

DOI: 10.18721/JE.14302
УДК 351.85

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЙРО-ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИЯ 5.0

Федоров А.А., Либерман И.В., Корягин С.И., Клачек П.М.

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,
Калининград, Российская Федерация

В работе рассмотрены основы создания технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции «Общество и Индустрия 5.0». Данная научная статья открывает цикл работ посвященных, актуальной и перспективной проблематике создания прорывных методологических и технологических подходов и инструментариев для пятой промышленной революции «Индустрия 5.0». Представлена когнитивная модель трансформации промышленности «Индустрия 5.0». Рассмотрена эволюция научно-прикладных исследований, проводимых авторским коллективом, начиная с 1997 г. по направлению искусственный интеллект и цифровая экономика. Приведена структура нейро-цифровых экосистем для реализации концепции «Индустрия 5.0», а также концептуальная модель цифровой экосистемы производственно-экономических систем различных видов и назначений, создаваемых в рамках концепции «Индустрии 5.0». Рассмотрена инструментальная среда системно-целевого моделирования прикладных задач, являющаяся частью синергетической исследовательской среды цифровой технологии-платформы поддержки принятия решений информационно-аналитического центра губернатора Калининградской области. Рассмотрен комплекс методов трансформации математических знаний, позволяющий создавать гибридные вычислительные схемы для интеллектуального моделирования сложных производственно-экономических систем в промышленности. Применение предложенного комплекса методов позволяет органически интегрировать в фундаментальные аналитические зависимости двухуровневых гибридных вычислительных схем методы искусственного интеллекта и, таким образом, создать принципиально новые, высоко адаптивные системы управления различных классов и назначений для широкого круга производственно-экономических систем. Представлена архитектура программно-технического комплекса инструментальной проектирования нейро-цифровых экосистем «СИТАП-АИ». Тестовая апробация технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции «Индустрия 5.0» на базе инструментальной среды «СИТАП-АИ» проведена в рамках программы по созданию информационно-аналитического центра губернатора Калининградской области как часть Федеральной целевой программы «Электронная Россия». С целью промышленной апробации технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции «Индустрия 5.0», авторский коллектив, совместно со специалистами Kia Motors Corporation, начал работы по созданию инновационного центра, а также технологии синтеза инновационных разработок, продукции и наукоемких услуг. Данная технология предполагает возможность комплексирования различных методов и прикладных инструментариев с последующей генерацией специализированных технологических цепочек нового поколения. Это позволяет аккумулировать передовые достижения в области науки, базовых и критических промышленных технологий, обеспечивая генерацию новых знаний в меж-, мульти- и трансдисциплинарных областях для решения сложных инженерно-конструкторских и производственно-экономических задач.

Ключевые слова: цифровая экосистема, производственно-экономические системы, искусственный интеллект, трансформация знаний, экономика знаний

Ссылка при цитировании: 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. Т. 14, № 3. С. 19–39. DOI: 10.18721/JE.14302

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

NEURO-DIGITAL ECOSYSTEM DESIGN TECHNOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF THE INDUSTRY 5.0 CONCEPT

A.A. Fedorov, I.V. Liberman, S.I. Koryagin, P.M. Klachek

Immanuel Kant Baltic Federal University,
Kaliningrad, Russian Federation

The paper considers the basics of creating a technology for designing neuro-digital ecosystems for the implementation of the concept of Society and Industry 5.0. This scientific article opens a series of works devoted to relevant and promising problems of creating breakthrough methodological and technological approaches and tools for the fifth industrial revolution Industry 5.0. The cognitive model of industry transformation Industry 5.0 is presented. The evolution of scientific and applied research carried out by the team of authors since 1997 in the direction of artificial intelligence and digital economy is considered. The authors present the structure of neuro-digital ecosystems for the implementation of the concept of Industry 5.0, as well as a conceptual model of a digital ecosystem of production and economic systems of various types and purposes created within the framework of the concept of Industry 5.0. An instrumental environment for system-target modeling of applied problems is considered, which is part of a synergistic research environment of digital technology-decision support platform of the information and analytical center of the governor of the Kaliningrad region. A set of methods for transforming mathematical knowledge is considered, which makes it possible to create hybrid computing schemes for intelligent modeling of complex production and economic systems in industry. The use of the proposed set of methods makes it possible to organically integrate artificial intelligence methods into the fundamental analytical dependencies of two-level hybrid computing schemes, and thus create fundamentally new, highly adaptive control systems of various classes and purposes for a wide range of production and economic systems. The architecture of the software and hardware complex for instrumental design of neuro-digital ecosystems "SITAP -AI" is presented. Test approbation of the technology for designing neuro-digital ecosystems based on the "SITAP-AI" instrumental environment was carried out within the framework of the program to create an information and analytical center for the Governor of the Kaliningrad Region as part of the Federal Target Program "Electronic Russia". With the aim of industrial testing of the technology for designing neuro-digital ecosystems, the team of authors, together with specialists from the Kia Motors Corporation, began joint work on the creation of an innovation center, as well as a technology for the synthesis of innovative developments, products and science-intensive services. The technology implies the possibility of integrating various methods and applied tools with the subsequent generation of specialized technological chains of a new generation. This allows the accumulation of advanced achievements in the field of science, basic and critical industrial technologies, providing the generation of new knowledge in inter-, multi- and transdisciplinary fields for solving complex engineering and design, and production and economic problems.

Keywords: digital ecosystem, production and economic systems, artificial intelligence, knowledge transformation, knowledge economy

Citation: A.A. Fedorov, I.V. Liberman, S.I. Koryagin, P.M. Klachek, Neuro-digital ecosystem design technology for the implementation of the Industry 5.0 concept, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 14 (3) (2021) 19–39. DOI: 10.18721/JE.14302

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

В работе [1] отмечается: "Новая промышленная революция в настоящее время представляет собой пересечение трех областей: исследование, конструирование, проектирование в виде конвергенции и синергии, цифровых платформ, больших данных, интеллектуальных помощников, умного дизайна и умного производства", – данная формулировка, по сути является системообразующей основой, для большого количества активно разрабатываемых как в России, так и за рубежом, методов и инструментариев прорывного развития промышленных предприятий в условиях четвертой промышленной революции. В работе [2] авторами показано, что в условиях развития цифровой экономики высокая эффективность и быстрое масштабирование превратили биз-

нес-экосистемы в новый способ организации экономической деятельности. Модель декомпозиция архитектуры общества в условиях четвертой промышленной революции, предложенная в работе [3], являющаяся по сути Библией в области схмотехнического, социально-экономического представления архитектуры общества в рамках развития концепции Индустрия 4.0, определяет одной из самых сложных задач, в условиях новых промышленных революций, задачу правильной организации метауровневых систем управления производственно-экономическими системами. Создание метауровневых систем управления предполагает интеграцию на мезо-, макро- и мегауровнях, следующих передовых, производственных технологий:

- (Advanced Simulation & Advanced Optimization) – Driven Design & Manufacturing: CAD / CAE / FEA / CFD / FSI / MBD / EMA / CAO / HPC / PDM / PLM ... MES / ERP / CRM ...;
- технологий искусственного интеллекта и инженерии знаний;
- аддитивные и гибридные технологии;
- новые материалы: композиты, полимеры, керамика, сплавы, металлопорошки, метаматериалы;
- Smart Big Data на входе, и на выходе как основа для Advanced Predictive Engineering Analysis;
- Analytics;
- ICS, сенсорика, промышленная робототехника, индустриальный Интернет и др.

Разработанные к настоящему времени методы, подходы и инструментарии системной интеграции (системного инжиниринга) на основе данных технологий, в рамках концепции Индустрия 4.0., предполагают возможность комплексирования различных методов и прикладных инструментариев с последующей генерацией специализированных технологических цепочек нового поколения [4], позволяя аккумулировать передовые достижения в области науки, базовых и критических промышленных технологий [5], и таким образом поставить задачу создания мета-когнитивных систем управления [6], как основу для перехода к концепции новой промышленной революции – Индустрия 5.0.

В то время как цифровая экономика и промышленная революция на основе концепции Индустрия 4.0 вывела, на основе глобальной цифровизации данных [7], на передний фронт производства автоматизированные системы и промышленные роботы [5], а также системы промышленных интернет вещей, промышленная революция на основе концепции Индустрия 5.0 сделает «сотрудничество» людей и машин значительно более продуктивным [8]. Реализовав потенциал мета-когнитивных систем управления, в рамках промышленной революции на основе концепции Индустрии 5.0, человечество получит интеллектуальные системы с когнитивными навыками мышления человеческого мозга [9], что приведет к возможности и необходимости цифровизации не просто данных, а намного более сложных информационных структур в виде знаний, идей, мыслей и создание на основе этого персонифицированных алгоритмов для управления техническими, промышленными и т. д. системами, позволяющими создавать продукты и услуги под конкретного потребителя (человека) [10]. Решение задачи создания мета-когнитивных систем управления производственно-экономическими системами, как одной из центральных проблем концепции Индустрии 5.0, возможно по мнению авторов, на основе нейро-цифровых экосистем.

Представленная в работе модель нейро-цифровой экосистемы, представляющей собой мета когнитивный компонент киберсоциальной системы [11], включающий следующие базовые уровни:

- операционный (управление процессами когнитивного генезиса знаний [12]; управление цифровым и нейро-цифровым пространством данных [13]; базами, кубами и нейро-хранилищами данных и знаний [14]);
- технологический (преобразование и нейро-цифровую трансформацию информации, данных и знаний) [15].

- социализирующий – (организация киберсоциального взаимодействия индивидумов в нейро-цифровой экосистеме) [16];
- научно-образовательный – (организация нейро-цифровой, образовательной и научно-исследовательской синергетической среды) [17];
- 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) [18].

Предлагаемая в работе модель нейро-цифровой экосистемы включает в себя все многообразие информационных технологий, киберпространство, и имеет структуру (цифровая образовательная, академическая экосистема; синергетическая, нейро-цифровая исследовательская экосистема; нейро-цифровые человеко-машинные интерфейсы; нейро-цифровое конструкторское бюро), инфроструктуру (мета когнитивное, операционное ядро «Гибридный вычислительный интеллект [9]») и ультраструктуру (нейро-цифровая экосистема и инфосфера [19]).

Операционное ядро создаваемой нейро-цифровой экосистемы основано на применении методов гибридного вычислительного интеллекта, обеспечивающего нейро-цифровую (информации, данных, знаний, идей, мыслей и т. д.) трансформацию и когнитивный генезис на разных уровнях нейро-цифровой экосистемы. Реализация операционного ядра по мнению авторов, должна включать следующие этапы:

1. Создание когнитивной, самоорганизующейся экосистемы, подразумевающей принципиально новый вид интеллектуального взаимодействия человека и окружающих его информационных, технических, технологических и т. д. систем [20]. Информационные, технические, технологические и т. д. системы и комплексы должны быть наделены интеллектуальными (когнитивными) возможностями, а также способностью к адаптации и самоорганизации [21, 22].
2. Должна быть реализована возможность принципиально нового человеко-машинного интерфейса (взаимодействия), в естественно-языковой форме, максимально приближенной к языку предметной области [23].
3. Необходимо реализовать принципиально новую мета когнитивную систему управления когнитивными агентами. В рамках которой, с применением последних достижений в области гибридного искусственного интеллекта, будет реализована возможность, на нейро-цифровых технологиях, поиска системообразующих факторов и переменных [9] в разных производственно-экономических ситуациях [24, 25] (естественно, отбрасывая лишнее), решить проблему когнитивных отклонений и таким образом принимать принципиально новые, качественные решения в процессе управления производственно-экономическими системами.

Реализация нейро-цифровых экосистем, потребует создания принципиально новых математических и инструментальных подходов и методов [9]. С формальной точки зрения, материальный мир по сути – это набор математических зависимостей (дифференциальное исчисление, линейная алгебра и т. д.), и реализующих их программных алгоритмов, с другой стороны интеллектуальный мир (когнитивное мышление) людей, как показывает практика может быть успешно реализован с применением методов искусственного интеллекта (нечёткая логика, нейронные сети и т. д.). Таким образом, возникает задача кардинального пересмотра традиционных подходов синтеза математических знаний и соответствующих им моделей производственно-экономических, технических и т. д. систем, с переменной, когнитивной структурой, способной к эволюции и трансформации знаний, и создания на их основе принципиально новых цифровых экосистем для реализации концепции Индустрии 5.0.

Цель исследования

Цель настоящего исследования заключается в разработке технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0, которая позволит создать кон-

цепцию развития промышленности РФ в условиях перехода к Индустрии 5.0, обеспечив технологическое обновление традиционных отраслей продвижение российских технологий на новые глобальные рынки, и увеличение доли продукции новых высокотехнологичных и наукоемких отраслей.

В рамках данной научной статьи авторским коллективом были поставлены следующие научно-исследовательские цели:

1. Рассмотреть базовую структуру и основные элементы нейро-цифровой экосистемы для реализации концепции Индустрия 5.0 (на примере БФУ им. И. Канта), основанной на применении методов гибридного вычислительного интеллекта.

2. Представить в научной статье прикладной вариант модели трансформации знаний нейро-цифровых экосистем.

3. Представить в научной статье основы проектирования нейро-цифровых экосистем на основе методов гибридного вычислительного интеллекта.

4. Рассмотреть архитектуру программно-технического комплекса проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 "СИТАП-АИ".

5. На конкретном производственном примере рассмотреть вопросы прикладной апробации, предлагаемых методов и инструментариев.

Объект исследования – концепция Индустрия 5.0 и цифровая экосистема на ее основе.

Предмет исследования – составляют управленческие и организационно-экономические отношения, возникающие в процессе развития промышленных и производственных комплексов в процессе реализации концепции Индустрия 5.0.

Методика исследования

С 2005 г. авторским коллективом на базе инженерно-технического института БФУ им. И. Канта проводится научно-исследовательская работа по направлению «Искусственный интеллект и Цифровая экономика».

На рис. 1. представлена эволюция научно-прикладных исследований, более подробно представленная в работе [9], проводимых авторским коллективом, начиная с 1997 г. по направлению искусственный интеллект и цифровая экономика.

На рис. 2. представлена структура нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0, полученная на основе сетевого взаимодействия, на примере БФУ им. И. Канта вида: «индустриальные партнеры – интегрированная экосистема (информационно-аналитический центр губернатора Калининградской области – инновационный центр инженерно-технического института БФУ им. И. Канта) – нейро-цифровая экосистема БФУ им. И. Канта (когнитивное, научно-образовательное пространство).

Одним из центральных элементов представленной на рис. 2 структуры является инновационный центр инженерно-технического института БФУ, представляющий собой инновационную экосистему, предназначенную для сопровождения наукоемких и модернизируемых отраслей региона, разработка перспективных, коммерческих технологий и реализация совместных проектов с системообразующими компаниями и предприятиями Калининградской области.

На рис. 3 представлена инструментальная среда системно-целевого моделирования прикладных задач, являющаяся частью синергетической исследовательской среды, подробно рассмотренной в работе [3], цифровой технологии-платформы поддержки принятия решений информационно-аналитического центра губернатора Калининградской области (подробно, представленной в работе).

На рис. 4 представлена концептуальная модель цифровой платформы индустрия 5.0.

Концептуальная модель цифровой платформы индустрии 5.0. позволяет сформулировать понятие экосистемы Индустрия 5.0 – как кибер-социальной системы, возникающей на основе

«Искусственный интеллект и Цифровая экономика: теория и практика»

Эволюция научно-прикладных исследований, проводимых в инженерно-техническом институте БФУ им. И. Канта

1997 г. - по настоящее время



Рис. 1. Эволюция научно-прикладных исследований, проводимых авторским коллективом, по направлению искусственный интеллект и цифровая экономика
 Fig. 1. Evolution of scientific and applied research conducted by the team of authors in the direction of artificial intelligence and digital economy



Рис. 2. Структура нейро-цифровых экосистем индустрия 5.0, на примере БФУ им. И. Канта
 Fig. 2. The structure of neuro-digital ecosystems industry 5.0, on the example of the Immanuel Kant Baltic Federal University

формирования нейротехнологических решений и платформ в промышленности, обеспечивающей, получение глобальных, национальных и локальных экономических и производственных эффектов.

Нейро-цифровая экосистема для реализации концепции Индустрия 5.0 – это совокупность нейро-цифровых платформ, которые являясь квинтэссенцией концепции генезиса знаний, во

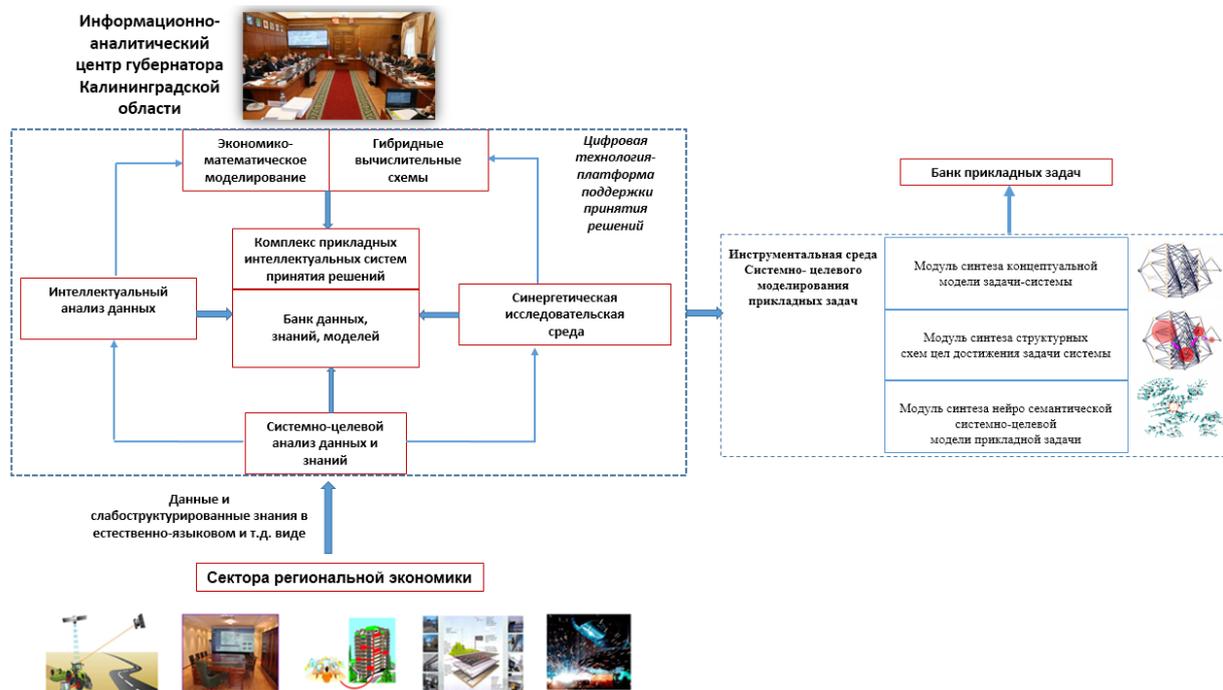


Рис. 3. Инструментальная среда системно-целевого моделирования прикладных задач
 Fig. 3. The instrumental environment for system-targeted modeling of applied problems



Рис. 4. Концептуальная модель цифровой платформы индустрии 5.0
 Fig. 4. Conceptual model of the digital industry platform 5.0

взаимодействии со 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.



Рис. 5. Модель трансформации знаний при проектировании нейро-цифровых экосистем
 Fig. 5. Model of knowledge transformation in the design of neuro-digital ecosystems

В рамках представленной на рис. 2 структуры нейро-цифровых экосистем для реализации концепции индустрия 5.0, авторским коллективом была разработана, подробно представленная в работе [9], модель трансформации знаний при проектировании нейро-цифровых экосистем.

Изображенная на рис. 5 модель трансформации знаний при проектировании нейро-цифровых экосистем, имеет сложное, в том числе математическое представление, которому авторы намерены посвятить отдельный цикл статей. В рамках данной статьи авторский коллектив хотел рассмотреть один из центральных элементов данной модели – системно-целевой банк знаний, создаваемый на основе метода трансформации математических знаний на основе нечетких продукций [9]. В основу данного метода положены методологические принципы и подходы одного из центральных методов гибридного вычислительного интеллекта, метода эвристической коррекции фундаментальных аналитических зависимостей, подробно рассмотренные в работе [9].

В основе метода трансформации математических знаний на основе нечетких продукций, лежит двухуровневая гибридная вычислительная схема, состоящая из базовой аналитической основы и когнитивной (нечеткой) компоненты. В табл. 1 представлен, простой, показательный пример, двухуровневой гибридной вычислительной схемы, полученной на основе хорошо известной в научных кругах производственной функции Кобба – Дугласа.

Таблица 1. Показательный пример двухуровневой гибридной вычислительной схемы
Table 1. The illustrative example of a two-tier hybrid computing scheme

Двухуровневая гибридная вычислительная схема	
Базовая аналитическая основа	Когнитивная (нечеткая) компонента
$Q = B \cdot L^{a_1} \cdot K^{a_2} \cdot M^{a_3},$ где Q – объем выпуска продукции; L, K, M – соответственно затраты производственных ресурсов: труда, капитала, сырья и материалов; B и a – коэффициенты, которые определяются для отдельных отраслей	Включает адаптивные коэффициенты a_1, a_2, a_3 рассчитываемые с применением методов нечеткой логики, см. пример рис. 4

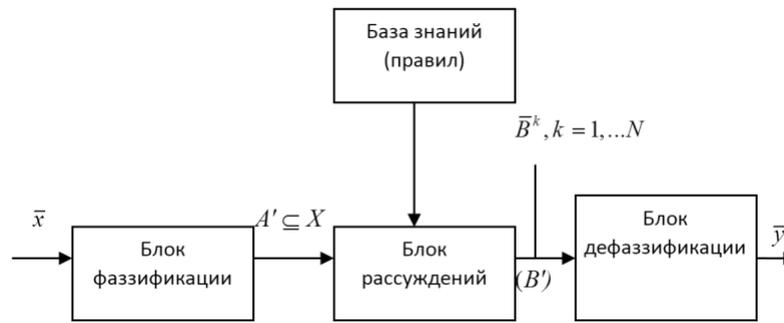


Рис. 6. Архитектура классической нечеткой системы
 Fig. 6. Architecture of a classical fuzzy system

Применение методов нечеткой логики, для расчета адаптивных коэффициентов, позволяет органически интегрировать в фундаментальные аналитические зависимости двухуровневых гибридных вычислительных схем методы искусственного интеллекта. Подробно вопросы создания базовой аналитической основы двухуровневой гибридной вычислительной схемы рассмотрены в работах [9].

В основе когнитивной (нечеткой) компоненты положена, представленная в работе [9], модель вычислений в нечетких системах. На рис. 6 представлена архитектура классической нечеткой системы (НС) [2, 3].

На основе архитектуры классической нечеткой системы, авторским коллективом был разработан нечеткий алгоритм определения адаптивных коэффициентов двухуровневой гибридной вычислительной схемы, пример применения данного алгоритма для определения коэффициента (см. табл. 1), представлен на рис. 7.

Механизм нечеткого вывода основан на применении экспертных баз знаний $P^{(k)}$, $k = 1, \dots, N$ вида [2, 3]:

$$P^{(k)}: \text{если } (x_1, \text{ есть } A_1^k \text{ И } x_2 \text{ есть } A_2^k \dots \text{ И } x_n \text{ есть } A_n^k), \\ \text{то } (y_1 \text{ есть } B_1^k \text{ И } y_2 \text{ есть } B_2^k \dots \text{ И } y_m \text{ есть } B_m^k),$$

где N — количество нечетких правил; A_i^k — нечеткие множества такие, что $A_i^k \subseteq X_i \subset R$, $i = 1, \dots, n$; B_j^k — нечеткие множества такие, что $B_j^k \subseteq Y_j \subset R$, $j = 1, \dots, m$; x_1, \dots, x_n — входные переменные лингвистической модели, при этом $[x_1, \dots, x_n]^{Tr} = x \in X = X_1 \times \dots \times X_n$; y_1, \dots, y_m — выходные переменные лингвистической модели, при этом $[y_1, \dots, y_m]^{Tr} = y \in Y = Y_1 \times \dots \times Y_m$.

Предлагаемая база экспертных знаний основана на формальном представлении узкоспециализированных знаний, а также актов когнитивного мышления, экспертов, специалистов и т. д. (экономистов, инженеров и т. д.) и может быть получена на основе применения системно-целевой модели трансформации знаниями в условиях цифровой экономики (рис. 8), подробно представленной в работе [9].

Применение предложенного метода трансформации математических знаний на основе нечетких продукций, позволяет органически интегрировать в фундаментальные аналитические зависимости (проще говоря математические формулы) двухуровневых гибридных вычислительных схем, методы искусственного интеллекта, и, таким образом, создать принципиально новые, высоко адаптивные системы управления (см. пример на рис. 11), различных классов и назначений, для широкого круга производственно-экономических систем.

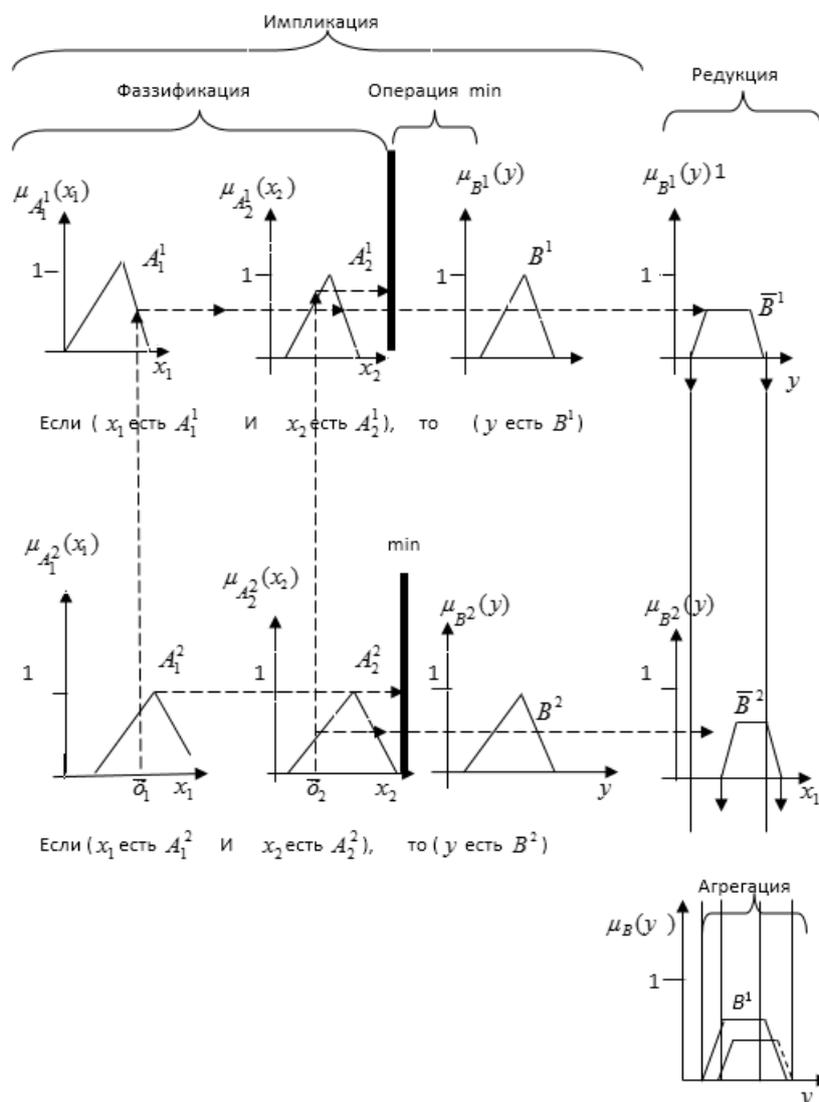


Рис. 7. Процесс нечеткого вывода на примере двух правил (без фаззификации), для определения коэффициента a_1 (см. табл. 1), где: x_1 – есть лингвистическая переменная уровень интеллектуализации производства, x_2 – есть лингвистическая переменная объем инноваций, y – расчетное значение коэффициента a_1 .
 Fig. 7. The process of fuzzy inference using the example of two rules (without fuzzification) to determine the coefficient a_1 (see Table 1), where: x_1 – there is a linguistic variable, the level of intellectualization of production, x_2 – there is a linguistic variable, the volume of innovations, y – the calculated value of the coefficient a_1 .

На рис. 9 представлена архитектура программно-технического комплекса инструментальной среды проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 "СИТАП-AI".

Начиная с 2020 г. авторский коллектив начал исследования в области создания перспективного варианта нейро-цифрового интерфейса трансформации знаний и создания гибридных вычислительных схем нейро-цифровых экосистем Индустрия 5.0 (рис. 10).

Модель синергетической исследовательской среды, как центральный элемент нейро-цифрового комплекса, подробно представленная в работе [12], обеспечивает синтез двух видов автономных знаний [26], необходимых для создания гибридных вычислительных схем:

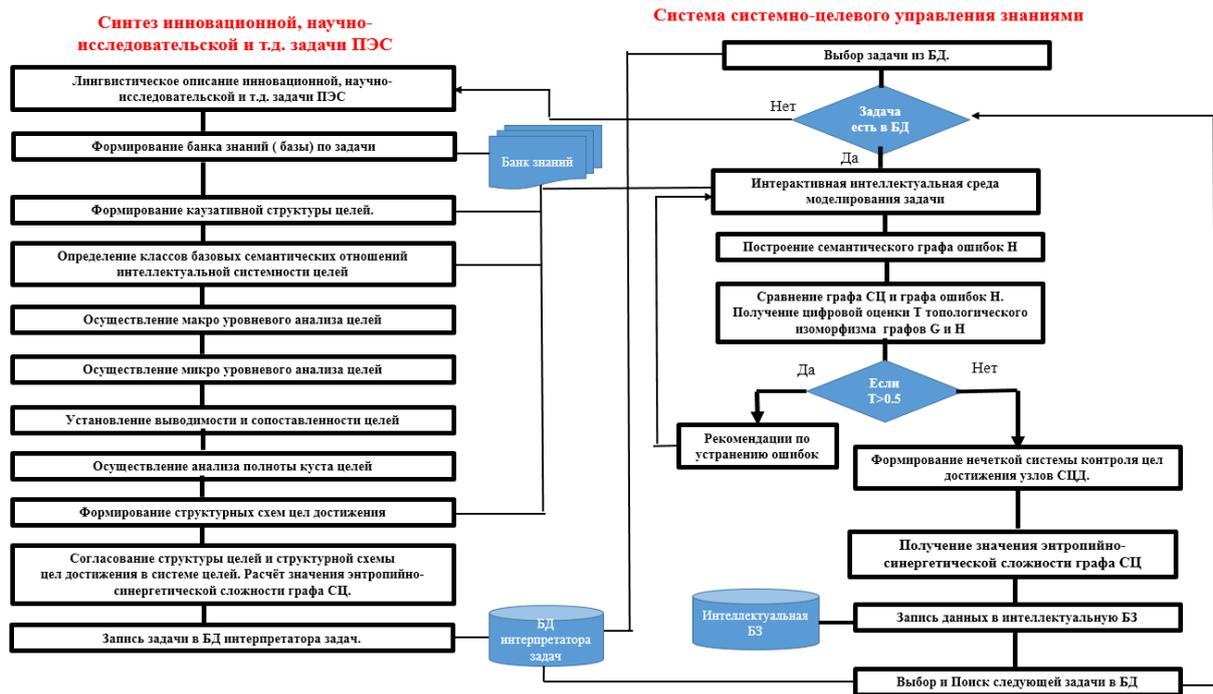


Рис. 8. Обобщённый вариант системно-целевой модели трансформации знаний в условиях цифровой экономики
 Fig. 8. A generalized version of the system-target model of knowledge transformation in the digital economy

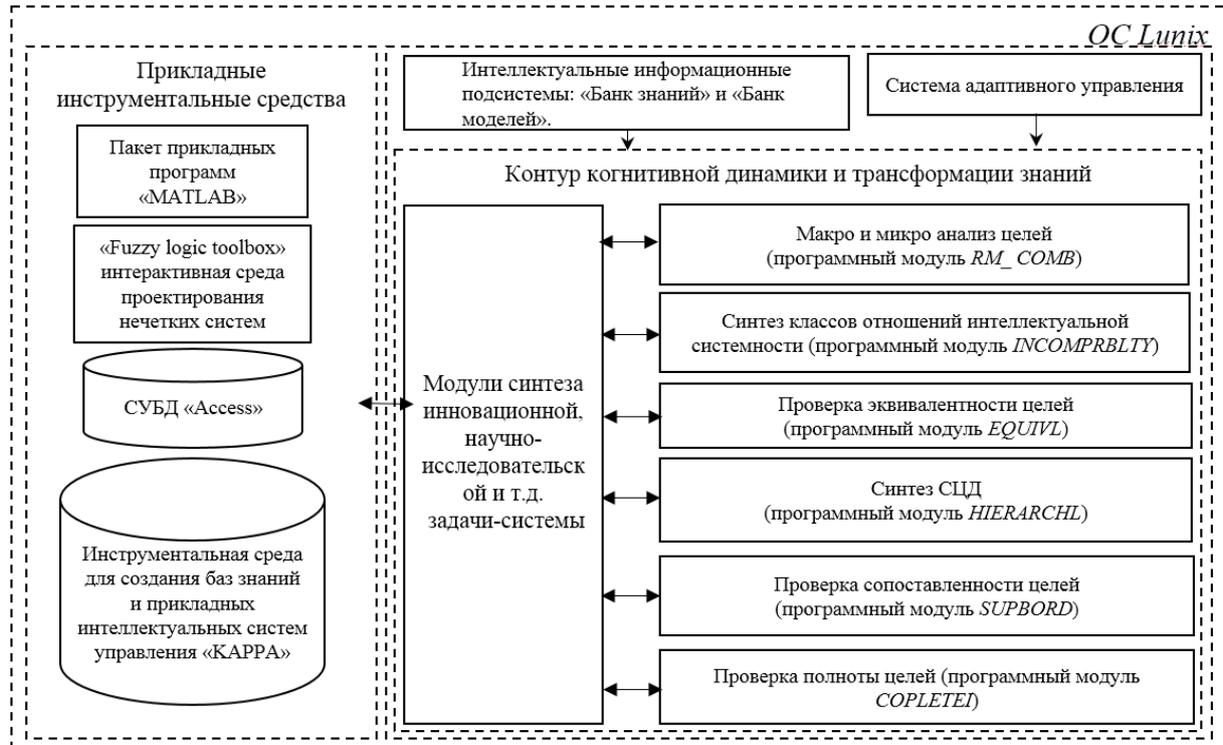


Рис. 9. Архитектура программно-технического комплекса проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 "СИТАП-AI"
 Fig. 9. Architecture of the software and hardware complex for the design of neuro-digital ecosystems for the implementation of the concept of Industry 5.0 "SITAP-AI"

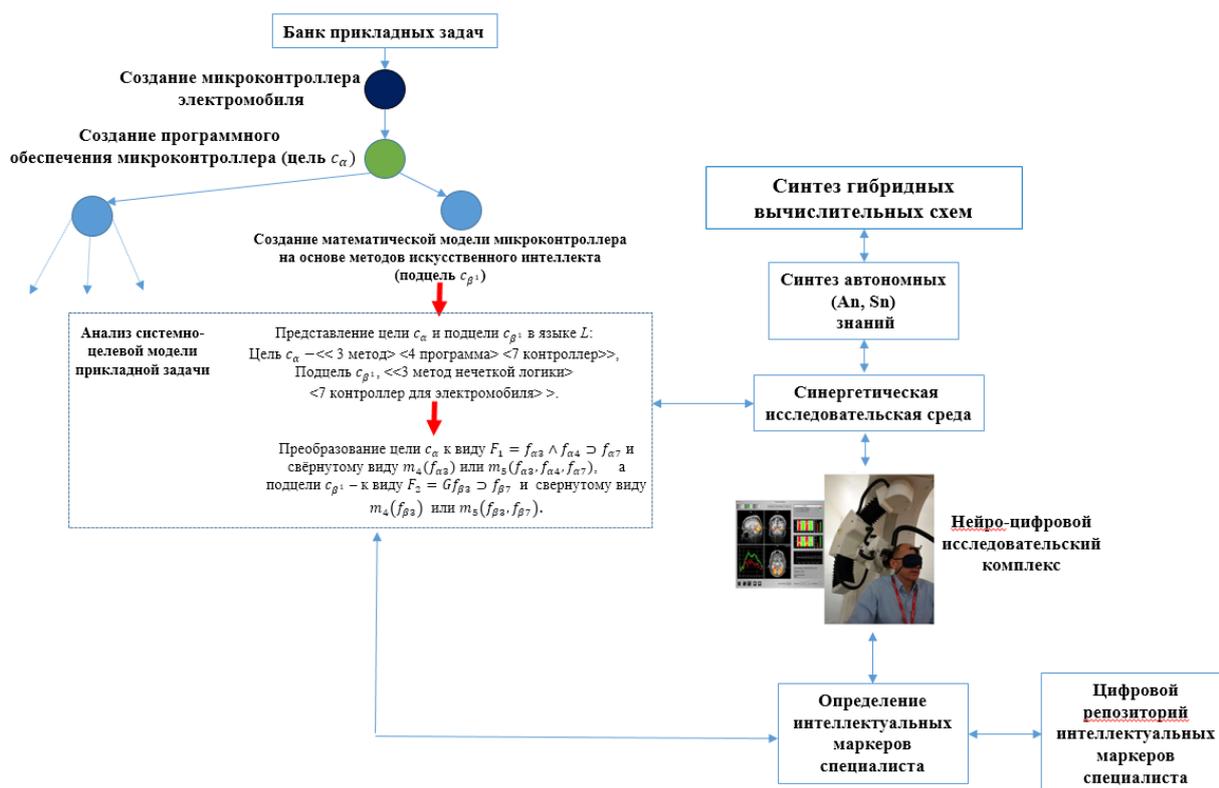


Рис. 10. Перспективный вариант нейро-цифрового комплекса трансформации знаний и создания гибридных вычислительных схем

Fig. 10. A promising version of the neuro-digital complex for the transformation of knowledge and the creation of hybrid computing schemes

— аналитические (An знания) [9, 27]. Знания получаемые на основе нейробиологических механизмов человеческой рациональности, с формальной точки зрения данный тип знаний представлен методами классического математического анализа, математическом программировании, и т. п.;

— нечетко-лингвистические логические (Sn знания [9, 28]). Знания получаемые на основе нейробиологических механизмов человеческой иррациональности [30], с формальной точки зрения данный тип знаний представлен методами искусственного интеллекта, инженерии знаний, экспертных систем, генетических алгоритмов и т. д.

Применение гибридных вычислительных схем на основе нейро-цифрового комплекса трансформации знаний и создания гибридных вычислительных схем, позволит интегрировать нейробиологические механизмы человеческой иррациональности, и получаемые на их основе нечетко-лингвистические знания с одной стороны, с рациональными механизмами [31], и получаемыми на их аналитическими знаниями основе с другой.

К настоящему времени проведены предварительные экспериментальные исследования перспективного варианта нейро-цифрового комплекса трансформации знаний и создания гибридных вычислительных схем нейро-цифровых экосистем. На первой этапе в исследованиях принимало участие 50 испытуемых, имеющих различный уровень образования и интеллектуальных способностей. В настоящий момент, проведена серия уникальных экспериментов, ведется анализ картограмм крупномасштабных функциональных сетей мозга человека (рис. 11), продолжают работы в области создания и совершенствования прикладных подсистем перспективного варианта нейро-цифрового интерфейса.

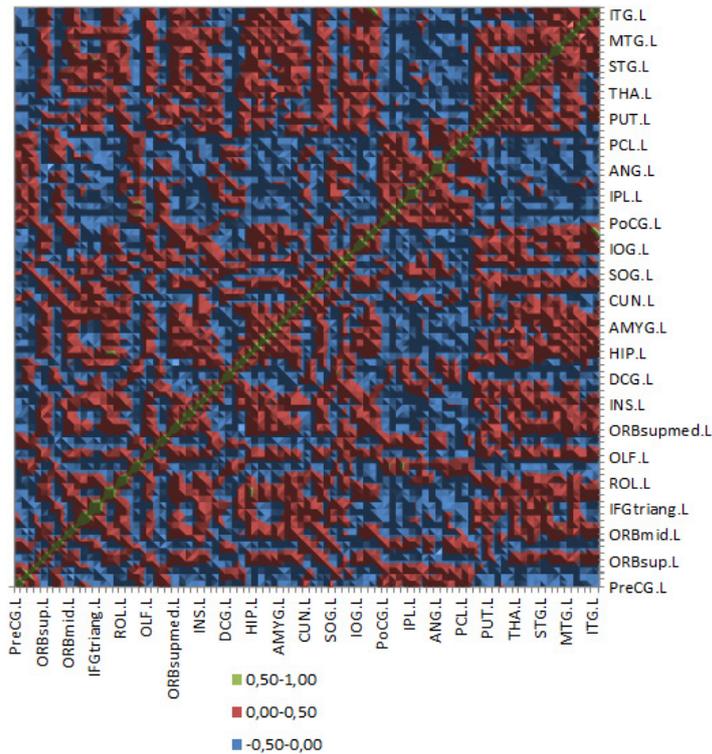


Рис. 11. Пример матрицы функциональных связей между анатомическими структурами мозга. Эксперимент 29, моделирование продуктивной умственной деятельности при анализе ультра сложных систем (более 107 элементов)

Fig. 11. An example of a matrix of functional connections between the anatomical structures of the brain.

Experiment 29, modeling of productive mental activity in the analysis of ultra complex systems (more than 107 elements)



Рис. 12. Технология создания инновационных разработок, продукции и наукоемких услуг на основе нейро-цифрового комплекса трансформации знаний

Fig. 12. Technology for creating innovative developments, products and knowledge-intensive services based on a neuro-digital complex of knowledge transformation

Кроме того, для промышленной апробации перспективного варианта нейро-цифрового комплекса трансформации знаний и создания гибридных вычислительных схем нейро-цифровых экосистем для реализации концепции индустрия 5.0, авторский коллектив, совместно со специалистами Kia Motors Corporation, начал совместные работы по созданию инновационного центра, а также технологии синтеза инновационных разработок, продукции и наукоемких услуг (рис. 12), которая предполагает возможность комплексирования различных методов и прикладных инструментариев с последующей генерацией специализированных технологических цепочек нового поколения, позволяя аккумулировать передовые достижения в области науки, базовых и критических промышленных технологий, обеспечивая генерацию новых знаний в меж-, мульти- и трансдисциплинарных областях для решения сложных инженерно-конструкторских и производственно-экономических задач.

Результаты и обсуждение

Тестовая апробация технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции индустрия 5.0, на базе инструментальной среды "СИТАП-АИ", в настоящее время, осуществляется в рамках программы по созданию информационно-аналитического центра губернатора Калининградской области (рис. 13), и выполняется в рамках Федеральной целевой программы «Электронная Россия».

Непосредственное тестирование на производстве технологии-платформы проектирования нейро-цифровых экосистем, на базе инструментальной среды "СИТАП-АИ", было проведено на примере задачи по развитию цифрового сельского хозяйства в Калининградской области (рис. 14).

Тестовая апробация технологии-платформы проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 на основе инструментальной среды "СИТАП-АИ", непосредственно, осуществлялась на одном из крупнейших агрохолдингов Калининградской области ООО "Интеграция-Агро".

Центральной задачей сельскохозяйственного производства в растениеводстве является задача-система [8] «планирование урожаев и агротехнических мероприятий». В процессе исследования состава задача-системы «планирование урожаев и агротехнических мероприятий», с применением обобщённого варианта системно-целевой модели трансформации знаний в условиях цифровой экономики (см. рис. 4) был разработан 21 вариант системно-целевой декомпозиции данной задачи, подробно представленный в работе [9], а также гетерогенное модельное поле [9], состоящее из 35 аналитических моделей и 17 когнитивных (нечетких) компонент [9]. С использованием программно-технического комплекса "СИТАП-АИ" (рис. 4) была разработана 21 гибридная вычислительная схема для решения задачи-системы «планирование урожаев и агротехнических мероприятий» (см. пример табл. 1).

На рис. 15. представлены результаты внедрения системно-целевой технологии трансформации знаний и адаптивного управления на основе инструментальной среды "СИТАП-АИ" в деятельность ООО "Интеграция-Агро". С целью экспериментальной апробации системно-целевой технологии и инструментальной среды трансформации знаний и адаптивного управления в 2017-2019 г. в отделе растениеводства ООО "Интеграция-Агро" был создан производственный полигон площадью в 1000 гектар, на котором проводилось возделывание озимой пшеницы, рапса и других сельскохозяйственных культур. Возделывание сельскохозяйственных культур на 550 гектарах сельскохозяйственных площадей проводилось без применения системно-целевой технологии и инструментальной среды трансформации знаний и адаптивного управления, а на 450 гектарах на основе применения системно-целевой технологии и инструментальной среды трансформации знаний и адаптивного управления.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГУБЕРНАТОРА КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ



В число задач центра входит:

1. Предоставление информации руководителям и сотрудникам различных подразделений для принятия оперативных решений в случае чрезвычайных ситуаций.
2. Предоставление информации руководителям и сотрудникам оперативного штаба, созданного для проведения городских мероприятий и т.д.
3. Предоставление информации руководителям и сотрудникам различных подразделений для обеспечения процессов принятия решений по курируемым направлениям жизнедеятельности города.
4. Предоставление информации руководителям и сотрудникам различных подразделений, курирующих определенные производственно-экономические и другие направления жизнедеятельности города с целью моделирования процессов развития и управлениями рисками.

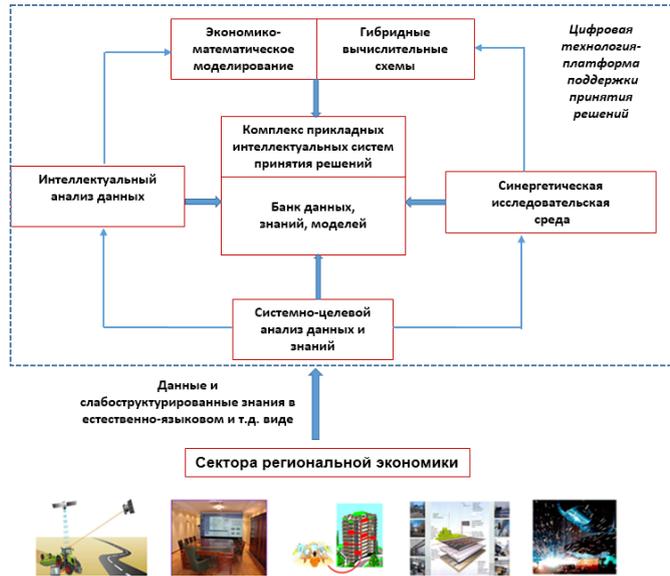


Рис. 13. Информационно-аналитический центр губернатора Калининградской области

Fig. 13. Information and analytical center of the governor of the Kaliningrad region

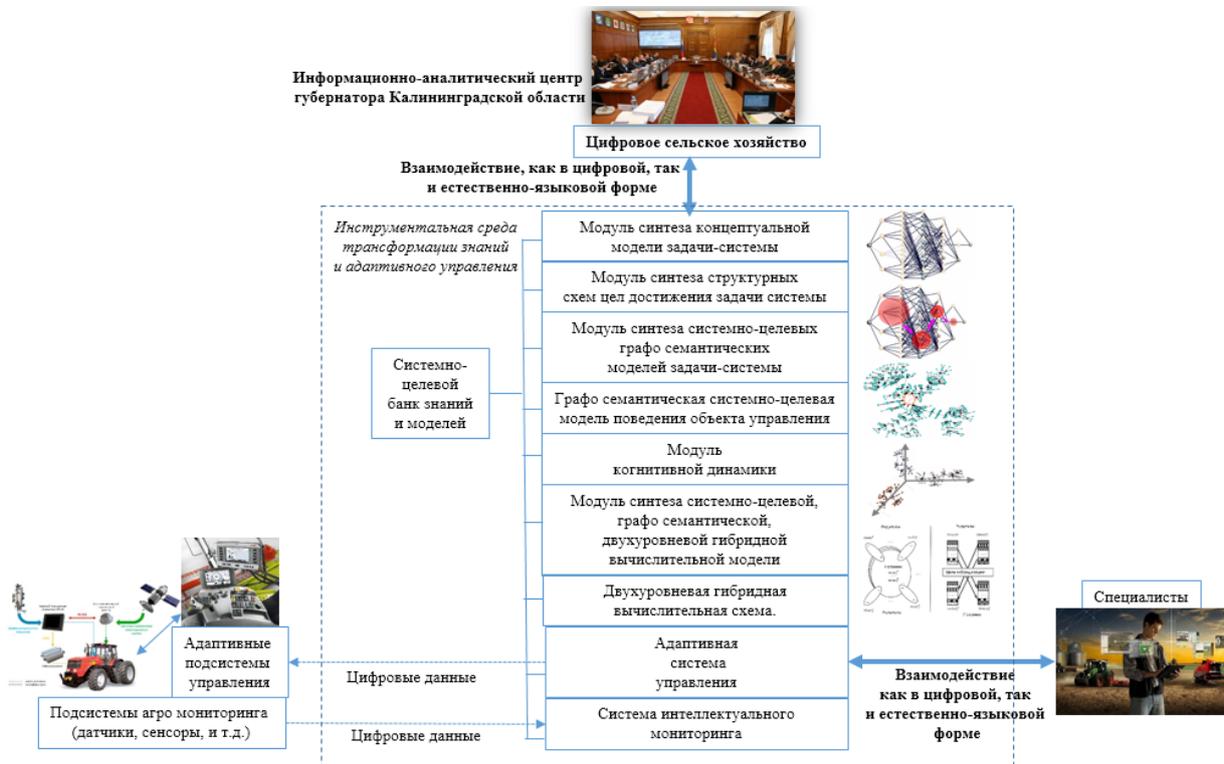


Рис. 14. Аprobация технологии-платформы и инструментальной среды проектирования

нейро-цифровых экосистем для реализации концепции индустрия 5.0

Fig. 14. Approbation of the platform technology and tool environment for designing

neuro-digital ecosystems for the implementation of the concept industry 5.0

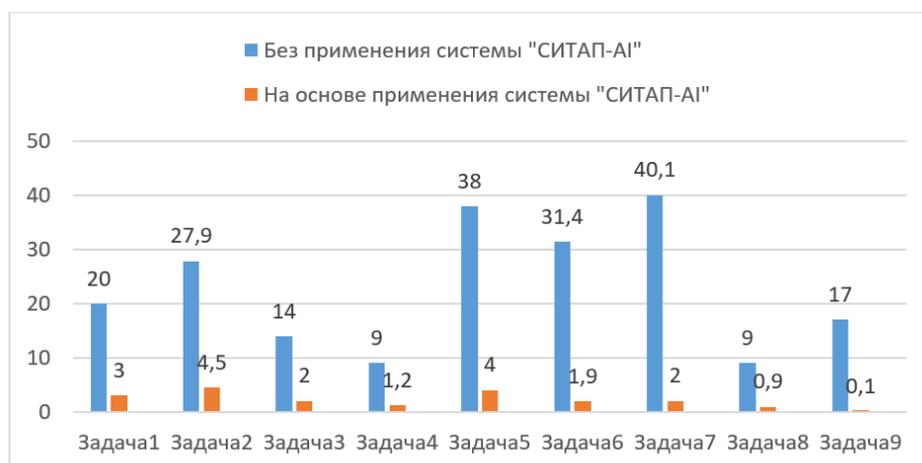


Рис. 15. Результаты внедрения (по оси ординат указан процент ошибок от общего числа принимаемых решений) системно-целевой технологии трансформации знаний и адаптивного управления на основе инструментальной среды "СИТАП-АИ" в деятельность ООО "Интеграция-Агро" (Задача 1 – "Подготовка почвы", Задача 2 – "Посев сельскохозяйственных культур", Задача 3 – "Подготовка посадочного материала", Задача 4 – "Уборка урожая", Задача 5 – "Внесение удобрений", Задача 6 – "Разработка агро технологий возделывания сельскохозяйственной культуры", Задача 7 – "Разработка технологических схем функционирования сельскохозяйственной техники", Задача 8 – "Хранение и переработка продукции растениеводства", Задача 9 – "Технико-экономическое планирование производства 2)

Fig. 15. Results of the implementation (the ordinate shows the percentage of errors from the total number of decisions) of the system-target technology of knowledge transformation and adaptive management based on the "SITAP-AI" tool environment into the activities of "Integration-Agro" LLC



Рис. 16. Бортовая информационная система CEVIS с интегрированными в нее элементами интеллектуальной системы управления на основе гибридного вычислительного интеллекта

Fig. 16. Onboard information system CEVIS with integrated elements of an intelligent control system based on hybrid computing intelligence

В результате применения системно-целевой технологии и инструментальной среды трансформации знаний и адаптивного управления в деятельность ООО "Интеграция-Агро" наблюдался 3 кратное увеличение эффективности сельскохозяйственного производства.

Кроме того, в качестве тестового образца, была разработана гибридная вычислительная схема экспериментальной мехатронной системы зерноуборочного комбайна (рис. 16), позволяющая организовать дистанционное управление зерноуборочным процессом в системе точного земледелия (см. рис. 14), в том числе с привлечением беспилотных летательных аппаратов и спутниковых систем.

В настоящей работе, посвященной разработке и внедрению технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции индустрия 5.0, был рассмотрен комплекс методов и прикладных программно-технических инструментариев трансформации математических знаний, на основе методов искусственного интеллекта, позволяющий создавать гибридные вычислительные схемы для интеллектуального моделирования сложных производственно-экономических систем в промышленности. Применение, предложенного комплекса методов и прикладных программно-технических инструментариев, позволяет органически интегрировать в фундаментальные аналитические зависимости двухуровневых гибридных вычислительных схем, методы искусственного интеллекта, и, таким образом, создать принципиально новые, высоко адаптивные (когнитивные) системы управления, различных классов и назначений, для широкого круга производственно-экономических систем. В опубликованной в журнале Science в 2018 году статье, Мэтью Хатсон показывает, что область искусственного интеллекта и гибридных подходов на его основе, на данный момент находится в кризисе прикладного внедрения теоретических результатов внедрения [27]. Особенно актуально данное положение при создании прикладных систем в реальных секторах экономики и промышленности. В рамках данной научной статьи авторы, в первую очередь, хотели продемонстрировать принципиальную возможность, быстрого создания и внедрения в реальные сектора экономики, эффективных прикладных моделей и программных инструментариев, на основе методов гибридного вычислительного интеллекта, легко типизируемых и масштабируемых, решающих экстремально сложные задачи в реальном времени и способные к новым парадигмам адаптации и эволюции на основе принципов нейро генезиса знаний [9]. Как показали апробация технологии-платформы проектирования нейро-цифровых экосистем Индустрия 5.0 на основе инструментальной среды "СИТАП-AI", которая осуществлялась на одном из крупнейших агрохолдингов Калининградской области ООО "Интеграция-Агро", авторам удалось добиться поставленной цели исследования. В результате применения системно-целевой технологии и инструментальной среды трансформации знаний и адаптивного управления в деятельность ООО "Интеграция-Агро" наблюдался 3 кратное увеличение эффективности сельскохозяйственного производства, что является достаточно серьезным показателем эффективности предлагаемого авторами статьи методологического и тестового инструментального базиса и закладывает хорошую основу для дальнейших теоретических и прикладных исследований.

Заключение

В настоящей работе рассмотрены основы создания технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0. Данная научная статья открывает цикл работ посвященных, актуальной и перспективной проблематике создания методологических и технологических подходов, инструментариев и экосистем для реализации пятой промышленной революции "Индустрия 5.0". Основные результаты исследования, представленные авторским коллективом в научной статье:

1. Представлен и проанализирован вариант базовой структуры и основные элементы нейро-цифровой экосистемы для реализации концепции Индустрия 5.0 (на примере БФУ им. И. Канта), основанной на применении методов гибридного вычислительного интеллекта.
2. Рассмотрен прикладной вариант модели трансформации знаний нейро-цифровых экосистем.

3. Рассмотрены основы технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 на основе методов гибридного вычислительного интеллекта.

4. Представлена архитектура программно-технического комплекса проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 "СИТАП-АИ".

5. На конкретном производственном примере рассмотрена прикладная апробация технологии-платформы проектирования нейро-цифровых экосистем на основе инструментальной среды "СИТАП-АИ".

Направления дальнейших исследований

В настоящее время авторы статьи приступили к созданию методологии управления развитием промышленности РФ, на основе технологии проектирования нейро-цифровых экосистем, в условиях перехода к Индустрии 5.0. В рамках данного направления дальнейших исследований предполагается создание сценариев, научно-технологического развития промышленности РФ в условиях перехода к Индустрии 5.0, включающих: целевой форсированный сценарий прорывного развития; инновационный; консервативный сценарий, - что позволит создать видение будущего промышленности РФ в условиях перехода к Индустрии 5.0, а также, в дальнейшем, обеспечит технологическое обновление традиционных отраслей продвижение российских технологий на новые глобальные рынки, и увеличение доли продукции новых высокотехнологичных и наукоемких отраслей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстых Т.О., Шкарупета Е.В. К вопросу о разработке сценария прорывного развития промышленных предприятий в условиях четвертой промышленной революции // Экономика в промышленности. 2018. Т. 11. № 4. С. 346–352.

2. Гилева Т.А., Бабкин А.В., Гилёв Г.А. Разработка стратегии цифровой трансформации предприятия с учетом возможностей бизнес-экосистем // Экономика и управление. 2020. Т. 26. № 6 (176). С. 629–642.

3. 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. Т. 10, № 3. С. 9–25. DOI: 10.18721/JE.10301

4. Гамидуллаева Л.А., Шкарупета Е.В., Тарасов А.В., Лузгина О.А. Разработка и реализация сценариев цифровой трансформации промышленных экосистем // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2019. № 4 (52). С. 202–210.

5. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Хамбазаров Ш.Б. Анализ рынка робототехники в России: проблемы и перспективы развития в условиях цифровизации // Экономика и управление. 2019. № 8 (166). С. 34–44.

6. П.М. Клачек, К.Л. Полупан, И.В. Либерман. Цифровизация экономики на основе системно-целевой технологии управления знаниями. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12. № 3. С. 9–19.

7. Бабкин А.В., Алексеева Н.С. Тенденции развития цифровой экономики на основе исследования наукометрических баз данных // Экономика и управление. 2019. № 6 (164). С. 16–25.

8. Клачек П.М., Корягин С.И., Лизоркина О.А. Интеллектуальная системотехника // Монография. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2015, 214 с.

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

10. Bharat Vagadia. Digital Disruption. Germany: Springer Nature, 2020.

11. Prinz J. The Conscious Brain: How Attention Engenders Experience. Oxford: Oxford University Press, 2018. 416 p.

12. **Klachek P.M., Polypan K.L., Liberman I.V.** Development of a synergetic research environment for modeling complex productive and economic systems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, Vol. 12, No. 2, Pp. 112–117, 2019.
13. **North Klaus, Kumta Gita.** *Knowledge Management*. Germany: Springer Nature, 2014.
14. **Christoph Meinel, Larry Leifer (Eds.)**. *Design Thinking Research*. Germany: Springer Nature, 2020.
15. **Lazazzara Alessandra, Ricciardi Francesca, Za Stefano (Eds.)**. *Exploring Digital Ecosystems Organizational and Human Challenges*. Germany: Springer Nature, 2020.
16. Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика: материалы 1-й Международной научно-практической конференции. Вып. 1 / Государственный университет управления. М.: Издательский дом ГУУ, 2017. 289 с.
17. **Fedorov A.A., Paputkova G.A., Filchenkova I.F., Paltdinova E.Y., Klyueva M.I.** Open digital education space: classification of e-services at university. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 8. No. 2. Pp. 2495–2498.
18. **Kreutzer, Ralf T., Sirrenberg, Marie.** *Understanding Artificial Intelligence*. Germany: Springer Nature, 2020.
19. **Макаров В.Л., Клейнер Г.Б.** Микроэкономика знаний. Отд. обществ, наук РАН, Центр, экон.-мат. ин-т. М.: Экономика, 2007. 204 с.
20. **Клейнер Г.Б.** Стратегическое планирование: основы системного подхода // Модернизация экономики и общественное развитие: в 3 кн.: [сб.] / Е.Г. Ясин (отв. ред.). М.: Издательский дом ГУ – ВШЭ. 2008.
21. **Клейнер Г.Б.** Системно-ориентированное моделирование предприятия (системная микроэкономика) // Стратегическое планирование и развитие предприятий: Пленарные доклады и материалы Круглого стола XV Всерос. симп. М.: ЦЭМИ РАН, 2015. С. 15–23.
22. **Макаров В.Л.** Эволюция экономической теории: воспроизводство, технологии, институты / Материалы X Международного Симпозиума по эволюционной экономике и Методологического семинара по институциональной и эволюционной экономике. СПб: Алетейя, 2015. 320 с. Раздел III "Экономические системы и социальное моделирование: Инструменты социального моделирования расширяют возможности научного анализа". С. 88–92.
23. **Piegat A.** *Fuzzy Modeling and Control*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2018
24. **Макаров В.Л., Варшавский А.Е.** Наука, высокотехнологичные отрасли и инновации / Глава 20 / Экономика России. Оксфордский сборник. Книга 2. – М.: Изд-во Института Гайдара, 2015.
25. **Babkin A.V.** *Metody otsenki ekonomicheskogo potentsiala promyshlennogo predpriatiia [Methods of the evaluation of the economic potential of the industrial enterprise]*. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SanktPeterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomicheskie nauki, 2013, no. 1 (163), vol. 2, pp. 138–148.
26. **Iansiti M., Levien R.** *The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability*, 225 p. Harvard Business School Press (2014).
27. **Matthew Hutson.** Missing data hinder replication of artificial intelligence studies. *Science*, 2018.
28. **Bossaerts P.** (2009). What decision neuroscience teaches us about financial decision making. *Annual Review of Financial Economics*, 1, 383–404. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.financial.102708.141514>
29. **De Martino B., Kumaran D., Seymour B., Dolan R.J.** (2006). Frames, biases, and rational decisionmaking in the human brain. *Science*, 313, 684–687. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1128356>
30. **Ortiz-Teran E., Ortiz T., Turrero A., Lopez-Pascual J.** (2019). Neural implications of investment banking experience in decision-making under risk and ambiguity. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 12(1), 34–44. <https://doi.org/10.1037/npe0000100>
31. **Phelps E.A., Lempert K.M., Sokol-Hessner P.** (2014). Emotion and decision making: Multiple modulatory neural circuits. *Annual Review of Neuroscience*, 37, 263–287. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014119>

REFERENCES

1. **T.O. Tolstykh, Ye.V. Shkarupeta,** K voprosu o razrabotke stsenariya proryvnogo razvitiya promyshlennykh predpriyatii v usloviyakh chetvertoy promyshlennoy revolyutsii // *Ekonomika v promyshlennosti*. – 2018. – Т. 11. – №4. – С. 346–352.

2. **T.A. Gileva, A.V. Babkin, G.A. Gilev**, Razrabotka strategii tsifrovoy transformatsii predpriyatiya s uchetom vozmozhnostey biznes-ekosistem // *Ekonomika i upravleniye*. 2020. T. 26. № 6 (176). S. 629–642.
3. **A.V. Babkin, D.D. Burkaltseva, D.G. Kosten, Yu.N. Vorobyev**, Formirovaniye tsifrovoy ekonomiki v Rossii: sushchnost, osobennosti, tekhnicheskaya normalizatsiya, problemy razvitiya // *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskiye nauki*. 2017. T. 10, № 3. S. 9–25. DOI: 10.18721/JE.10301
4. **L.A. Gamidullayeva, Ye.V. Shkarupeta, A.V. Tarasov, O.A. Luzgina**, Razrabotka i realizatsiya stsensariyev tsifrovoy transformatsii promyshlennykh ekosistem // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Obshchestvennyye nauki*. – 2019. – № 4 (52). – S. 202–210.
5. **A.V. Babkin, D.D. Burkaltseva, Sh.B. Khambazarov**, Analiz rynka robototekhniki v Rossii: problemy i perspektivy razvitiya v usloviyakh tsifrovizatsii // *Ekonomika i upravleniye*. 2019. № 8 (166). S. 34–44.
6. **P.M. Klachek, K.L. Polupan, I.V. Liberman**, Tsifrovizatsiya ekonomiki na osnove sistemno-tselevoy tekhnologii upravleniya znaniyami. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskiye nauki*. Tom 12, № 3, Pp. 9–19, 2019.
7. **A.V. Babkin, N.S. Alekseyeva**, Tendentsii razvitiya tsifrovoy ekonomiki na osnove issledovaniya naukometricheskikh baz dannykh // *Ekonomika i upravleniye*. 2019. № 6 (164). S. 16–25.
8. **P.M. Klachek, S.I. Koryagin, O.A. Lizorkina**, Intellektualnaya sistemotekhnika // *Monografiya*. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2015, 214 s.
9. **P.M. Klachek, K.L. Polupan, S.I. Koryagin, I.V. Liberman**, Gibridnyy vychislitelnyy intellekt. Osnovy teorii i tekhnologiy sozdaniya prikladnykh sistem Izd. 2, dop. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2020. 340 p.
10. **Bharat Vagadia**, *Digital Disruption*. Germany: Springer Nature, 2020.
11. **J. Prinz**, *The Conscious Brain: How Attention Engenders Experience*. Oxford: Oxford University Press, 2018. 416 p.
12. **P.M. Klachek, K.L. Polypan, I.V. Liberman**, Development of a synergetic research environment for modeling complex productive and economic systems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, Vol. 12, No. 2, Pp. 112–117, 2019.
13. **North Klaus, Kumta Gita**, *Knowledge Management*. Germany: Springer Nature, 2014.
14. **Christoph Meinel, Larry Leifer (Eds.)**, *Design Thinking Research*. Germany: Springer Nature, 2020.
15. **Lazazzara Alessandra, Ricciardi Francesca, Za Stefano (Eds.)**, *Exploring Digital Ecosystems Organizational and Human Challenges*. Germany: Springer Nature, 2020.
16. **K.L. Polupan, S.I. Koryagin, P.M. Klachek**, Razvitie metodov tsifrovoy ekonomiki na osnove gibridnogo vychislitelnogo intellekta. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskiye nauki*. Tom 11, № 1, Pp. 9–18, 2018.
17. **A.A. Fedorov, G.A. Paputkova, I.F. Filchenkova, E.Y. Ilaltdinova, M.I. Klyueva**, Open digital education space: classification of e-services at university. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. T. 8. № 2. S. 2495–2498.
18. **Kreutzer, T. Ralf, Sirrenberg Marie**, *Understanding Artificial Intelligence*. Germany: Springer Nature, 2020.
19. **V.L. Makarov, G.B. Kleyner**, *Mikroekonomika znaniy*. Otd. obshchestv, nauk RAN, Tsent, ekon.-mat. in-t. M.: Ekonomika, 2007. 204 s.
20. **G.B. Kleyner**, *Strategicheskoye planirovaniye: osnovy sistemnogo podkhoda // Modernizatsiya ekonomiki i obshchestvennoye razvitiye: v 3 kn.: [sb.] / Ye.G. Yasin (otv. red.)*. M.: Izdatelskiy dom GU – VShE. 2008.
21. **G.B. Kleyner**, *Sistemno-oriyentirovannoye modelirovaniye predpriyatiya (sistemnaya mikroekonomika) // Strategicheskoye planirovaniye i razvitiye predpriyatiy: Plenarnyye doklady i materialy Kruglogo stola XV Vseros. simp.* M.: TsEMI RAN, 2015. S. 15–23.
22. **V.L. Makarov**, *Evolyutsiya ekonomicheskoy teorii: vosproizvodstvo, tekhnologii, instituty / Materialy X Mezhdunarodnogo Simpoziuma po evolyutsionnoy ekonomike i Metodologicheskogo seminaru po institutsionalnoy i evolyutsionnoy ekonomike*. – SPb: Aleteyya, 2015. – 320 s. Razdel III "Ekonomicheskiye sistemy i sotsialnoye modelirovaniye: Instrumenty sotsialnogo modelirovaniya rasshiryayut vozmozhnosti nauchnogo analiza". – S. 88–92.
23. **A. Piegat**, *Fuzzy Modeling and Control*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2018
24. **V.L. Makarov, A.Ye. Varshavskiy**, *Nauka, vysokotekhnologichnyye otrasli i innovatsii / Glava 20 / Ekonomika Rossii. Oksfordskiy sbornik. Kniga 2*. – M.: Izd-vo Instituta Gaydara, 2015.

25. **A.V. Babkin**, Metody otsenki ekonomicheskogo potentsiala promyshlennogo predpriiatiia [Methods of the evaluation of the economic potential of the industrial enterprise]. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SanktPeterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Seriia: Ekonomicheskie nauki, 2013, no. 1 (163), vol. 2, pp. 138–148.

26. **M. Iansiti, R. Levien**, The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability, 225 p. Harvard Business School Press (2014).

27. **Matthew Hutson**. Missing data hinder replication of artificial intelligence studies. Science, 2018.

28. **P. Bossaerts** (2009), What decision neuroscience teaches us about financial decision making. Annual Review of Financial Economics, 1, 383–404. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.financial.102708.141514>

29. **B. De Martino, D. Kumaran, B. Seymour, R.J. Dolan** (2006), Frames, biases, and rational decisionmaking in the human brain. Science, 313, 684–687. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1128356>

30. **E. Ortiz-Teran, T. Ortiz, A. Turrero, J. Lopez-Pascual** (2019), Neural implications of investment banking experience in decision-making under risk and ambiguity. Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics, 12(1), 34–44. <https://doi.org/10.1037/npe0000100>

31. **E.A. Phelps, K.M. Lempert, P. Sokol-Hessner** (2014), Emotion and decision making: Multiple modulatory neural circuits. Annual Review of Neuroscience, 37, 263–287. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014119>

Статья поступила в редакцию 10.04.2021.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ФЕДОРОВ Александр Александрович

E-mail: AIAFedorov@kantiana.ru

FEDOROV Alexander A.

E-mail: AIAFedorov@kantiana.ru

ЛИБЕРМАН Ирина Владимировна

E-mail: iliberman@kantiana.ru

LIBERMAN Irina V.

E-mail: iliberman@kantiana.ru

КОРЯГИН Сергей Иванович

E-mail: SKoryagin@kantiana.ru

KORYAGIN Sergei I.

E-mail: SKoryagin@kantiana.ru

КЛАЧЕК Павел Михайлович

E-mail: pklachek@mail.ru

KLACHEK Pavel M.

E-mail: pklachek@mail.ru