материал для создания более сложных вариантов моделей когнитивного каркаса экосистем в виде нейро-цифровых двойников экосистем, позволяющих стать системообразующими элементами триады нейро-экосистемной модели Индустрия 5.0 (см. рис. 2).

### Методы

В работе [41] рассмотрена эволюционная модель синергетического гибридного вычислительного интеллекта, разработанная на основе модели синергетической исследовательской среды [2]:

$$E^M = \langle MET^a, LANG^m, \Psi_i^{met\ met}, \Psi^{MET\ LANG} \rangle, \quad (1)$$

где  $MET^a$  – множество микроуровневых представлений автономных методов [1]:

$$MET^a = \{MET_{An}^a, MET_{St}^a, MET_{Lg}^a, MET_{Li}^a, MET_{Ep}^a\},$$

$$MET_{An}^a = \{met_{An1}^a, \dots, met_{AnN_{An}}^a\},$$

$$MET_{St}^a = \{met_{St1}^a, \dots, met_{StN_{St}}^a\},$$

$$MET_{Lg}^a = \{met_{Lg1}^a, \dots, met_{LgN_{Lg}}^a\},$$

$$MET_{Li}^a = \{met_{Li1}^a, \dots, met_{LiN_{Li}}^a\},$$

$$MET_{Ep}^a = \{met_{Ep1}^a, \dots, met_{EpN_{Ep}}^a\},$$

$LANG^m = \{LANG_1^m, \dots, LANG_{N_{LANG^m}}^m\}$  – множество гибридных конструкций, на основе пяти множеств микроуровневых представлений знаний  $An$ -,  $St$ -,  $Lg$ -,  $Li$ -знаниями и  $Ep$ -опытом вида [1].

Методы трансформации знаний:

$$\Psi_i^{met\ met}, \text{ при } i \in \overline{1, 5}$$

и  $met_{dl}^a, j = 1; d, q \in \{An, St, Lg, Li, Ep\}; d = p :$

$$\Psi_1^{met\ met} : MET_{An}^a \rightarrow MET_{An}^a,$$

$$\Psi_2^{met\ met} : MET_{St}^a \rightarrow MET_{St}^a,$$

$$\Psi_3^{met\ met} : MET_{Lg}^a \rightarrow MET_{Lg}^a,$$

$$\Psi_4^{met\ met} : MET_{Li}^a \rightarrow MET_{Li}^a,$$

$$\Psi_5^{met\ met} : MET_{Ep}^a \rightarrow MET_{Ep}^a.$$

В работе [29] дан обобщенный вариант системно-целевой технологии трансформации знаний на основе эволюционной модели синергетического гибридного вычислительного интеллекта, позволяющий перейти к созданию универсального формального представления модели когнитивного каркаса экосистем.

На рис. 5 представлена системно-целевая схема создания когнитивного каркаса экосистем [29].

На рис. 6 приведена структура инструментальной среды системно-целевого моделирования прикладных задач производственно-экономических систем (ПЭС) для широкого класса предметных областей (подробно рассмотренная в работе [28]), являющаяся частью синергетической исследовательской среды (1).

Несмотря на то, что основная цель инструментальной среды системно-целевого моделирования прикладных задач ПЭС, разработка которых ведется авторами с 2016 г., состоит в сопровождении наукоемких и модернизируемых отраслей регионов РФ, а также в разработке перспективных коммерческих технологий и реализации совместных проектов с системообразующими компаниями и предприятиями, исследования авторов показали возможность применения данных инструментариев в области создания модели когнитивного каркаса экосистем.

На основе инструментальной среды системно-целевого моделирования прикладных задач ПЭС и комплекса методов информационной среды Семантик-WEB [42] был разработан тестовый вариант интеллектуального лингвистического процессора (рис. 7), позволяющего перейти к созданию модели семантического тезауруса  $M$  вида:

$$M = \langle M_{Sl}, M_{Tz} \rangle, \quad (2)$$

где  $M_{Sl}$  – тезаурус объектов и их свойств;  $M_{Tz}$  – тезаурус семантических отношений, формирующий специфический порядок на  $M_{Sl}$ .





Рис. 5. Системно-целевая схема создания когнитивного каркаса экосистем

Fig. 5. System-target scheme for creating a cognitive framework of ecosystems

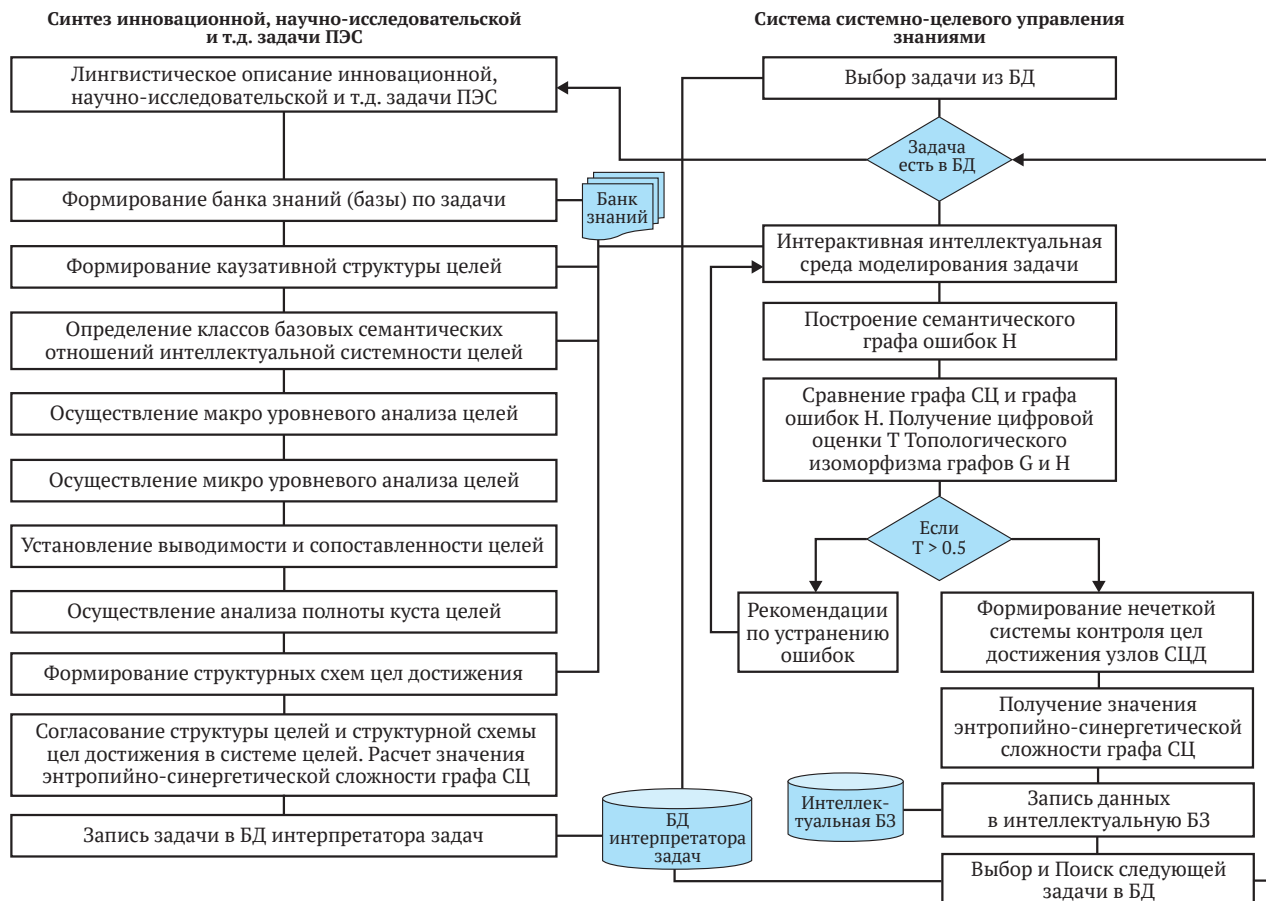


Рис. 6. Инструментальная среда системно-целевого моделирования прикладных задач ПЭС

Fig. 6. The instrumental environment for system-target modeling of production and economic systems applied tasks

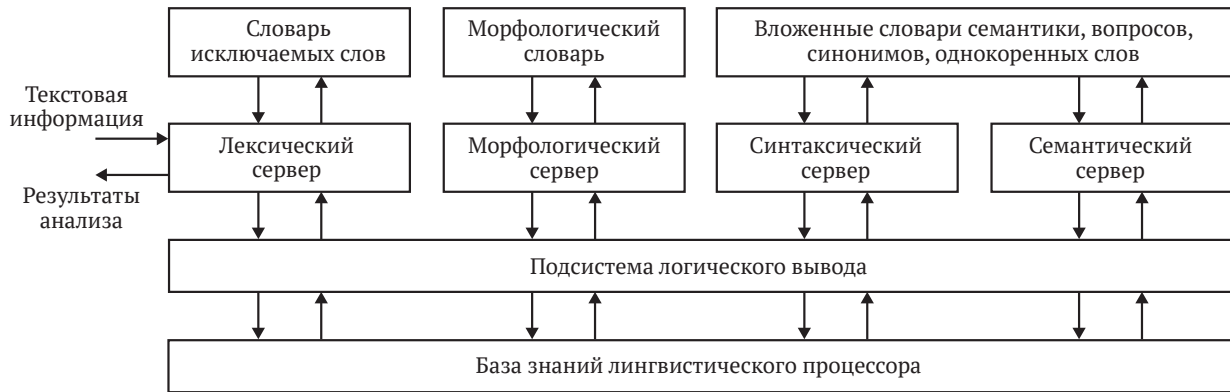


Рис. 7. Интеллектуальный лингвистический процессор

Fig. 7. Intelligent linguistic processor

Разрабатываемый авторами семантический тезаурус (2) на основе интеллектуального лингвистического процессора как компонент семантической среды Семантик-WEB позволит в будущем предоставить научный сервис для постановки и автоматизированной обработки научных задач, больших данных в разных форматах, анализ различных видов информационных контентов (текстовые данные, изображение, видео и т.д.) и построения на их основе комплексных когнитивных карт, интеллектуальных баз знаний [43] и многоцелевых семантических тезаурусов широкого класса предметных областей.

Формальную основу представленной на рис. 6 системно-целевой модели когнитивного каркаса экосистем представляет собой системно-целевой семантический граф  $G^a$  вида:

$$G^a = \langle C, R \rangle, \quad (3)$$

где  $C = \langle c_0, c_{1,j_1}^0, c_{2,j_2}^1, \dots, c_{(m-1),j_{m-1}}^{(m-2)} \rangle$ ,  $C_i = [C_{i,j_1}^{(i-1),j_{i-1}}]$  множество  $j_i$ -х целей  $i$ -го уровня, подчиненных  $j_{i-1}$ -м целям  $(i-1)$ -го уровня, представляет собой множество вершин семантической конструкции, обозначающих целевые маркеры структуры СТРС<sub>ЦА</sub><sup>внут</sup> – целевой каркас когнитивно-синергетической модели экосистем;  $R = \{(C_{i,j_1}^{(i-1),j_{i-1}}, C_{(i+1),j_{i+1}}^{i,j_i})\}$  – множество семантических отношений структуры СТРС<sub>ЦА</sub><sup>внут</sup> целей.

Зададим системно-целевой семантический граф  $G_i^a$  куста цели  $C_i$ :

$$G_i^a = \langle C_i, R_i \rangle, \quad (4)$$

где  $C_i$  – кортеж целей куста,

$$C_i = \langle C_{i,a}^{(i-1),b}, C_{(i+1),d}^{i,a}, \dots, C_{(i+1),d+i_k}^{i,a} \rangle,$$

$C_{i,a}^{(i-1),b}$  – цель,  $C_{(i+1),d}^{i,a}, \dots, C_{(i+1),d+i_k}^{i,a}$  – подцели;  $R_i$  – множество семантических отношений подчинения  $C_{i,a}^{(i-1),b}$  подцелей  $C_{(i+1),d}^{i,a}, \dots, C_{(i+1),d+i_k}^{i,a}$ .

Введем процедуру формального представления целевого состояния семиотической системы  $S_{c_0}(prp)$ :

$$\Pi. prp := f_i[[f_i] \dots [(f_{jk}, f_{jp})] \dots], \quad (5)$$

$$i, j = 1(1)n, k \neq p,$$

где  $(f_{jk}, f_{jp})$  – естественно-языковая формулировка (описание) предметной области в виде предложения цели ( $f_{jk}$ -й и  $f_{jp}$ -й фраз семантического тезауруса  $M$ );  $f_{jp}$  – фраза-ссылка цели на «подцель», семантика и наименование осуществляется на основе имен существительных, прилагательных и числительных.

Определим язык  $L_f$  микроуровневого описания целей (т.е. язык описания фраз, составляющих предложение-цель):

$$L_f(V_T^f, V_N^f, \Pi\Phi, \Pi^f) = \{f_i^k\}, \quad (6)$$

где  $f_i^k$  –  $i$ -я цепочка знаков, реализующая короткую ролевую фразу предложения-цели;  $V_T^f$  – терминальный алфавит,  $V_T^f = \bigcup_{i=1}^8 T_i^f$ , здесь  $T_1^f$  – множество базовых объектов (2);  $T_2^f$  – множество базовых свойств (2);  $T_3^f$  – множество базовых единиц измерения (2);  $T_4^f$  – множество базовых значений (2);  $T_5^f$  – множество ролей;  $T_6^f$  – множество видов свойств;  $T_7^f$  – множество, включающее имена отношений согласования термов во фразе;  $T_8^f$  – одноэлементное множество, включающее знак целевой модальности;  $V_N^f$  – нетерминальный алфавит;  $\Pi\Phi$  – правильная фраза, аксиома грамматики;  $\Pi^f$  – правила образования  $f_i^k$ .

Определим язык  $L_{prp}$  макроуровневого описания предложений-целей  $prp$  вида:

$$L_{prp} = (V_T^{prp}, V_N^{prp}, \Pi\Pi, \Pi^{prp}) = \{prp_i\}, \quad (7)$$

где  $V_T^{prp}$  – алфавит;  $V_T^{prp} = \bigcup_{i=1}^4 T_i^{prp}$ ,  $T_1^{prp}$  – множество ролевых, семантических конструкций;  $T_2^{prp}$  – множество фраз  $f_i^k$  языка  $L$ ;  $T_3^{prp}$  – одноэлемент-

ное множество, включающее имена отношений прагматико-семантической согласованности фаз предложения-цели;  $V_N^{prp}$  – нетерминальный алфавит; ПП – правильное предложение-цель; ПП<sup>prp</sup> – правила образования  $prp_i$ .

Введем процедуру формального представления целевой ситуации семиотической системы  $S_{C_i}$  ( $prpm$ ):

$$\text{П. } prpm := \{\{m_k(f_{ti}^p)\}, \{m_h(f_{ti}^p, f_{ti}^s)\}\dots\}, \quad (8)$$

$$t, i = 1(1)n, \quad k \neq h,$$

где  $\{m_k(f_{ti}^p)\}, \{m_h(f_{ti}^p, f_{ti}^s)\}$  – когнитивные фреймы, соответственно на фразах  $f_{ti}^p$  и парах фраз  $\langle f_{ti}^p, f_{ti}^s \rangle$  – предложения-цели.

В настоящее время на основании модели (8) разработана база знаний, состоящая более чем из 100 когнитивных фреймов [33] (пример, см. таблицу), позволяющих формировать широкий спектр целевых ситуаций в рамках описания различных типов ПЭС, экосистем и других объектов триады экосистем Индустрия 5.0 (см. рис. 4).

Функционирование семиотической системы  $S$  представляет собой многошаговый процесс вывода целей в процессе формирования кустов целей  $G_i^a$ . За один такт функционирования  $S$  получается логически корректный и полный куст целей  $G_i^a$ . За  $p$  тактов функционирования  $S$  происходит формирование логически корректного и полного  $m$ -уровневого графа  $G^a$  с числом кустов  $G_i^a$  равным  $p$ . Переход семиотической системы  $S$  из одного состояния в другое осуществляет на основе операторов  $\Psi_g \in \Psi$  и отношений  $\mathfrak{R}_{C_i}^{\Psi_g}$ .

Каждый оператор  $\Psi_g \in \Psi$  относится к определенным видам цифровой, технологической и других трансформаций (см. пример на рис. 2,

описание некоторых комплексов операторов приведено в работах [2, 3]).

Введем процедуру формального представления операторов  $\Psi_g \in \Psi$  структуры  $G_i^a$  семантического графа  $G^a$ :

$$\text{П}\Psi. \Psi_g^i(E, M_{C_i}, Lprp), \quad g \in \Psi, \quad (9)$$

где  $E$  – модель предметной области, подробно представленная в работе [3];  $M_{C_i}$  – тезаурус целевой ситуации (2) семиотической системы  $S_{C_i}$ ;  $Lprp$  – язык макроуровневого описания предложений-целей (7).

Введем процедуру формального представления множества  $\mathfrak{R}_{C_i}^{\Psi_g}$  семантических отношений структуры  $G_i^a$  семантического графа  $G^a$ :

$$\text{П}\mathfrak{R}. \mathfrak{R}_{C_i}^{\Psi_g}(E, \Psi_g^i, M_{C_i}, Lf), \quad (10)$$

где  $E$  – модель предметной области, подробно представленная в работе [3];  $M_{C_i}$  – тезаурус целевой ситуации (2) семиотической системы  $S_{C_i}$ ;  $Lf$  – язык микроуровневого описания предложений-целей (6).

На основании (9) и (10) переход семиотической системы  $S_{C_0}$  в состояние  $S_{G^a}$  представим в виде преобразования на основе процедуры генезиса знаний [1]:

$$L_{G^a} \prec f_i[[f_i] \dots [(f_{jk}, f_{jp})] \dots] \rangle \xrightarrow{\{\Psi_g^{C_i}, \mathfrak{R}_{C_i}^{\Psi_g}\}} \langle \{M_{G_i^a}, G_i^a\} \rangle, G^a = \{G_i^a\}. \quad (11)$$

В соответствии с (11) переход семиотической системы в состояние  $S_{G^a}$  есть результат многошагового синтеза целей из подцелей, что согла-

Таблица / Table

Пример базы знаний когнитивных фреймов

Example of cognitive frames knowledge base

Индекс отношения	Семантическое отношение	Символическое представление	Класс ситуаций, соответствующих $\Psi_g \in \Psi$
На предложении-цели с:			
01	«быть целевой подсистемой»	$m_1(f_7)$	$\mathfrak{R}_{C_i}^4$ оператор $\Psi_4$
02	«метод – целевая подсистема»	$m_2(f_i, f_7)$	
03	«результат – целевая система»	$m_3(f_7^p, f_7^s), \quad p \neq s$	
04	«быть целевым методом»	$m_4(f_i), \quad i \neq 7$	$\mathfrak{R}_{C_i}^5$ оператор $\Psi_3$
05	«метод – целевая технология»	$m_5(f_i, f_j), \quad i \neq 7, \quad i \neq j$	
06	«результат – целевая технология»	$m_6(f_7, f_i), \quad i \neq 7$	
07	«целевой метод – целевая технология»	$m_7(f_i, f_{ij}), \quad i, j \neq 7$	

суется системной методологией и методологией принятия системных решений [3], в результате которого формируется когнитивный каркас модели экосистемы Индустрии 5.0, позволяющий синтезировать принципиально новый уровень технологичности анализа и синтеза, знаний, соответствующих концепции Индустрии 5.0 и принимаемых на их основе системных решений.

Таким образом, по мнению авторов, предлагаемая системно-целевая модель создания когнитивного каркаса экосистем (см. рис. 5) предоставляет перспективный вариант решения главной системообразующей задачи концепции Индустрии 5.0 – проблемы низкой степени формализуемости целеполагания, осуществляемого в процессах анализа и синтеза целей при создании и функционировании производственно-экономических систем и соответствующих им структур знаний (различных видов и назначений: технологических, социально-экономических и т.д.), свойственных более ранним концепциям Индустрии 1.0–4.0 (см. рис. 2).

В работе [31] отмечается: «...баланс распределения ресурсов  $A, I, S, T$  между компонентами тетрады (внутренний AIST-баланс) достигается путем предоставления для каждой подсистемы доступа ко всем ресурсам  $A, I, S, T$ . Внешний AIST-баланс реализуется: по ресурсам пространства и времени – путем постоянного получения из внешней среды (через средовую подсистему) ресурсов  $S, T$  и возврата ресурса  $T$  через объектную подсистему и ресурса  $S$  через процессную; по ресурсам активности и интенсивности путем разового получения проектной подсистемой из внешней среды запаса ресурсов  $A, I$ , а также предоставления для внешней среды доступа к этим ресурсам через средовую подсистему». В настоящее время, основываясь на данном положении, авторы ведут активные исследования в области применения методов гибридного вычислительного интеллекта для решения задачи расчета и оптимизации AIST-баланса в рамках системно-целевой модели когнитивного каркаса экосистем (см. рис. 5). Результаты исследований авторы надеются представить уже в ближайших научных работах.

Всеобщей количественной мерой неопределенности, непредсказуемости, беспорядка, хаоса, дезорганизованности вероятностных систем является энтропия [44]. Если термодинамическая энтропия есть мера неупорядоченности (или беспорядка) микрочастиц, то энтропия в широком смысле – мера неупорядоченности (беспорядка, несовершенства) объекта по любым признакам. Для расчета эволюционной энтропии  $G^a$  в рамках системно-целевой модели когнитивного кар-

каса экосистем авторами предложена следующая модель:

$$\mathcal{E}(G^a) = \sum_{G_i^a} \Delta \mathcal{E}(G_i^a), \quad (12)$$

где  $\Delta \mathcal{E}(G_i^a) = C + g(AIST, G_i^a)$ , здесь  $C$  – некоторая большая положительная константа;  $g(AIST, G_i^a)$  – функция, рассчитываемая на основе изменений AIST-баланса экосистем в процессе синтеза  $G_i^a$ , которая уменьшается с увеличением  $\Psi_g \in \Psi$  числа операторов метакогнитивной технологичности знаний (см. рис. 2) и соответствующих им когнитивных фреймов применяемых  $\{m_k(f_{ti}^p)\}, \{m_h(f_{ti}^p, f_{ti}^s)\}$  при синтезе  $G_i^a$ .

Суть предлагаемого подхода в области эволюционной энтропии  $G^a$ , заключается в том, что, если для примера рассмотреть каноническую связку цель–подцель когнитивных фреймов

$$M_{C_{i,a}^{(i-1),b}} \xrightarrow{\{\Psi_g^{C_i}, \mathfrak{R}_{C_i}^{\Psi_g}\}} < M_{C_{(i+1),d}^{i,a}},$$

то количество классов ситуаций, соответствующих операторам  $\Psi_g \in \Psi$  индустриальной технологичности знаний (см. табл.), уменьшится и произойдет энтропийный скачок (уменьшение энтропии) за счет появления (синтеза) классов ситуаций, соответствующих операторам  $\Psi_g \in \Psi$  метакогнитивной технологичности знаний и образования на их основе новых интегративных (синергетических, инновационных и т.д.) свойств системы. Например, если из строительных деталей собрать дом или из деталей автомобиля собрать автомобиль, то структурная, в том числе эволюционная, энтропия этих систем уменьшится по сравнению с суммой энтропий деталей. В настоящее время авторы проводят активные научно-прикладные исследования в области разработки моделей (12) эволюционной энтропии  $G^a$  в рамках системно-целевой модели когнитивного каркаса экосистем и надеются представить результаты в ближайших научных работах.

### Апробация

Для тестирования системно-целевой модели создания когнитивного каркаса экосистем был разработан тестовый прототип программно-технического комплекса инструментальной среды «СИТАП-AI» (рис. 8).

На рис. 9 представлен пример системно-целевой модели реиндустриализации агропромышленных комплексов РФ, разработанный на основе системно-целевой модели создания когнитивного каркаса экосистем (см. рис. 5) с использованием программно-технического комплекса «СИТАП-AI».



В настоящее время проводятся активные работы в области систематизации, анализа и исследования разработанных системно-целевых моделей реиндустриализации агропромышленных комплексов (см. рис. 9). В ближайших научных работах авторы надеются предоставить обширные результаты данных исследований.

В рамках данной статьи авторы хотели бы привести пример, полученный в результате обобщенного анализа комплекса системно-целевых моделей реиндустриализации агропромышленных комплексов, в том числе системно-целевой модели, представленной на рис. 9. На рис. 10 показана концептуальная энтропийная модель

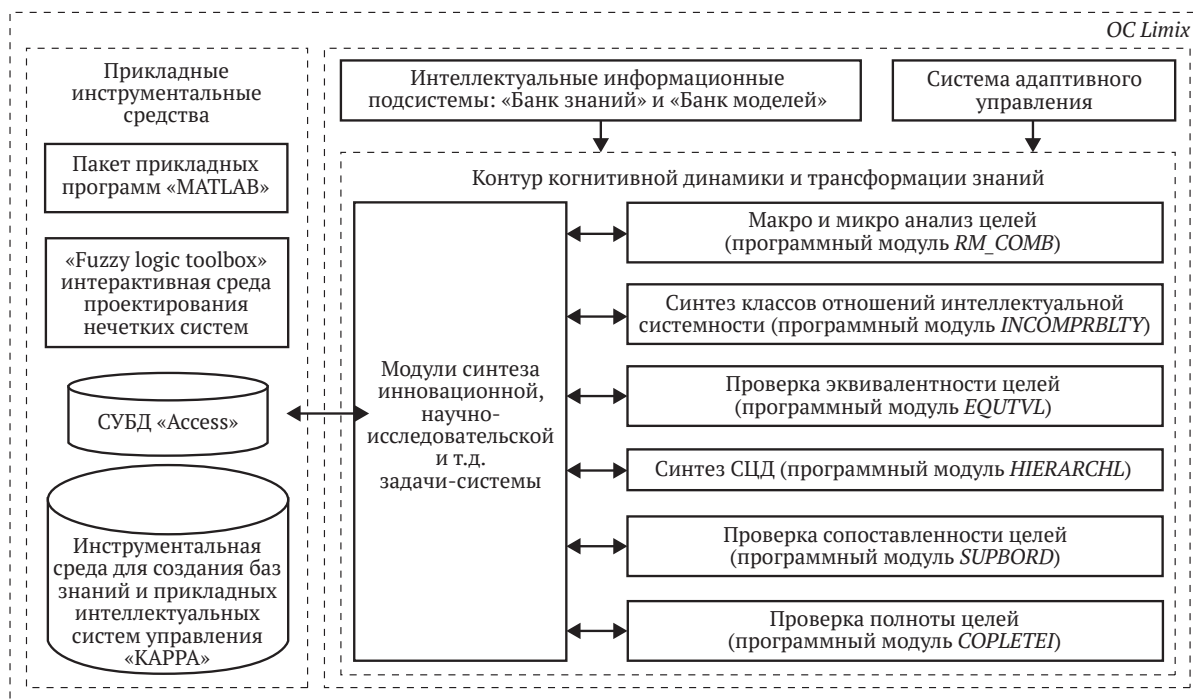


Рис. 8. Архитектура программно-технического комплекса тестирования системно-целевой модели создания когнитивного каркаса экосистем «СИТАП-АИ»

Fig. 8. Architecture of the software and hardware complex for testing the system-target model of creating a cognitive framework for ecosystems "SITAP-AI"

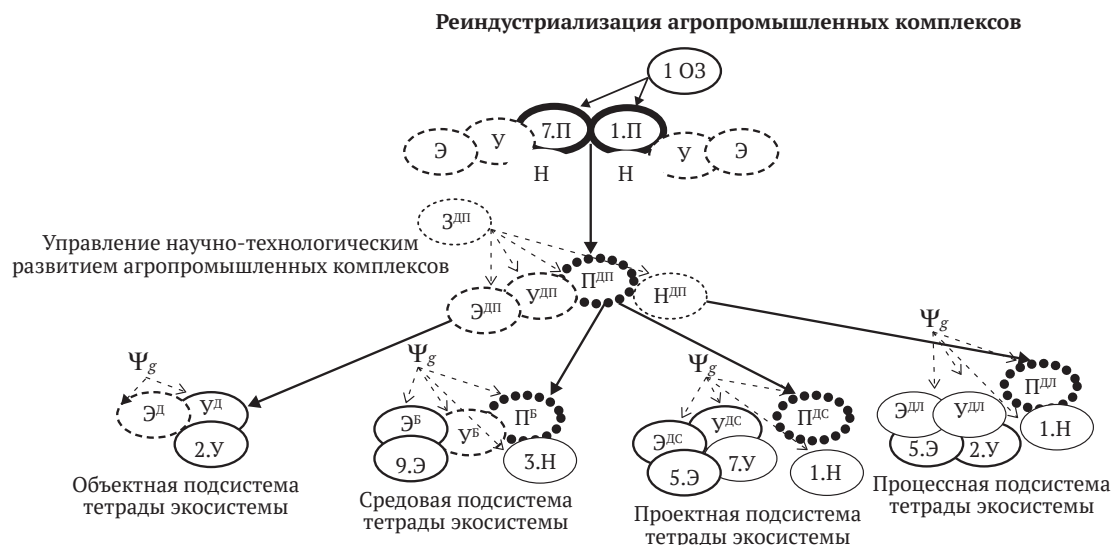


Рис. 9. Пример системно-целевой модели реиндустриализации агропромышленных комплексов

Fig. 9. An example of a system-target model of reindustrialization of agro-industrial complexes

технологичности знаний, полученная для нейро-цифровой модели концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2). С увеличением количества классов  $\mathfrak{K}_{C_i}^{\Psi_g}$  (пример табл.), соответствующих операторам  $\Psi_{3,4} \in \Psi$  индустриальной технологичности знаний (см. рис. 2), наблюдается увеличение энтропии  $\mathfrak{E}(\frac{1}{(A, I)})$ , что свидетельствует об уменьшении эффективности использования (A, I)-компонент тетрады экосистем [32].

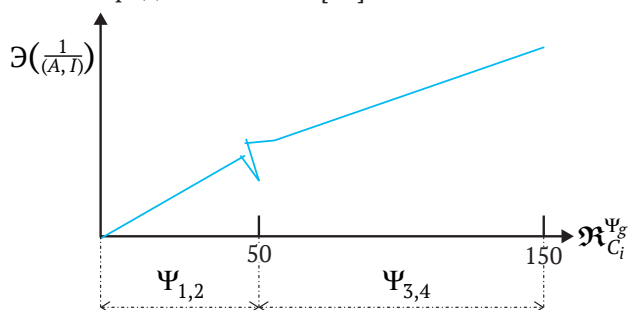


Рис. 10. Энтропийная модель технологичности знаний

Fig. 10. Entropy model of technological effectiveness of knowledge

Представленная на рис. 10 энтропийная модель в настоящее время носит концептуальный характер, так как авторы ведут активные исследования в области расчета и оптимизации AIST-баланса экосистем на основе системно-целевой модели когнитивного каркаса экосистем (см. разд. «Методы»), окончательный вариант которой еще не проработан. Тем не менее анализ представленной на рис. 10 энтропийной модели, полученной на основе большого объема данных, их всестороннего анализа, а также размышлений и дискуссий однозначно подтверждает системообразующее положение (парадигму) как предложенной в работе системно-целевой модели когнитивного каркаса экосистем, так и в целом нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2). Она заключается в том, что Индустрия 5.0 как кибер-социальная система позволяет синтезировать принципиально новый, метакогнитивный, на основе объединения человеческого и машинного интеллекта, уровень технологичности анализа и синтеза, знаний, позволяющий реализовать в будущем концепцию мягкой технологической сингулярности (см. рис. 3).

Неоднозначность поведения энтропийной функции в точке 50 (см. рис. 10), для которой свойственны процессы объединения (пересечения) различных типов  $\Psi_g \in \Psi$  и соответствующих им механизмов трансформации (см. рис. 2), пока могут быть объяснены только большой сложностью и нелинейностью процессов инте-

грированной трансформации на основе объединения (пересечения) различных типов технологичности знаний  $\Psi_g \in \Psi$  и требуют дальнейшего всестороннего исследования.

В настоящее время разработанный комплекс системно-целевых моделей реиндустриализации агропромышленных комплексов (см. рис. 9) используется авторами при проведении системных исследований в области разработки комплексной методологии и прикладных инструментариев для создания нейро-энтропийной модели Индустрия 5.0 (см. рис. 2).

В работе профессора Е.В. Шкарупеты [6] говорится: «Обеспечение перехода к цифровой экономике в условиях реиндустриализации целесообразно осуществлять с использованием разработанной процедуры внедрения цифровых платформ в ПК за счет формирования цифровой экосистемы путем интеграции кросс-отраслевых цифровых платформ основных секторов промышленности». В этой же работе приводится «...процедура внедрения цифровых платформ в ПК, включающая в себя 7 этапов». В рамках одного из центральных, по мнению авторов, этапов данной процедуры, связанной с разработкой первой очереди (каркаса) цифровых платформ авторы приступили к созданию многоцелевой нейро-экосистемной инструментальной среды проектирования цифровых платформ промышленных, в том числе и агропромышленных, комплексов Калининградской области (рис. 11).

Разработка многоцелевой нейро-экосистемной инструментальной среды проектирования цифровых платформ промышленных комплексов ведется на основе междисциплинарного взаимодействия ряда перспективных и прошедших успешную апробацию научно-прикладных направлений (см. рис. 1): гибридные адаптивные интеллектуальные системы, интеллектуальная системотехника, гибридный вычислительный интеллект, нейро-цифровые экосистемы. Междисциплинарное взаимодействие представленных научно-прикладных направлений на основе методов и инструментариев синергетической исследовательской среды (1) позволяет создать принципиально новый тип гибридных цифровых платформ, основанных на синергетическом взаимодействии элементов разных технологий.

Детальное исследование и анализ комплекса системно-целевой модели реиндустриализации агропромышленных комплексов (см. рис. 9) позволили сформулировать перспективный вариант концептуальной модели операционного ядра гибридных цифровых платформ, представленный на рис. 12.

Предлагаемый вариант операционного ядра гибридных цифровых платформ разрабатывается на основе эволюционной модели синергетического гибридного вычислительного интеллекта, обеспечивающего взаимную адаптацию и синергетическое взаимодействие между внутренними компонентами платформ.

### Результаты и обсуждение

1. Представлена эволюция научно-прикладных исследований, проводимых авторским коллективом по направлению искусственный интеллект и цифровая экономика, на основе которых разработана нейро-экосистемная модель концепции Индустрии 5.0.

2. Сформулировано понятие Индустрии 5.0, проведен анализ системно-эволюционного перехода от Индустрии 4.0 к пятому нейро-технологическому укладу Индустрии 5.0.

3. Разработана модель когнитивного каркаса экосистемы, являющаяся системообразующим элементом нейро-экосистемной модели Индустрии 5.0.

4. Предложена модель эволюционной энтропии экосистемы, позволяющая поставить за-

дачу создания нейро-цифровых двойников экосистем на основе модели когнитивного каркаса экосистем.

5. Предложена архитектура программно-технического комплекса тестирования системно-целевой модели создания когнитивного каркаса экосистем «СИТАП-AI».

6. Рассмотрен пример системно-целевой модели реиндустриализации агропромышленных комплексов РФ, разработанный на основе системно-целевой модели создания когнитивного каркаса экосистем с использованием программно-технического комплекса «СИТАП-AI».

7. Рассмотрены вопросы создания многоцелевой нейро-экосистемной инструментальной среды проектирования цифровых платформ промышленных комплексов Калининградской области.

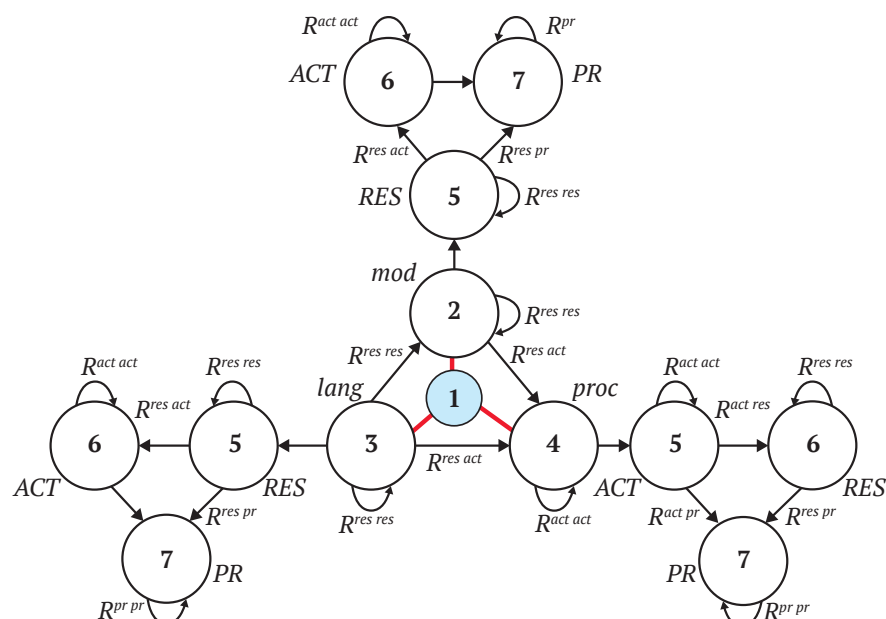
8. Предложен перспективный вариант концептуальной модели операционного ядра гибридных цифровых платформ.

В работе Г. Б. Клейнера [31, с. 11] отмечается: «Следует подчеркнуть, что тетрада, несмотря на ее относительную простоту как малоразмерной модели экосистемы, представляет собой свое-



Рис. 11. Структура многоцелевой нейро-экосистемной инструментальной среды проектирования цифровых платформ промышленных комплексов Калининградской области [1]

Fig. 11. The structure of a multipurpose neuro-ecosystem tool environment for the design of digital platforms for industrial complexes in the Kaliningrad region [1]



**Рис. 12. Перспективный вариант концептуальной модели операционного ядра гибридных цифровых платформ:**

1 – операционный модуль на основе эволюционной модели гибридного вычислительного интеллекта; 2 – модуль системно-целевого моделирования когнитивного каркаса экосистем; 3 – модуль адаптивных систем управления; 4 – модуль синергетической исследовательской среды; 5 – модуль многоагентной когнитивной сети; 6 – модуль генезиса знаний; 7 – модель первичного конструктора гибридных вычислительных схем

Fig. 12. A promising version of the conceptual model of the operational core of hybrid digital platforms: 1 is an operational module based on the evolutionary model of hybrid computing intelligence; 2 is module of system-target modeling of the cognitive framework of ecosystems; 3 is module of adaptive control systems; 4 is module of a synergistic research environment; 5 is module of a multi-agent cognitive network; 6 is module of the genesis of knowledge; 7 is model of the primary designer of hybrid computing circuits

образный микрокосмос, в обобщенном виде отражающий устройство весьма широкого класса систем различного масштаба и характера». В рамках предлагаемой в данной работе нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2) понятие тетрады может рассматриваться уже как универсальная архетипическая модель кибер-социальной системы, представляющей собой уже некий аналог целого «мироздания».

Сложность таких материй обуславливает и сложность процесса их исследования.

Представленная в работе профессора А.В. Бабкина модель декомпозиции архитектуры общества в условиях Индустрии 4.0 [45] как системообразующая платформа для создания кибер-социальных систем Индустрии 5.0 позволила авторам на принципиально новом уровне переосмыслить три центральных закона синергетического гибридного вычислительного интеллекта [2]: 1) взаимной адаптации; 2) дискретных рядов структур и 3) закон трансформаций и начать исследования в области концепции мягкой технологической сингулярности.

В работе вводится понятие Индустрии 5.0 как кибер-социальной системы, позволяющей объединить человеческий и машинный интеллект для создания коллективного супер интеллекта, являясь источником гармоничного технологического развития человеческой цивилизации.

Представленная в работе энтропийная модель технологичности знаний и ее апробация на основе обобщенного анализа комплекса системно-целевых моделей реиндустриализации агро-промышленных комплексов, по мнению авторов, может вызвать интересные научные дискуссии и размышления о природе нейро-экосистемной концепции Индустрия 5.0.

В качестве примера трудностей, с которыми столкнулись авторы в рамках проводимых исследований, представленных в данной работе, приводящих к серьезным ошибкам как теоретического, так и прикладного характера, следует отметить проблемы в области создания прикладного программного обеспечения, играющего важную роль в процессе проведения исследований и создания теоретических моделей



и прикладных инструментариев. Аксиоматическая, формальная и даже философская сложность предлагаемых в работе подходов и моделей, особенно моделей (9)–(11), предполагает применение неординарных программных конструкций и средств их реализации. Для решения данных, по мнению авторов, главных проблем, проведения успешных предстоящих исследований и устранения ошибок в уже представленных в данной работе исследованиях авторы намерены разработать собственный язык и инструментальную среду программирования на основе авторской теории нейро-когнитивного программирования.

### Заключение

В работе сформулирован ряд центральных, системообразующих понятий, подходов, моделей и инструментариев: «Индустрия 5.0», «нейросфера», «нейро-экосистемная модель Индустрия 5.0», «модель когнитивного каркаса экосистем» и т.д. мега концепции Индустрии 5.0.

Предложенные в работе основы нейро-экосистемной модели открывают принципиально новые возможности в области теоретических и прикладных исследований концепции Индустрия 5.0, позволяя обеспечить системно-эволюционный переход от Индустрии 4.0 к пятому, нейро-технологическому укладу Индустрии 5.0.

Важным направлением дальнейших исследований представленной в работе нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2), над которым активно работают авторы, является разработка нейро-цифровых моделей и создание на их основе прикладных нейро-цифровых комплексов (нейроинтерфейсов мозг-компьютер), позволяющих в соответствии с положениями, представленными в работе [5]: *«...интегрировать нейробиологические механизмы человеческой иррациональности и получаемые на их основе нечетко-лингвистические знания, с одной стороны, с рациональными механизмами, и получаемыми на их аналитическими знаниями основе, с другой»*. Это позволит перейти к созданию нейро-цифровых двойников экосистем как системообразующих элементов триады нейро-экосистемной модели Индустрия 5.0 (см. рис. 2).

Еще одним важным этапом, с точки зрения направлений дальнейших прикладных исследований, является создание принципиально новых типов гибридных цифровых платформ, в том числе, на основе многоцелевой нейро-экосистемной, инструментальной среды проектирования цифровых платформ промышленных комплексов Калининградской области (см. рис. 11), и создание на их основе, в соответствии с методологией профессора Е.Л. Шкарупетты [6], цифровых экосистем интегрированных в пулы цифровых платформ. Данные исследования могут стать значимым резервом повышения эффективности создания и управления экосистемами различных типов и назначений, разрабатываемых в рамках нейро-экосистемной модели концепции Индустрия 5.0 (см. рис. 2).

Представленные в работе понятия, подходы, методы и прикладные инструментарии позволят, по мнению авторов, приступить к созданию полной теории и полнофункциональных прикладных инструментариев концепции Индустрии 5.0, создав для российской науки фундаментальный задел и обеспечив ведущие позиции РФ при переходе к пятому нейро-технологическому укладу Индустрии 5.0.

В заключении хочется отметить, что данная статья открывает цикл статей, посвященных созданию концепции Индустрия 5.0, являясь по сути первым опытом объединения усилий авторов концепций стратегирования (В.Л. Квинт), ноономики (С.Д. Бодрунов), системной парадигмы и системной экономики (Г.Б. Клейнер) и авторских работ в области цифровой экономики, гибридного вычислительного интеллекта и метасистемных технологий. Идея объединения взглядов авторов на проблемы создания концепции Индустрия 5.0 имеет целью создать общую научную платформу, обеспечивающую развитие теории и методологии стратегирования на основе метасистемных подходов в области концепции Индустрия 5.0; создание новой концепции развития высокотехнологичной промышленности Индустрия 5.0, методологии и прикладных инструментариев построения новых типов социально-экономических, киберсоциальных, нейро-цифровых экосистем и других направлений исследований.

### Список литературы

1. Федоров А.А., Корягин С.И., Либерман И.В., Клячек П.М., Полупан К.Л. Основы создания нейро-цифровых экосистем. Гибридный вычислительный интеллект. Калининград: БФУ им. И. Канта; 2021. 241 с.

2. Клячек П.М., Полупан К.Л., Корягин С.И., Либерман И.В. Гибридный вычислительный интеллект. Основы теории и технологий создания прикладных систем. 2-е изд., доп. Калининград: БФУ им. И. Канта; 2020. 340 с.

3. Клачек П.М., Корягин С.И., Лизоркина О.А. Интеллектуальная системотехника. Калининград: БФУ им. И. Канта; 2015. 214 с.
4. Клачек П.М., Корягин С.И., Колесников А.В., Минкова Е.С. Гибридные адаптивные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. Калининград: БФУ им. И. Канта; 2011. 374 с.
5. Федоров А.А., Либерман И.В., Корягин С.И., Клачек П.М. Технология проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2021;(3):19–39. <https://doi.org/10.18721/JE.14302>
6. Шкарупета Е.В. Управление развитием промышленных комплексов в условиях реиндустриализации. Дис. ... д-ра экон. наук. М.: НИТУ «МИСиС»; 2019. 356 с.
7. Mulgan G. Big Mind: How Collective Intelligence Can Change Our World. Princeton: Princeton University Press; 2017. 280 p. <https://doi.org/10.1515/9781400888511>
8. Тарасов И.В. Технологии индустрии 4.0: Влияние на повышение производительности промышленных компаний. *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2018;(2):62–69. <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-2-62-69>
9. Четвертая промышленная революция: реалии и современные вызовы. 10-е юбилейные Санкт-Петербургские социологические чтения: сборник материалов Международной научной конференции. СПб.: Политех; 2018. 896 с.
10. Цифровая экономика и «Индустрия 4.0»: проблемы и перспективы. Труды научно-практической конференции с международным участием / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. СПб.: Политех; 2017. 685 с.
11. Schumacher A., Schumacher C., Sihn W. Industry 4.0 operationalization based on an integrated framework of industrial digitalization and automation. In *Proceedings of the International Symposium for Production Research*. Vienna, Austria; 2019:301–310. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31343-2\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31343-2_26)
12. Gajdzik B. Development of business models and their key components in the context of cyber-physical production systems in Industry 4.0. *Scalability and Sustainability of Business Models in Circular, Sharing and Networked Economies*. Newcastle: Cambridge Scholars Publ.; 2020:73–94.
13. What is Industrie 4.0. URL: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html> (дата обращения: 25.09.2019).
14. Luthra S., Mangla S. Evaluating challenges to industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environment Protection*. 2018;117:168–179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
15. Бабкин А.В., Алексеева Н.С. Тенденции развития цифровой экономики на основе исследования наукометрических баз данных. *Экономика и управление*. 2019;(6):16–25. <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2019-6-16-25>
16. Полупан К.Л., Корягин С.И., Клачек П.М. Технология продвижения инновационных разработок, продукции и наукоемких услуг как инструмент создания цифровой интеллектуальной платформы «промышленность будущего. Промышленная политика в цифровой экономике: проблемы и перспективы: труды научно-практической конференции с международным участием / под ред. А.В. Бабкина. СПб.: Политех; 2017:123–129. <https://doi.org/10.18720/IER/2017.5/18>
17. Андиева Е.Ю., Фильчакова В.Д. Цифровая экономика будущего. Индустрия 4.0. *Прикладная математика и фундаментальная информатика*. 2016;(3):214–218.
18. Bonnaud S., Didier C. Industrie 4.0 & Fabrication Cognitive. Cas d'usage, Patterns d'Architecture, Solutions IBM. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/N8DLLD6A> (дата обращения: 18.05.2020).
19. Буданов В.Г. Перспективы цифровой реальности XXI века. *Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности*. 2018;(1):141–146. <https://doi.org/10.20948/future-2018-20>
20. Lambon Ralph M.A. Neural basis of memory. In: Duffau H. (eds) *Brain Mapping*. Vienna: Springer; 2011:145–154. [https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0723-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0723-2_11)
21. Schuld M., Sinayskiy I., Petruccione F. An introduction to quantum machine learning. *Contemporary Physics*. 2015;56(2):172–185. <https://doi.org/10.1080/00107514.2014.964942>
22. Gouaillier D., Hugel V., Blazevec P. Mechatronic design of NAO humanoid. *International Conference on Robotics and Automation*. Kobe, Japan; 2009. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2009.5152516>
23. Квинт В.Л. Стратегическое управление и экономика на глобальном формирующемся рынке. М.: Бизнес Атлас; 2012. 627 с.
24. Квинт В.Л. Концепция стратегирования. СПб.: СЗИУ РАНХиГС; 2020. Т. 2. 164 с.
25. Жульков М.В. Ноосферное развитие: становление коллективного разума и социальной автотрофности. *Личность. Культура. Общество*. 2010;2(55-56):267–272.
26. Смирнов Г.С. Ноосферное сознание и ноосферная реальность: философские проблемы ноосферного универсума. Иваново: Иван. гос. ун-т; 1998. 244 с.
27. Allen C., Wallach W., Smit I. Why machine ethics? *IEEE Intelligent Systems*. 2006;(4):12–17. <https://doi.org/10.1109/MIS.2006.83>
28. Клачек П.М., Бабкин А.В., Либерман И.В. Функциональная гибридная интеллектуальная система принятия решений для трудноформализуемых производственно-экономических задач в цифровой экономике. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2019;(1):21–32. <https://doi.org/10.18721/JE.12102>

29. Клачек П.М., Полупан К.Л., Либерман И.В. Цифровизация экономики на основе системно-целевой технологии управления знаниями. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2019;(3):9–19. <https://doi.org/10.18721/JE.12301>

30. Полупан К.Л., Корягин С.И., Клачек П.М. Развитие методов цифровой экономики на основе гибридного вычислительного интеллекта. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2018;(1):9–18. <https://doi.org/10.18721/JE.11101>

31. Клейнер Г.Б. Социально-экономические экосистемы в свете системной парадигмы. *Системный анализ в экономике – 2018: сборник трудов 5-й Международной научно-практической конференции* / под общ. ред. Г.Б. Клейнера, С.Е. Щепетовой. М.: Прометей; 2018. С. 5–14.

32. Клейнер Г.Б. Социально-экономические экосистемы в контексте дуального пространственно-временного анализа. *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2018;5(5):5–13.

33. Макаров В.Л., Клейнер Г.Б. Микроэкономика знаний. М.: Экономика; 2007. 204 с.

34. Moore J.F. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard Business Review*. 1993;71(3):75–86. <https://hbr.org/1993/05/predators-and-prey-a-new-ecology-of-competition> (дата обращения: 15.09.2021).

35. Iansiti M., Levien R. The keystone advantage: what the new dynamics of business ecosystems mean for strategy, innovation, and sustainability. Boston: Harvard Business School; 2004. 304 p.

36. Teece D. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management*. 2007;28(13):1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>

37. Adomavicius G., Bockstedt J., Gupta A., Kauffman R.J. Technology roles and paths of influence in an

ecosystem model of technology evolution. *Information Technology and Management*. 2007;8(2):185–202. <https://doi.org/10.1007/s10799-007-0012-z>

38. Adner R. Ecosystem as structure: an actionable construct for strategy. *Journal of Management*. 2017;43(1):39–58. <https://doi.org/10.1177/0149206316678451>

39. Cusumano M., Iansiti M., Jacobides M.G., Cennamo C., Feiler D., Gawer A., Rietveld J. Ecosystem, platform and industry architecture research: re-focusing the agenda. *Academy of Management*. 2015;(1):4–49. <https://doi.org/10.5465/ambpp.2015.11552symposium>

40. Jordan M., Haladyn J. Simulation, simulacra and solaris. *Film Philosophy*. 2010;14(1): 253–273. <https://doi.org/10.3366/film.2010.0009>

41. Клачек П.М., Полупан К.Л., Либерман И.В. Разработка синергетической исследовательской среды для моделирования сложных производственно-экономических систем. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2019;12(2):112–117. <https://doi.org/10.18721/JE.12211>

42. James A. Introduction and overview to the semantic web. *The 6<sup>th</sup> International Semantic Web Conference and the 2<sup>nd</sup> Asian Semantic Web Conference*. 2007. URL: [http://videolectures.net/iswc07\\_hendler\\_ios/](http://videolectures.net/iswc07_hendler_ios/) (дата обращения: 15.09.2021).

43. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Лань; 2020. 324 с.

44. Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. М.: Наука; 2006. 192 с.

45. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Костень Д.Г., Воробьев Ю.Н. Формирование цифровой экономики в России: сущность, особенности, техническая нормализация, проблемы развития. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2017;10(3):9–25. <https://doi.org/10.18721/JE.10301>

## References

1. Fedorov A.A., Koryagin S.I., Liberman I.V., Klachek P.M., Polupan K.L. The basics of creating neuro-digital ecosystems. Hybrid computational intelligence. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University; 2021. 241 p. (In Russ.)

2. Klachek P.M., Polupan K.L., Koryagin S.I., Liberman I.V. Hybrid computing intelligence. Fundamentals of theory and technology for creating applied systems. 2<sup>nd</sup> ed. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University; 2020. 340 p. (In Russ.)

3. Klachek P.M., Koryagin S.I., Lizorkina O.A. Intelligent systems engineering. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University; 2015. 214 p. (In Russ.)

4. Klachek P.M., Koryagin S.I., Kolesnikov A.V., Minkova E.S. Hybrid adaptive intelligent systems. Development theory and technology. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University; 2011. 374 p. (In Russ.)

5. Fedorov A.A., Liberman I.V., Koryagin S.I., Klachek P.M. Neuro-digital ecosystem design technology for the implementation of the industry 5.0 concept. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2021;(3):19–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.18721/JE.14302>

6. Shkarupeta Ye.V. Management of the development of industrial complexes in the context of reindustrialization. Dis. Dr. Sci. (Econ.). Moscow: NUST MISIS; 2019. 356 p. (In Russ.)

7. Mulgan G. Big Mind: How Collective Intelligence Can Change Our World. Princeton: Princeton University Press; 2017. 280 p. <https://doi.org/10.1515/9781400888511>

8. Tarasov I.V. Technologies of 4.0 industry: impact on the performance improvement of industrial companies. *Strategic Decisions and Risk Management*. 2018;(2):62–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-2-62-69>

9. The fourth industrial revolution: realities and modern challenges. *X Anniversary St. Petersburg Sociological Readings: Collection of Materials of the International Scientific Conference*. St. Petersburg: Polytech; 2018. 896 p. (In Russ.)



10. Babkin A.V. (ed.). Digital Economy and Industry 4.0: Problems and Prospects. *Proceedings of a Scientific-Practical Conference with International Participation*. St. Petersburg: Polytech; 2017. 685 p. (In Russ.)
11. Schumacher A., Schumacher C., Sihn, W. Industry 4.0 operationalization based on an integrated framework of industrial digitalization and automation. In *Proceedings of the International Symposium for Production Research*. Vienna, Austria; 2019:301–310. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31343-2\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31343-2_26)
12. Gajdzik B. Development of business models and their key components in the context of cyber-physical production systems in Industry 4.0. *Scalability and Sustainability of Business Models in Circular, Sharing and Networked Economies*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing; 2020, pp. 73–94.
13. What is Industrie 4.0? URL: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html> (accessed on 25.09.2019).
14. Luthra S., Mangla S. Evaluating challenges to industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environment Protection*. 2018;(117):168–179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
15. Babkin A.V., Alekseeva N.S. Trends in the development of the digital economy based on a study of scientometric databases. *Economics and Management*. 2019;(6):16–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2019-6-16-25>
16. Polupan K.L., Koryagin S.I., Klachek P.M. Technology for promoting innovative developments, products and knowledge-intensive services as a tool for creating a digital intelligent platform “industry of the future”. In: Babkin A.V. (ed.). *Industrial policy in the digital economy: Problems and prospects: Proceedings of a Scientific and Practical Conference with International Participation*. St. Petersburg: Polytech; 2017, pp. 123–129. (In Russ.). <https://doi.org/10.18720/IEP/2017.5/18>
17. Andiyeva Ye.Yu., Filchakova V.D. Digital economy of the future. Industry 4.0. *Applied Mathematics and Fundamental Informatics*. 2016;(3):214–218. (In Russ.)
18. Bonnaud S., Didier C. Industrie 4.0 & Fabrication Cognitive. Cas d’usage, Patterns d’Architecture, Solutions IBM. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/N8DLLD6A> (accessed on 18.05.2020).
19. Budanov V.G. Digital-reality perspectives of the XXI century. *Designing the Future. Problems of Digital Reality*. 2018;(1):141–146. (In Russ.). <https://doi.org/10.20948/future-2018-20>
20. Lambon Ralph M.A. Neural basis of memory. In: Duffau H. (eds) *Brain Mapping*. Vienna: Springer; 2011, pp. 145–154. [https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0723-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0723-2_11)
21. Schuld M., Sinayskiy I., Petruccione F. An introduction to quantum machine learning. *Contemporary Physics*. 2015;56(2):172–185. <https://doi.org/10.1080/00107514.2014.964942>
22. Gouaillier D., Hugel V., Blazevic P. Mechatronic design of NAO humanoid. *International Conference on Robotics and Automation*. Kobe, Japan; 2009. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2009.5152516>
23. Kvint V.L. Strategic management and economics in a global emerging market. Moscow: Biznes Atlas; 2012. 627 p. (In Russ.)
24. Kvint V.L. Strategizing concept. St. Petersburg: RANEPa; 2020. 164 p. (In Russ.)
25. Zhulkov M.V. Noospheric development: the formation of collective intelligence and social autotrophy. *Lichnost. Kultura. Obshchestvo = Personality. Culture. Society*. 2010;2(55-56):267–272. (In Russ.)
26. Smirnov G.S. Noospheric consciousness and noospheric reality: philosophical problems of the noospheric universe. Ivanovo: Ivanovo State University; 1998. 244 p. (In Russ.)
27. Allen C., Wallach W., Smit I. Why machine ethics? *IEEE Intelligent Systems*. 2006;(4):12–17. <https://doi.org/10.1109/MIS.2006.83>
28. Klachek P.M., Babkin A.V., Liberman I.V. Functional hybrid intelligent decision making system for hard to formalize productional and economic problems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2019;(1):21–32. (In Russ.). <https://doi.org/10.18721/JE.12102>
29. Klachek P.M., Polupan K.L., Liberman I.V. Digitalization of economy based on systemic target technology of knowledge management. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2019;(3):9–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.18721/JE.12301>
30. Polupan K.L., Koryagin S.I., Klachek P.M. Development of digital economy methods based on hybrid computing intelligence. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2018;(1):9–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.18721/JE.11101>
31. Kleiner G.B. Socio-economic ecosystems in the light of the systems paradigm. *Systems Analysis in Economics – 2018: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference*. Moscow: Prometey; 2018:5–14. (In Russ.)
32. Kleiner G.B. Socio-economic ecosystems in the context of the dual spatial-temporal analysis. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2018;5(5):5–13. (In Russ.)
33. Makarov V.L., Kleiner G.B. Knowledge-based microeconomy. Moscow: Ekonomika; 2007. 204 p. (In Russ.)
34. Moore J.F. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard Business Review*. 1993;71(3):75–86. <https://hbr.org/1993/05/predators-and-prey-a-new-ecology-of-competition> (accessed on 15.09.2021).
35. Iansiti M., Levien R. The keystone advantage: what the new dynamics of business ecosystems mean for strategy, innovation, and sustainability. Harvard: Harvard Business School; 2004. 304 p.
36. Teece D. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management*. 2007;28(13):1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
37. Adomavicius G., Bockstedt J., Gupta A., Kauffman R.J. Technology roles and paths of influence in an



ecosystem model of technology evolution. *Information Technology and Management*. 2007;8(2):185–202. <https://doi.org/10.1007/s10799-007-0012-z>

38. Adner R. Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. *Journal of Management*. 2017;43(1):39–58. <https://doi.org/10.1177/0149206316678451>

39. Cusumano M., Iansiti M., Jacobides M.G., Cennamo C., Feiler D., Gawer A., Rietveld J. Ecosystem, platform and industry architecture research: re-focusing the agenda. *Academy of Management*. 2015;(1):4–49. <https://doi.org/10.5465/ambpp.2015.11552symposium>

40. Jordan M., Haladyn J. Simulation, simula-cra and solaris. *Film Philosophy*. 2010;14(1):253–273. <https://doi.org/10.3366/film.2010.0009>

41. Klachek P., Polypan K., Liberman I. Development of a synergetic research environment for modeling complex productive and economic systems. *St.*

*Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2019;12(2):112–117. (In Russ.). <https://doi.org/10.18721/JE.12211>

42. James A. Introduction and overview to the semantic web. *The 6<sup>th</sup> International Semantic Web Conference and the 2<sup>nd</sup> Asian Semantic Web Conference*. 2007. [http://videolectures.net/iswc07\\_hendler\\_ios/](http://videolectures.net/iswc07_hendler_ios/) (accessed on 15.09.2021).

43. Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I. Knowledge engineering. Models and Methods. St. Petersburg: Lan'; 2020. 324 p. (In Russ.)

44. Volkenshteyn M.V. Entropy and information. Moscow: Nauka; 2006. 192 p. (In Russ.)

45. Babkin A.V., Burkaltseva D.D., Kosten D.G., Vorobyev Yu.N. Formation of digital economy in Russia: essence, features, technical normalization, development problems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2017;10(3):9–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.18721/JE.10301>

### Информация об авторах

**Бабкин Александр Васильевич** – д-р экон. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6532-3826>; e-mail: al-vas@mail.ru

**Федоров Александр Александрович** – д-р филос. наук, ректор Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, 236041, Калининград, ул. Александра Невского, д. 14, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5501-3149>; e-mail: AIAFedorov@kantiana.ru

**Либерман Ирина Владимировна** – канд. физ.-мат. наук, зам. директора инженерно-технического института, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 236041, Калининград, ул. Александра Невского, д. 14, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5121-3183>; e-mail: iliberman@kantiana.ru

**Клачек Павел Михайлович** – канд. техн. наук, доцент, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 236041, Калининград, ул. Александра Невского, д. 14, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6185-0349>; e-mail: pklachek@mail.ru

### Information about authors

**Aleksandr V. Babkin** – Dr.Sci. (Econ.), Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg 195251, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6532-3826>; e-mail: al-vas@mail.ru

**Aleksandr A. Fedorov** – Dr.Sci. (Ph.), Rector of Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5501-3149>; e-mail: AIAFedorov@kantiana.ru

**Irina V. Liberman** – PhD (Phys.-Math.), Deputy Head of the Institute of Engineering and Technology, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5121-3183>; e-mail: iliberman@kantiana.ru

**Pavel M. Klachek** – PhD (Eng.), Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6185-0349>; e-mail: pklachek@mail.ru

Поступила в редакцию 02.10.2021; поступила после доработки 05.12.2021; принята к публикации 16.12.2021  
Received 02.10.2021; Revised 05.12.2021; Accepted 16.12.2021