

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 629.7:004.89

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293

Формирование стратегии развития Комитета по искусственному интеллекту в Научно-образовательном центре «Инженерия будущего»

И.И. Баринов¹, Н.М. Боргест^{2,3}, С.Ю. Боровик³, О.Н. Граничин⁴, С.П. Грачев⁵,
Ю.В. Громыко⁶, Р.И. Доронин⁷, С.Н. Зинченко⁸, А.Б. Иванов⁹, В.М. Кизеев¹⁰,
Р.И. Кутлахметов¹¹, В.Б. Ларюхин¹², С.П. Левашкин¹³, А.Н. Мочалкин¹⁴,
М.Г. Пантелеев¹⁵, С.Б. Попов², Е.М. Севастьянов¹⁶, П.О. Скобелев^{3,17},
А.Г. Чернявский¹⁸, В.В. Шишкин¹⁹, С.И. Шляев²⁰

¹ Главный вычислительный центр ОАО «РЖД», Москва, Россия

² Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

³ Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Группа компаний «Генезис знаний», Самара, Россия

⁶ Институт опережающих исследований им. Е.Л. Шифферса, Москва, Россия

⁷ Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод», Нижний Тагил, Россия

⁸ Партнерский центр ГК «Ростех» в инновационном центре «Сколково», Москва, Россия

⁹ Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

¹⁰ WinBD – консалтинговая компания по развитию технологического предпринимательства, Москва, Россия

¹¹ ABC Консалтинг, Москва, Россия

¹² НПК «Разумные решения», Самара, Россия

¹³ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

¹⁴ НПК «Сетецентрические платформы», Самара, Россия

¹⁵ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

¹⁶ Ракетно-космический центр «Прогресс», Самара, Россия

¹⁷ Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

¹⁸ Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва, Москва, Россия

¹⁹ Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

²⁰ Межгосударственная акционерная корпорация «Вымпел», Москва, Россия

Аннотация

Созданный межрегиональный научно-образовательный центр «Инженерия будущего», призванный объединить науку и реальный сектор экономики, сформировал ряд важных отраслевых и предметных комитетов, в которых планируется разрабатывать прорывные продукты и технологии мирового уровня. Комитет по искусственному интеллекту научно-образовательного центра «Инженерия будущего» выработал свою стратегию развития в проектной группе, состоящей из специалистов, представляющих промышленные предприятия, университеты, академическую среду, проектные организации, технологические компании и стартапы. Ключевым в стратегии является концепция цифровой экосистемы эмерджентного искусственного интеллекта, возникающего за счёт взаимодействий различных интеллектуальных сервисов. В основу построения эмерджентного интеллекта положены принципы самоорганизации, модели и методы коллективного принятия решений, онтологии и мультиагентные технологии, позволяющие формировать решение любой сложной задачи в ходе выявления и разбора конфликтов путём переговоров агентов. Следуя теории сложных адаптивных систем, эмерджентный интеллект - это спонтанно возникающая в

мультиагентной системе, под действием внешних событий или из внутренних причин или мотивов, цепочка согласованных изменений состояний агентами, находящими решение новой проблемы или повышающих ценность уже имеющегося решения. В статье сформулированы основные задачи Комитета по искусственному интеллекту на ближайшие годы в рамках подготовленного технологического проекта создания серийно-массового производства интеллектуальных систем управления ресурсами, персонализируемых путём создания цифровых двойников процессов управления предприятиями, баз знаний, мультиагентных технологий, машинного обучения и других перспективных методов. Результатом предлагаемого проекта, отражающего приоритеты промышленных партнёров, будет создание линейки интеллектуальных продуктов и сервисов для всех стадий жизненного цикла сложных высокотехнологических изделий и построение «фабрики» таких систем в виде открытой инструментальной платформы, которая позволит этим предприятиям снизить зависимость от поставщика решения и своими силами развивать и модернизировать такие системы. Предложен подход к организации работы Комитета по искусственному интеллекту на основе принципов Науки 5.0, рассмотрены направления разработок, а также планируемая кооперация для достижения первых научных и практических результатов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, эмерджентный интеллект, стратегия, научно-образовательный центр, цифровые экосистемы, онтология, мультиагентные технологии, принятие решений, управление ресурсами, эффективность.

Цитирование: Баринов, И.И. Формирование стратегии развития Комитета по искусственному интеллекту в Научно-образовательном центре «Инженерия будущего» / И.И. Баринов, Н.М. Боргест, С.Ю. Боровик, О.Н. Граничин, С.П. Грачев, Ю.В. Громыко, Р.И. Доронин, С.Н. Зинченко, А.Б. Иванов, В.М. Кизеев, Р.И. Кутлахметов, В.Б. Ларюхин, С.П. Левашкин, А.Н. Мочалкин, М.Г. Пантелеев, С.Б. Попов, Е.М. Севастьянов, П.О. Скобелев, А.Г. Чернявский, В.В. Шишкин, С.И. Шляев // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №3(41). – С. 260-293. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293.

«...недалёк тот день, когда исчезнут обычные книги, газеты и журналы. Взамен каждый человек будет носить с собой «электронный блокнот», представляющий собой комбинацию плоского дисплея с радиоприёмопередатчиком. Набирая на клавиатуре этого «блокнота» нужный код, можно, находясь в любом месте на нашей планете, вызвать из гигантских компьютерных баз данных, связанных в сети, любые тексты, изображения...»

В.М. Глушков [1]

Введение

Направление исследований, связанных с «искусственным интеллектом» (ИИ) в настоящее время становится всё более актуальным и востребованным.

А «фантастика» в этой области становится реальностью буквально на наших глазах [1].

При этом у ряда учёных и проектантов оно вызывает серьёзную озабоченность, см. многочисленные работы, например, Европейского альянса по ИИ [2-4] и публикации А. Абдулаева [5-6]. В интервью для английской корпорации ВВС известный физик Стивен Хокинг прямо заявил, что создание ИИ может стать концом света, если машины научатся строить себя сами, т.к. люди просто не смогут за ними угнаться («*The development of full artificial intelligence could spell the end of the human race... It would take off on its own, and redesign itself at an ever increasing rate. Humans, who are limited by slow biological evolution, couldn't compete, and would be superseded*») [7].

Вместе с тем, интерес к теме ИИ стремительно растёт, равно как и поддержка этого направления государством.

Президент РФ В.В. Путин 11 октября 2019 года своим указом утвердил национальную стратегию развития ИИ в России до 2030 года (см. анализ стратегий ИИ в работе [8]). Весной

2021 года Правительство РФ утвердило правила выделения финансовой поддержки компаний, занятых в сфере ИИ [9, 10], и правила предоставления грантов организациям на разработку образовательных программ для студентов и педагогических работников организаций высшего образования в сфере ИИ [11]. Летом 2021 года опубликованы правила предоставления грантов для исследовательских центров в сфере ИИ [12].

К сожалению, планируемые меры поддержки не всегда сопровождаются содержательным предметным анализом, долгосрочным прогнозом и конкурентной выработкой наиболее приоритетных направлений развития ИИ в интересах бизнеса, перспективных отраслей промышленности и экономики, науки и технологий и т.д.

Можно утверждать, что выработка ключевых идей и направлений в этой области представляет сложную задачу, которая в настоящее время решается раздробленными силами, причём корпоративные интересы крупных компаний часто входят в противоречие как с научными традициями академии наук и высшей школы, так и современными подходами технологических предпринимателей, а существующие силы команд разработчиков ИИ не только малы и фрагментарны, но при этом ещё часто дублируют друг друга и конкурируют между собой, растрачивая и без того скудные финансовые ресурсы.

Комитет по ИИ научно-образовательного центра «Инженерия будущего»¹ (Комитет по ИИ) объединил исследователей из целого ряда университетов, технологических и консалтинговых компаний, промышленных предприятий и бизнеса. Из университетов участвуют Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (ЛЭТИ), Самарский государственный технический университет (СамГТУ), Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева (Самарский университет), Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ), Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ) и др. В качестве основных промышленных партнеров (ИП) из бизнеса выступают предприятия государственных корпораций (ГК) «Ростех», «Роскосмос» и «РЖД», а также корпорации «Алмаз-Антей». В числе этих предприятий Ракетно-космический центр «Прогресс», «Уралвагонзавод», Межгосударственная акционерная корпорация «Вымпел», Главный вычислительный центр РЖД и др. Из технологических компаний и стартапов, развивающих инновационное предпринимательство в области ИИ – Группа компаний «Генезис знаний», НПК «Разумные решения», НПК «Сетецентрические платформы» и ряд других.

В настоящей статье Комитет по ИИ обосновывает выбор нового направления в области ИИ и предлагает стратегию, которая призвана собрать сложные межведомственные и межрегиональные «молекулы» инновационных проектов из отдельных «атомов» учёных и специалистов различных организаций, чтобы не только преодолеть указанные препятствия, но и вывести формируемые команды на мировой уровень.

1 Искусственный интеллект и развитие общества

В научной литературе ИИ определяется как свойство компьютерных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека, а также как наука и технология создания интеллектуальных машин или компьютерных программ [1, 13].

Стремительный технический прогресс уже сегодня вывел в ежедневную повестку глобальных обсуждений тему создания и внедрения ИИ во все сферы человеческой жизни, формируя картину будущей тотальной цифровизации нашего мира, обсуждаются уже сверхпро-

¹ НОЦ «Инженерия будущего». - <https://nocsamara.ru/>.

екты *Smart Planet* и Интернета «всего». И хотя проблема создания ИИ ещё далека от своего решения, сложна и не тривиальна, уже сейчас она начинает затрагивать фундаментальные основы построения нашего общества и повседневной жизни людей.

Каковы же возможные результаты создания ИИ? Тотальная автоматизация бюрократии и полное «цифровое рабство» людей на всех уровнях (от детского сада и школы до предприятий, регионов и стран) или раскрытие талантов, знаний и умений людей, обеспечение свободы их выбора и самореализации, поддержки творчества и развития, роста производительности труда и эффективности людей, предприятий, регионов и стран? Для ответа на этот вопрос нужен открытый диалог представителей технической и гуманитарной культуры с участием управленцев, философов, психологов, педагогов, математиков, программистов и т.д.

В работе [14] на примере сферы образования показано, что «цифра» может сработать как во благо прогресса, так и против прогресса. В рамках создания новой школы будущего здесь показывается принципиальное отличие предлагаемого цифро-когнитивного подхода, направленного на развитие обучаемых, от цифро-алгоритмического подхода, выхолащивающего образование. Цифро-алгоритмический подход соотносит ответы учащегося с определённым установленным правилом, заданным набором операций по получению нужного ответа, в котором учащегося заставляют отгадать последовательность операций, чтобы получить нужное решение и хорошую оценку. Цифро-когнитивный подход базируется на создании цифровой образовательной среды ИИ нового поколения, в которой учащийся в диалоге с ИИ должен построить поисковое действие и определить нужные типы, набор и последовательность операций в зависимости от того, как он понял ситуацию и задание. Цель предлагаемой саморазвивающейся ИИ среды - обеспечить создание условий для творчества, моделирования и проектного действия в учебной работе школьников для самих учащихся и учителя. Важно не какие операции выполняет учащийся, а что и как он понимает, осмысливая задание и ситуацию задачи, как строит свое действие в соответствии с достигнутым пониманием. С этим пониманием и должен работать учитель, чтобы обучение вело за собой развитие. В этом случае цифро-когнитивный подход на основе ИИ, выступая в функции своеобразного «зеркала» по отношению к поисковым действиям учащегося, обеспечивает усложнение и развитие мышления, вызывает смысловую мотивированность, способствует накоплению структур персонализированного интеллекта.

Первый подход не только не помогает обучению и развитию детей, но наоборот, закрепощает мышление и разрушает долго складывавшиеся традиции и практики продуктивного и эффективного образования, как в капле отражая весь океан возникающих новых проблем создания ИИ для цифровизации экономики, промышленности и т.п. И, наоборот, второй подход, где строится саморазвивающийся ИИ, способствующий самовозникающим актам творческого мышления у пользователей, раскрепощает мышление и становится необходимым обществу не только в образовании, но в промышленности, на транспорте, в вооруженных силах, при планировании стратегических операций в экономике, политике и т.д.

Дискуссия про видение ИИ в мире ещё только начинает разворачиваться [15, 16]: во многих странах ещё идут споры про Индустрию 4.0, но на переднем крае исследований уже началось обсуждение зарождающейся эпохи Индустрии 5.0, связанной с цифровизацией знаний (в отличие от данных) и возникающим сотрудничеством коллективов ИИ и людей.

Как ожидается, технологии ИИ и продукты Индустрии 5.0 ускорят переход к Обществу 5.0, меняя многовековые устои общества на всех уровнях. Этот процесс уже начался и непрерывно ускоряется в ответ на падающую в конце 20-го века эффективность идеальной бюрократии [17]. Черты стремительно складывающегося нового Общества 5.0 уже известны: это общество без иерархий; замена приказов на переговоры; приоритет самоорганизации, акторам и предпринимательству; использование знаний как нового более действенного рычага

управления, приходящего на смену насилию и капиталу; солидарная экономика, оплата по результату, дивиденды знаний и т.д. Эти изменения уже сегодня проявляются в разных видах и типах новых организаций: сетевые, виртуальные, горизонтальные, колониальные и др.

К сожалению, в современных дискуссиях по теме ИИ научные споры часто подменяются завышенными ожиданиями от скорого внедрения ИИ (см. также [1]) и значительным сужением темы ИИ, которая оказалась сведена лишь к машинному обучению (МО) на основе искусственных нейронных сетей (НС). Отголоски таких дискуссий видны даже на уровне Национальной стратегии РФ по ИИ, принятой в 2019 [8]. Многие философы, психологи, медики и биологи уверены, что мозг человека работает совсем не так, как искусственная НС, и не может быть сведён к одному жёсткому алгоритму - это гораздо более сложная адаптивная система, базирующаяся на принципах самоорганизации и эволюции, изменяющая свою структуру и алгоритмы по ходу работы. Поэтому нужны фундаментальные исследования для выработки базовых принципов, моделей и методов построения ИИ.

При этом за бортом нашей Национальной стратегии пока остались онтологии, базы знаний (БЗ), методы рассуждений и принятия решений, методы синтеза и анализа сложных конструкций, умные кибер-физические системы, цифровые двойники (ЦД), автономные системы, системы анализа как «больших», так и «малых» данных, и ряд других направлений. В этом плане Национальная стратегия по ИИ США с видением и дорожной картой на 20 лет вперёд, опубликованная в 2019 году [18], содержит куда больше перспективных направлений ИИ, которые уже сегодня на практике помогают управлять самолётами и аэропортами, грузовиками и фабриками, цепочками поставок и т.д.

Признавая всю важность МО на базе НС, научные и практические результаты мирового уровня следует искать на стыке разных дисциплин в конвергенции различных технологий ИИ и интеграции полипредметных знаний.

В этой связи формализация знаний в виде онтологий и БЗ в рамках *Semantic Web* рассматривается как одно из фундаментальных направлений для создания ИИ. Действительно, какой же может быть «интеллект» без использования знаний современных учебников, на основе чего ИИ будет понимать контекст ситуации, делать выводы и принимать решения? Знания по географии, математике и физике, инженерному делу и другим наукам пока нельзя представить, обрабатывать и использовать методами МО. И если условия реального мира, при которых обучалась НС, изменились, то необходимо переобучать созданную ранее систему МО или нужно будет начинать обучение заново, но кто должен заметить этот факт и начать это вовремя делать?

По оценкам экспертов [18], человеку на жизнь требуется хранилище на 10^9 фактов для его БЗ. Объём онтологии *Google Knowledge Graph place* в 2019 году оценивался в 1 миллиард сущностей и 70 миллиардов утверждений, у *Microsoft*, для сравнения, 2 миллиарда сущностей и 55 миллиардов утверждений. На повестке дня американской концепции уже в 2019 году было создание национальной сети знаний *Open Knowledge Network (OKN)*, которая объединит знаниевые ресурсы всей страны как части национальной платформы по ИИ США.

Ещё одной ключевой сферой ИИ, не нашедшей отражения в Российской стратегии по ИИ, является распределённое принятие решений, которое всё больше становится коллективным для стремительно развивающихся систем умного Интернета вещей и автономных систем управления, начиная с беспилотных автомобилей, самолётов, кораблей и т.д.

Компанией Гартнер² 2020 год был объявлен годом «автономных вещей», которые по мнению компании уже прошли большую эволюцию от «цифровых» к «умным». Ожидается, что на следующем этапе автономные вещи, обладающие собственным ИИ, «заговорят» друг

² Gartner. - <https://www.gartner.com>.

с другом и в научную повестку войдут вопросы семантической интероперабельности систем ИИ, которые будут не только обмениваться данными, но и вести переговоры для согласования решений. Дорожная карта научных исследований по ИИ США [18] в качестве ключевых выделяет такие направления, как связность ИИ систем (*Integrated Intelligence*) и их осмысленное взаимодействие (*Meaningful Interaction*), наряду с разными видами самообучения в системах (*Self-Aware Learning*). Этот документ готовили 90 экспертов из 40 организаций США, работающих в области ИИ, хотя он также содержит ряд спорных моментов, как это, наверное, и должно быть в такой стратегически перспективной и инновационной сфере.

Наконец, нельзя не сказать о все чаще упоминаемом «сильном ИИ» *AGI (Artificial General Intelligence, Strong AI и Full AI)*, адекватной модели которого пока нет в принципе, сейчас становится главным вызовом для каждой передовой страны. Нужны модели устройства мира и объяснения феномена сознания, базирующиеся на этих моделях методы рассуждений, воспроизводящие логику здравого смысла, обеспечивающие представление знаний, принятие решений и планирование действий, обучение в условиях неопределённости. Нам еще только предстоит научиться описывать для ИИ то «сокровенное» знание, с которым рождается человек, и то «обыденное» знание, которое он приобретает в течение своей жизни, а также моделировать инстинкты, интуицию, мотивацию, чувство и сопереживание, прозрения, мудрость и другие пока совершенно непознанные аспекты интеллекта человека.

Научной основой сильного ИИ на сегодня можно считать лишь теорию сложных адаптивных систем с присущей ей видением нелинейной термодинамики в части возникновения «сложного из простого» (порядка из хаоса), автокаталитическими реакциями, устойчивыми неравновесиями, фрактальной структурой и т.д. Это влечёт за собой одно из возможных видений ИИ как спонтанно возникающего, адаптивного, самоорганизующегося и эволюционирующего, недетерминированного, движимого к смыслам через разборы многосторонних конфликтов и поиск устойчивых неравновесий и балансов интересов, что кардинально противостоит традиционной линейности, детерминизму и редукционизму современной науки в ИИ.

Но и этот вопрос уже вышел из сферы научных дискуссий, и в 2019 году Минобороны США объявило первый конкурс на создание ИИ «здравого смысла» на 1.7 млрд долларов; возможно, это лучше всего отражает глубокое понимание всей сложности, актуальности и значимости решения проблемы ИИ для будущих поколений.

2 Цели и задачи Комитета по ИИ НОЦ «Инженерия будущего»

Главная цель Комитета по ИИ НОЦ «Инженерия будущего» - создать полипредметное и междисциплинарное сообщество единомышленников на стыке разных направлений в области ИИ, включая методологов, постановщиков задач из промышленных предприятий разных индустрий, академических учёных, преподавателей и исследователей из университетов, разработчиков ИИ систем из технологических компаний и стартапов, предпринимателей, управленцев, пользователей и других специалистов с разной культурой и опытом, возрастом и убеждениями, для совместной научной и практической работы.

Задачей Комитета по ИИ, выработанной сообществом и объединившей его участников, стало создание открытых инструментальных и прикладных платформ, продуктов и сервисов ИИ мирового уровня для цифровой трансформации предприятий, в первую очередь, для повышения качества и эффективности управления современными предприятиями и группировками автономных роботов (малых космических аппаратов - МКА, дронов, беспилотных автомобилей и др.), которые будут всё больше сотрудничать с людьми и заменять работников предприятий в различных процессах.

В ходе стратегической сессии, проведённой в НОЦ «Инженерия будущего» 23-25 апреля 2021 года было выработано основное направление работы Комитета по ИИ и сформулирован научно-технологический проект «Создание серийно-массового производства интеллектуальных систем управления ресурсами (ИСУР), персонализируемых путём создания ЦД процессов управления предприятиями, БЗ и мультиагентных технологий (МТ), а также МО, предиктивной аналитики и других перспективных моделей, методов и средств ИИ».

Выбор задачи создания ИСУР для повышения качества и эффективности управления промышленными предприятиями и группировками роботов обусловлен поиском применений там, где можно быстро получить экономический эффект. Так, например, повышение эффективности использования ресурсов даже на 1 % при сборке космических аппаратов, самолётов или вагонов за счёт внедрения ИСУР даёт значительный годовой эффект.

Задачами предлагаемого проекта, отражающего указанные приоритеты предприятий промышленности, являются:

- разработка принципов построения, моделей, методов и алгоритмов функционирования нового поколения ИСУР предприятий и робототехнических комплексов на основе ЦД, БЗ и МТ, а также технологий МО, предиктивной аналитики и других методов ИИ;
- создание линейки ИСУР в виде продуктов и сервисов для поддержки всех стадий жизненного цикла (ЖЦ) по проектированию, производству и эксплуатации сложных высокотехнологичных изделий (ВТИ), включая:
 - управление ресурсами в комплексных проектах разработки ВТИ (например, специализированных робототизированных комплексов);
 - управление ресурсами в производстве ВТИ (например, сборка самолёта);
 - управление ресурсами на стадии эксплуатации ВТИ (например, управление группировкой МКА с интеллектом роя);
- построение инструментальной «фабрики» ИСУР в виде открытой интеграционной цифровой среды, комплексировавшей цифровые платформы (ЦП) инфраструктурного, инструментального и прикладного типа [19], которая будет построена по методологии *DevOps*³ и позволит предприятиям своими силами развивать и модернизировать такие системы различных производителей;
- создание цифровой сетевидной *p2p* платформы и экосистемы эмерджентного интеллекта (ЭИ), определяемого взаимодействием ИСУР и других умных сервисов, которые позволят создать доверенную среду масштаба предприятия, холдинга, корпорации и отрасли для управления цепочками кооперации предприятий и управления контрактами ЖЦ ВТИ на принципах партнёрства, разумного доверия и солидарной экономики;
- разработка методики цифровой трансформации предприятий при внедрении систем ИИ, включая положения об организации и управлении, бизнес-процессах и регламентах, принципах мотивации сотрудников и оценки экономического эффекта от внедрения ИИ;
- создание учебных курсов и материалов для обучения и переобучения сотрудников промышленных предприятий, а также школы молодых конструкторов систем ИИ для университетов и предприятий.

В 2021 году планируется проведение первых совместных разработок участниками Комитета по ИИ по созданию открытой инструментальной среды и линейки прикладных ИСУР на основе созданных ранее моделей, методов и алгоритмов. Такие проекты требуют проведения системного анализа предприятий и детального сбора требований, выяснения особенностей задач планирования и их доработки, проведения исследований получаемых результатов, ин-

³ *DevOps* (от англ. *Development* и *Operations*) — методология активного взаимодействия специалистов по разработке, по информационно-технологическому обслуживанию и по взаимной интеграции рабочих процессов друг в друга для обеспечения качества продукта.

теграции с существующими системами предприятий, оценки эффекта от внедрения и т.д. При этом методы и средства планирования ресурсов должны сочетаться с анализом данных, МО, управлением знаниями, предиктивной аналитикой и т.п.

Одной из актуальных задач крупных промышленных предприятий является повышение эффективности управления ресурсами в комплексных проектах НИОКР ВТИ, в особенности, при участии многих субконтракторов. Создание ИСУР для сквозного многоуровневого управления такими проектами в общем пуле ресурсов каждого предприятия в реальном времени, причём с отдельным планированием и учётом затрат по каждому проекту – сложная задача, требующая применения ИИ, создания БЗ изделий и технологий, оценки трудоёмкости задач, учёта компетенций специалистов и т.д. Большой опыт специалистов МАК «Вымпел» по реализации комплексных проектов создания ВТИ поможет создать первую версию такой ИСУР и БЗ, а также отработать модели и методы для решения этой задачи на практике.

Задачи проектирования и производства ВТИ актуальны для концерна «Уралвагонзавод» ГК «Ростех», в который входит несколько десятков крупных промышленных предприятий. В настоящее время каждое предприятие создаёт свои информационно-учётные системы, причём во многом собственными силами, и вынуждено содержать крупные информационно-технологические (ИТ) подразделения, достигающие численности крупной ИТ компании. Эти системы, как правило, требуют больших усилий для поддержания, модернизации и интеграции, зачастую дублируют функции друг друга или оставляют неавтоматизированными важные бизнес-процессы предприятий. С переходом к ИСУР для проектирования и производства новых ВТИ, где работа с данными уступает место работе со знаниями, а учётные системы уступают место системам принятия решений, производительность этих подразделений и полезность результатов их работы возрастает многократно при заметном снижении усилий на поддержание таких систем. Можно представить себе потенциальную экономию в масштабах концерна, если команды этих предприятий получают в свои руки общий программный инструмент, технологию и платформу для создания совместимых и взаимодополняющих сервисов, причём с перспективой их будущего сквозного применения в «Ростехе».

Ещё одной из масштабных задач по созданию ИСУР является задача автоматизации обработки обращений в ГВЦ РЖД, в котором имеется более 2500 информационных систем, которые обслуживают около 4000 сотрудников. Число обращений пользователей, распределённых по всей стране, достигает 8 миллионов и более в год. Имеется программа, играющая роль диспетчера-распределителя, которая автоматически распределяет входные обращения между работниками, но делает это без учёта сложности и трудоёмкости задачи, загрузки и компетенций работников, сроков ответа по договору, географических зон работы сотрудников и т.д. В этой связи актуальна задача создания виртуального «умного *Uber*⁴», который будет знать особенности задачи и компетенции работника и непрерывно адаптивно планировать и оптимизировать задачи для сотрудников, а также вести мониторинг и контроль сроков исполнения, с перспективой интеграции такой ИСУР с чат-ботами.

Принципиально новой задачей этапа эксплуатации ВТИ является создание группировки МКА с роевым интеллектом, создаваемой в консорциуме с РКК «Энергия» по проекту ГК «Роскосмос», где головным исполнителем определён СамГТУ, а в цепочку научно-технической кооперации входит ряд ведущих университетов: МАИ, МГТУ, МИЭТ, НИИЯФ МГУ, Сколтех, ТПУ, ТУСУР, БФУ, Военмех, Академия Можайского, АлГУ, ОмГТУ и КузГТУ. Создаваемый роевой интеллект группировки МКА реализуется за счёт автоматиче-

⁴ *Uber* – это приложение, которое позволяет в реальном времени находить ближайших свободных водителей и самостоятельно формировать заказ. Приём заявки сопровождается автоматическим расчётом времени и стоимости заказа (<https://ru.wikipedia.org/wiki/Uber>).

ского принятия решений на борту каждого МКА при прямом взаимодействии между МКА для согласования принимаемых решений при проведении заданных работ.

В ходе этого проекта планируется отработка виртуальной фабрики МКА для управления распределёнными процессами их проектирования, производства и испытаний на основе первой межотраслевой БЗ по созданию МКА, содержащей описание их основных систем и компонент, технологий сборки, требуемых ресурсов и т.д.

Такого рода разработка полезна для РКЦ «Прогресс» и других предприятий Роскосмоса.

Важный круг возникающих новых научно-технических задач такой разработки связан с выбором принципов построения ИСУР, разработкой моделей и методов коллективной работы агентов, устройства конструкций агентов и их сообществ, представлением знаний, включая стандарты, принципы построения и модификации в реальном времени онтологий, проектированием функций и архитектуры рассматриваемых ИСУР, инструментальной среды, сетцентрической платформы и цифровых экосистем ИСУР, информационной и семантической интероперабельности ИСУР и т.д.

Дополнительный эффект может принести использование в ИСУР моделей и методов МО, нечётких гибридных систем, предиктивной аналитики и др.

Выбор столь разнообразных первых совместных проектов, покрывающих все основные стадии ЖЦ ВТИ, должен позволить всем участникам Комитета по ИИ применить свои заделы и компетенции для скорейшего внедрения результатов в практику.

Кроме того, предполагается установление партнерства и активное взаимодействие с такими развивающимися в настоящее время кросс-отраслевыми структурами, как Ассоциация «ИИ в промышленности» Санкт-Петербурга (<https://t.me/piterai>).

3 Цифровые платформы для цифровой трансформации предприятий

По современным представлениям [19-20], цифровая трансформация – это не просто изменение бизнес-моделей, технологий предоставления услуг и формирование новых ожиданий клиентов, но процесс изменения модели коммуникаций и принятия решений, переход к принятию решений в режиме реального времени на основе технологий ИИ.

Основным инструментом такой трансформации выступает цифровая платформа (ЦП).

ЦП трактуется как система алгоритмизированных взаимовыгодных взаимоотношений значимого количества независимых участников отрасли экономики (или сферы деятельности), осуществляемых в единой информационной среде, приводящая к снижению транзакционных издержек за счёт применения набора цифровых технологий работы с данными и изменения системы разделения труда.

Типология ЦП включает: инструментальные, инфраструктурные и прикладные ЦП, которые обычно существенно отличаются по своему назначению и составу:

- *инструментальная* ЦП, в основе которой находится программный или программно-аппаратный комплекс (продукт), предназначена для создания программных или программно-аппаратных решений прикладного назначения;
- *инфраструктурная* ЦП обеспечивает единую информационную среду взаимодействия участников платформы, доступ к источникам данных и формирование программных процессов обработки информации на основе комплексирования сервисов, созданных с использованием инструментальной ЦП;
- *прикладные* ЦП обеспечивают взаимодействие участников экономической деятельности при обмене определёнными экономическими ценностями на заданных рынках.

Сложившаяся трактовка понятия «платформа» в области информационно-коммуникационных технологий связана с такими понятиями как аппаратная платформа, про-

граммно-аппаратная платформа, платформа программирования и т.п. Эти понятия обычно используют при обсуждении проблемы выбора базовых архитектурных решений и технологий построения информационной основы любого предприятия. Исходя из типологии ЦП, понятие «платформа» относится к инструментальному типу ЦП и отдельным составляющим инфраструктурной ЦП, связанным с программными решениями внутри неё.

Таким образом, ЦП являются основой для цифровой трансформации предприятий [20], позволяя радикально изменить модель коммуникаций и принятия решений в процессе производства продуктов и предоставления услуг [21]. Необходимыми элементами ЦП, по мнению компании *Futurum Research* [22], которая специализируется на консалтинговых услугах в области цифровой трансформации, являются управление данными, встроенная аналитика, МО и принятие решений в режиме реального времени. Передовые цифровые компании за счёт автоматизации бизнес-процессов в рамках платформы принимают решения точнее, поскольку используются реальные актуальные данные, и быстрее за счёт использования технологий обработки и анализа данных в реальном времени на основе ИИ.

ЦП являются основой функционирования современных цифровых экосистем, которые определяются компанией *Gartner* как взаимозависимая группа субъектов и приложений для предприятий, людей и вещей, совместно использующих стандартизированные ЦП для достижения взаимовыгодной цели.

В настоящей статье предлагается сделать следующий шаг в определении и построении цифровых экосистем, следуя определению Википедии⁵. В этом понимании цифровая экосистема – это вид сложных социотехнических систем, распределённых, адаптивных, открытых, со свойствами самоорганизации, масштабирования и устойчивости развития, построенных на принципах формирования природоподобных (биологических) экосистем, где поддерживается кооперация и конкуренция между отдельными автономными системами ИИ для обеспечения разнообразия их видов. В сравнении с традиционными платформами и экосистемами, в которых продолжают действовать и принимать решения люди, в новых цифровых экосистемах принимать решения и взаимодействовать между собой начинают автономные системы ИИ, точнее – их агенты, которые формируют сначала колонии себе подобных систем и далее более сложные экосистемы из самых разнообразных в видовом отношении систем [23, 24]. Построение такого рода цифровых экосистем ИИ на основе формализованных моделей знаний, как ожидается, станет основой нового уклада Индустрии 5.0 и Общества 5.0 [15, 16].

В сфере Индустрии 4.0 примерами существующих ЦП, которые формируют вокруг себя цифровую экосистему в более привычном представлении, являются продукты *MindSphere* фирмы *Siemens* и *GE Predix* компании *General Electric*. Решения на основе *MindSphere* включают: комплексное сквозное решение для предприятия *Digital Enterprise Suite* как прикладная ЦП, базовая инфраструктурная ЦП в виде облачной открытой операционной системы *MindSphere* для *Internet of Things (IoT)*, предоставляемой по принципу «платформа как услуга» *Platform as a Service (PaaS)*, и инструментальная ЦП с магазином приложений *MindApps*.

Однако многие пользователи ЦП Индустрии 4.0 уже сегодня испытывают сложности с использованием важнейшего элемента ЦП – технологий ИИ, в т.ч. МО, а также недостаток специалистов в сфере интеллектуальной обработки данных. Можно ожидать, что в ближайшие годы ситуация только ухудшится, и большинство фирм не смогут найти экспертов, способных создать модели МО и интегрировать их в повседневную деятельность предприятия. Необходим качественный скачок при реализации важнейшего элемента ЦП, который связан

⁵ *Digital ecosystem*. - https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_ecosystem.

с созданием лоу-код и но-код⁶ приложений на основе ЦП ИИ всех типов, и также их интеграцией и обеспечением их семантической интероперабельности.

Цифровые экосистемы ИИ в новом понимании должны позволить решать эти проблемы и формировать автоматические цепочки принятия решений сервисов-агентов в многовариантном пространстве действий, а в перспективе перейти к моделям «сильного ИИ».

4 Обоснование выбора ключевых технологий ИИ

В качестве стратегической линии исследований Комитета по ИИ выбрано направление, связанное с созданием ЦП и экосистем ИСУР с ЭИ на основе онтологического подхода и МТ, которые дополняются методами и средствами управления знаниями, МО, предиктивной аналитики, обработки изображений, распознавания образов и т.п.

Выбор МТ объясняется тем, что в настоящее время любая сложная производственная, логистическая или другая система может быть представлена набором взаимодействий более простых систем до любого уровня детальности, что обеспечивает фрактально-рекурсивный принцип построения многоярусных систем, построенных как открытые цифровые колонии и экосистемы ИИ. В основе МТ лежит распределённый или децентрализованный подход к решению задач, при котором динамически обновляющаяся информация в распределённой сети интеллектуальных агентов обрабатывается непосредственно у агентов вместе с локально доступной информацией от «соседей». При этом существенно сокращаются как ресурсные и временные затраты на коммуникации в сети, так и время на обработку и принятие решений в центре системы (если он все-таки есть). Пример потенциального применения МТ – уже упомянутые выше, успешно и быстроразвивающиеся технологии *Uber*-такси на основе прикладной ЦП, где есть большой потенциал для развития прямых взаимодействий между заказами, машинами, пассажирами и грузами, а также умными знаками для движения, умными светофорами и т.д.

Термин «уберизация», происходит от названия компании такси *Uber* и её мобильного приложения для поиска, вызова и оплаты такси или частных водителей и доставки еды. Он означает тренд на замену посредников (людей или организаций) ЦП, обеспечивающей возможность проведения прямых сделок между клиентами и поставщиками услуг и резко снижающей транзакционные издержки. С помощью приложения *Uber* заказчик резервирует машину с водителем и отслеживает её перемещение к указанной точке. В большинстве случаев водители используют свои собственные автомобили, а также машины таксопарков или партнёров, при этом обычно 67 % оплаты переходят водителю, 33 % перечисляются *Uber*.

Первая разработка такого рода систем появилась для международной компании корпоративного такси *Addison Lee* (UK), реализованной в 2006-2008 годах на основе МТ при участии соавторов настоящей статьи [25]. В этой разработке впервые появилась возможность подключать внешних (*free-lance*) водителей и целые таксопарки в любой момент времени. В дальнейшем этот принцип нашёл свою реализацию в Яндекс-такси и других решениях, но возможности МТ в этих решениях далеко не полностью используются, т.к. обычно там машина ищется ближайшая и назначается на заказ всего лишь один раз, в самом начале. При этом в решении для *Addison Lee* агент каждого заказа обычно до 4-х раз меняет свое решение в ходе переговоров с другими заказами и машинами, когда первое решение уже найдено, но ещё имеется запас времени доезда до клиента. Дело в том, что в ситуации высокой неопределённости всё постоянно меняется: приходят новые заказы, отменяются уже принятые заказы,

⁶ *Low-code* — это концепция создания информационных систем с помощью графических интерфейсов с минимальным использованием ручного написания кода или вообще без него (*no-code*).

появляются новые машины или планируемые машины выходят из работы и т.д. Предложенный МТ подход позволяет иметь более гибкий маневр ресурсами и «дожимать» прибыль до самой последней секунды, что в итоге даёт более эффективное решение для всего парка такси. Более подробно опыт разработки МТ систем можно найти в работах [26, 27].

Применение МТ также может позволить улучшить взаимодействие и возможности кооперации предприятий внутри стратегических альянсов, в деятельности которых предприятия участвуют. Эта тенденция будет постепенно охватывать всё больше организаций, работающих на всех стадиях ЖЦ проектирования, производства и эксплуатации ВТИ, таких как космический аппарат, самолет, двигатель, локомотив, автомобиль и другие [28, 29].

Перспективным применением МТ является моделирование живых систем, например, создание ЦД растений и их биоценозов; живых организмов, включая организм человека, где функциональная модель организма могла бы служить основой ЦД физиологии человека и применяться для выработки подходов к лечению и контролю результатов. К такого рода разработкам и применениям ещё только планируется подступить в сотрудничестве с соответствующими комитетами НОЦ «Инженерия будущего».

Онтологический подход выбран как основа для построения инструмента настройки МАС на новые предметные области (ПрО) и приложения, чтобы обеспечить возможность настраивать семантику управления ресурсами для каждого предприятия, удешевить процесс разработки и сократить время разработки новых ИСУР для конкретных предприятий.

Нарастающая конвергенция современных ИТ приведёт к созданию кибер-физических ИСУР предприятий как их адаптивных и умных ЦД, в которых объединяются датчики, вычислительные модули, коммуникационные компоненты, исполняющие механизмы, модели объектов и интеллектуальные средства, включая БЗ и средства рассуждений и вывода. Такие системы будут объединяться на базе ЦП в цифровые экосистемы корпоративного и отраслевого уровней для поддержки кооперации предприятий, где автоматическое коллективное согласованное принятие решений будет осуществляться на основе онтологий и БЗ отрасли.

Новое представление о ЦП и цифровых экосистемах ставит вопрос об институциональном типе организаций, которые используют ЦП (о постплатформенных институтах). ЦП и цифровая экосистема, которые являются инструментами организаций, не могут быть отождествлены с институционально-управленческим типом и организационной структурой деятельности, использующей ЦП. ЦП обеспечивает снижение транзакционных издержек в области обмена знаниями и информацией находящихся на ней агентов, но не способна формировать стратегические цели следующего уровня и воспроизводить ресурс, используемый на ней (например, «уберизация» использует знания, опыт и квалификацию менеджеров и водителей такси, но не отвечает за их подготовку и пенсионное обеспечение).

Разработка нового типа постплатформенных институтов, использующих ЦП и цифровые экосистемы, ещё одно из важнейших направлений дальнейших исследований.

5 Концепция цифровой экосистемы эмерджентного ИИ

Традиционные рассуждения об ИИ [1, 13] не всегда учитывали виды решаемых задач и уровни интеллектуальной деятельности. В реальной практике такое различие существует, и попытки определить уровни ИИ для разных ПрО делались и продолжают делаться [30].

В настоящей стратегии приоритет даётся решению задач управления ресурсами потому, что мир вокруг ежедневно становится всё более сложным, неопределённым и турбулентно динамичным [31]. Этот вызов требует качественного и быстрого решения возникающих новых сложных задач и принятия решений, в частности, по управлению ресурсами. Для реше-

ния такого рода проблем требуются принципиально новые подходы, модели, методы и средства ИИ, которые способны адаптироваться вместе с изменяющейся средой.

Одно из наиболее передовых и востребованных направлений в новом управлении будет связано с созданием «умных вещей», построенных как интеллектуальные кибер-физические системы, которые совмещают в себе датчики, вычислительные модули, БЗ и средства принятия решений, а также средства сетевой коммуникации, как отмечалось выше. Примеры таких умных вещей уже охватывают мир бытовой техники, где «умный кофейник» из композита «продаёт» обратно в сеть энергию при остывании, а «умный холодильник» меняет режимы своей работы при обнаружении новых продуктов.

Ожидается, что «умный самолёт» будет содержать в себе сотни тысяч «умных деталей», способных принимать решения и взаимодействовать с людьми и себе подобными умными вещами. «Умное крыло» самолета будет состоять из отдельных «умных перьев», чтобы более эффективно управлять режимами полета. В «умном двигателе» «умные лопатки» будут договариваться под каким углом встречать воздушный поток и как избежать помпажа. Такой двигатель при возникновении проблемы должен уметь найти ближайший «умный сервис» космического роя спутников, чтобы связаться с наземными службами и быстрее сделать ремонт.

Подобные структуры будут характерны для любых производственных, транспортных и других объектов, которые будут состоять из сотен тысяч и миллионов малых и больших систем ИИ, непрерывно взаимодействующих друг с другом для поиска согласованных решений. В результате ЦП и экосистема любой отрасли будет строиться через взаимодействия ЦД предприятий и ЦД ВТИ, например, агент локомотива будет общаться с агентами разных депо, выбирая себе лучшее по ситуации, в зависимости от характера прогнозируемой поломки. В такого рода приложениях будут стоять задачи проектирования и реализации систем «коллективного интеллекта», который будет возникать в цифровых экосистемах ИИ за счёт их прямого и косвенного взаимодействия; распределённого, базирующегося на знаниях, гибкого и эффективного в принятии решений, постоянно адаптирующегося к изменяющимся условиям среды и обучающегося на основе своего и чужого опыта.

Таким образом, наряду с созданием отдельных «умных вещей», возникает задача построения ЦП для систем «коллективного интеллекта» этих вещей и организаций.

Например, мир «умной фабрики» может быть представлен агентами заказов, изделий и их составных частей, технологических процессов и задач, продуктов, станков и рабочих, материалов и инструментов. Агент сервиса планирования работы такой фабрики может при этом дополняться агентами сервисов распознавания образов, понимания текста, МО, коммуникации с пользователями и т.д. Такие сервисы могут быть заранее собраны разработчиками в инструментальной среде разработки или самими пользователями в *no-code* или *low-code* платформе в цепочки для реализации заданных типов возникающих задач.

Но что делать, если каждый день на предприятии возникают новые проблемы и непредвиденные события разрушают казавшиеся на бумаге идеальными планы?

В этой ситуации требуется совершенно другой подход, когда нужные сервисы должны будут сами собираться в цепочки для решения проблемы. Для этого требуются механизмы самоорганизации агентов сервисов при решении возникающих непредвиденных проблем; необходимы недетерминированные цепочки взаимодействий агентов, предпринимающих действия для уточнения информации, поиска новых вариантов решений и т.д. На основе такого подхода может быть сформирован самоорганизующийся «коллективный интеллект» фабрики, позволяя ей воспринимать ситуацию, планировать свои действия, контролировать результаты, коммуницировать с работниками и обучаться из опыта.

Предлагаемое видение систем ИИ оказывается по своей природе очень близким самоорганизующимся диссипативным структурам, формирующимся в нелинейных термодинамических системах в трактовке проф. И. Пригожина (Бельгия), получившего в 1978 году Нобелевскую премию по химии за открытие автокаталитических реакций в органических растворах, что послужило отправной точкой для создания целой новой науки о сложных адаптивных системах [25-27]. Гипотеза предлагаемого подхода и состоит в том, что любая интеллектуальная система должна строиться как такая сложная адаптивная система, способная к самоорганизации, т.е. установлению и пересмотру связей между агентами, а собственно «интеллект» всей системы и должен проявлять себя автокаталитическими цепочками согласованных изменений решений программными агентами.

Такой тип коллективного интеллекта «умных вещей» и «умных организаций», возникающий в ходе взаимодействия программных агентов их представителей, и назван «эмерджентным ИИ» или для краткости «эмерджентным интеллектом» (ЭИ) (от англ. «*Emerge*» – появляться, возникать внезапно), определяя его как спонтанно возникающую, под действием внешних событий (реактивно) или из внутренних причин или мотивов (проактивно), недетерминированную цепочку согласованных изменений состояний агентами, находящими решение новой проблемы или повышающими ценность уже имеющегося решения путём самоорганизации, т.е. путём изменения связей между ними в ходе «переговоров», связанных с выявлением конфликтов и их разрешением до установления состояния консенсуса как формы «конкурентного равновесия» на внутреннем виртуальном рынке МАС.

Чем лучше и быстрее реагирует такая система на возникающие непредвиденные ситуации, максимизируя свои показатели, тем будет лучше созданный ЭИ, за меньшее время находящий лучшие решения. Впервые определение ЭИ и краткая характеристика принципов построения систем ЭИ для адаптивного планирования представлены в работе [32].

Понятия «эмерджентность» уже используется в теории сложных адаптивных систем для объяснения феномена появления у системы свойств, не присущих её элементам в отдельности; несводимость свойств системы к сумме свойств её компонентов⁷. Аналогичными понятиями в теории систем и других областях знаний являются самоорганизация, синергичность, холизм, системный эффект, сверхаддитивный эффект, некомпозициональность и др. Эмерджентные структуры имеют место во многих природных явлениях, от физических до биологических. Например, через такие процессы самоорганизации и автокаталитические реакции возникают сложные симметричные фрактальные паттерны в снежинках, зарождаются ураганы и галактики, развиваются цепные реакции в лазерах и атомных бомбах. А также возникают «пробки» машин на дорогах, когда «глобальная структура» (пробка), порождённая локальными взаимодействиями водителей, начинает влиять на поведение и принятие решений этих водителей, её породивших и пытающихся из неё выбраться. По схожим принципам множественных взаимодействий с положительными и отрицательными связями случаются социальные революции, происходят открытия и изобретения и т.д.

Подобные процессы должны будут наблюдаться и в природо-подобных цифровых экосистемах ЭИ, построенных на фундаментальных принципах самоорганизации и эволюции, которых ещё пока нет в традиционной кривой Гартнера [33], что даёт основание и сохраняет шанс надеяться на возможность получения результатов мирового уровня в этой сфере.

В настоящем проекте будет сформирована более общая концепция ЭИ, рассматриваемая как основа для построения «сильного ИИ» в будущем. Предполагается, что именно в развитии ЭИ как сложной адаптивной системы следует вести перспективные исследования и разработки по «сильному интеллекту», моделируя такие нелинейные эффекты этой теории, как

⁷ *Emergence science*. The Editors of Encyclopaedia Britannica. - <https://www.britannica.com/science/emergence-science>.

катастрофы и резонансы, осцилляции и др. Эти, казалось бы, деструктивные явления, могут, наоборот, позволить моделировать такие творческие акты, как изобретения и открытия, случающиеся у людей как неожиданные прозрения (инсайты), в основе которых лежат процессы самоорганизации с непрерывным переходом от порядка – к хаосу, и наоборот. Именно такие процессы самоорганизации наблюдаются в живой и неживой природе в случаях, когда из «простого» строится «сложное», влияющее потом на поведение «простого».

Для создания экосистем ЭИ требуется развитие теории сложных адаптивных систем, выработка подходов к «управляемой самоорганизации» и исследование качества, эффективности, обратимости и устойчивости решений разработанных моделей и методов коллективного принятия решений для решения различного рода сложных задач.

Для практических применений рассматриваемые системы ЭИ создают возможность научно-технического прорыва, т.к. в настоящее время традиционные *ERP* и *MES* являются информационно-учётными системами, не приспособленными для принятия решений в реальном времени и работы в режимах «дополненного интеллекта» и, тем более, «автономного интеллекта», берущего управление предприятием на себя.

Запрос бизнеса и индустрии на интеллектуализацию и переход от обычных информационных систем к ИСУР, а в перспективе к автономным системам ИИ, связан с возможным экономическим эффектом, достигаемым через сокращение численности людей, занятых в рутинной управленческой работе. Владельцы и менеджеры предприятий стремятся повысить эффективность своего бизнеса не только за счёт цифровой трансформации бизнес-процессов, но и за счёт их интеллектуализации, а заказчики ищут возможности снижения цен и рисков.

Цифровая экосистема ЭИ должна быть недорогой, гибкой и удобной, работать как «дополненный интеллект», учитывать индивидуальные особенности каждого предприятия.

При этом всё большее число промышленных предприятий не хотят отдавать «на сторону» такие проекты, беспокоясь за утрату приобретённых ценных знаний, а хотят создавать новые системы у себя, что делает актуальной задачу создания открытой платформы разработки цифровых экосистем ЭИ.

Требования к открытой инструментальной ЦП создания ЭИ включают:

- масштабирование решений ЭИ для крупных корпораций и отраслей;
- наличие предустановленных онтологий и БЗ отраслей;
- быструю настройку онтологий и правил принятия решений агентами;
- сочетание вариантов «общей шины» и «без общей шины» для взаимодействия агентов;
- непрерывное развитие платформы сообществом с бесплатной лицензией для исследований и обучения;
- методологию создания, внедрения и оценки эффекта от применения ЭИ;
- сопровождение инструкциями, курсами обучения и т.д.

Очевидно, что традиционные формы сотрудничества предприятий в науке не очень подходят для такого рода разработок, которые не могут быть заранее расписаны и бюджетированы на многие годы вперёд, и где цели и задачи динамично меняются как от требований промышленных заказчиков, так и результатов проводимых исследований и разработок.

Требуется разработка новых подходов к управлению такого рода сложными и инновационными научно-техническими проектами в области ИИ для управления ресурсами на всех стадиях ЖЦ ВТИ, создаваемые результаты которых сразу же должны внедряться в практику и давать обратную связь разработчикам так быстро, как ни в одной другой области ВТИ.

6 Организация работы Комитета по ИИ по микромоделю «Наука 5.0»

В настоящее время лаборатории, научные группы, отдельные исследователи по тематике ИИ работают практически в каждом университете и промышленном предприятии.

Основные проблемы, возникающие перед участниками ИИ разработок, включают:

- исследователи ИИ из университетов обычно разрозненны как отдельные «атомы» и при этом чаще конкурируют друг с другом, чем кооперируются, что не позволяет им складываться в сложные «молекулы» проектов мирового уровня;
- научные группы по ИИ для получения финансирования вынуждены постоянно менять темы и «перебегать» от гранта – к гранту, размениваясь «на мелочи», что делает команды нестабильными и не позволяет системно развивать прорывные стратегические идеи;
- разработчики ИИ из частных технологических компаний ориентированы на коммерческие проекты, где нет фундаментальных заделов в науке, а также нет содержательных и финансовых возможностей для проведения инновационного поиска, исследования, поисковых и рискованных экспериментов и т.д.;
- государственные промышленные предприятия не имеют специалистов с компетенциями исследователей и разработчиков по ИИ, которые были бы способны ставить задачи и превратить знания в отраслевые продукты, а их руководители не всегда желают брать на себя такие риски и давать подчинённым свободу разработки и исследований;
- в академических институтах работают учёные по ИИ, как правило, глубоко встроенные в научные иерархии и со сложившейся консервативной научной культурой, а в новых проектах нужен дух творчества, свободы и риска, технологического предпринимательства.

Как следствие сложившейся ситуации, возникает растущий «зазор» между участниками рынка ИИ, который препятствует прорывным инновациям.

Предполагается, что для выхода из этого замкнутого круга и решения возникающей задачи участникам проекта требуется применить подходы Индустрии 5.0 и Общества 5.0, т.е. чтобы участники проекта на себе испытывали предлагаемые ими новые подходы.

Таким образом, передовой характер создаваемого продукта влечёт за собой и инновационный характер предлагаемых методов и средств управления рассматриваемым комплексным проектом, который оказывается близки к идеям и принципам «Науки 5.0» - новой концепции организации научных исследований и разработок, отвечающей принципам Общества 5.0, ещё только зарождающегося в передовых странах мира.

Предлагаются следующие принципы сотрудничества внутри Комитета по ИИ как основы для формирования будущего партнёрского консорциума:

- сетевой межведомственный характер создаваемой виртуальной организации, участники которой продолжают работать в своих организациях;
- полипредметность участников, покрывающих своими знаниями и компетенциями весь ЖЦ разработки ИИ от постановки задач до тестирования и оценки качества решений;
- открытость и добровольность для любых организаций и предприятий, а также частных граждан, имеющих право использовать свои знания и навыки в свободное время;
- создание открытой мультиплатформенной среды (онтологии, агенты, МО, предиктивная аналитика и т.д.), в которую участники готовы предоставлять свои решения и сервисы и откуда использовать компоненты для создания собственных новых решений;
- работа за интерес (не по найму), но с планируемой оплатой за конечный результат с возможностью получать дивиденды знаний при внедрении результатов в практику;
- использование финансирования имеющихся грантов или коммерческих договоров участников для совместной работы на общий результат;
- фиксация результатов, которые могут оплачиваться как живыми деньгами (при наличии грантов), так и через виртуальные акции, токены и другие средства;

- готовность размещать в указанной среде сервисы, которые могут как дополнять друг друга, так и конкурировать;
- концентрация усилий на промышленных разработках, которые дают быстрый эффект предприятиям и приносят участникам внебюджетную оплату за результат;
- получаемая сумма от потребителя набора сервисов на платформе среды распределяется между каждым сервисом и платформой на условиях согласованного тарифа;
- работа в создаваемой общей среде и согласование планов проектов;
- гарантируется полная прозрачность распределения финансовых потоков ещё до начала любого взаимодействия между участниками среды и другие.

Открытость Комитета по ИИ предполагает следующий подход к включению новых участников в партнерство:

- новый участник выражает солидарность и рассматривается как единомышленник и соавтор по разрабатываемой концепции ЭИ и создаваемым сервисам;
- новый участник, к какой бы ветви современного ИИ он не относился, разделяет видение и готов участвовать в дорожной карте создания ЭИ для управления предприятиями;
- новый участник поддерживает спецификацию интерфейса для подключения своего сервиса к разрабатываемой среде;
- новый участник использует онтологические модели предприятий и методы коллективно согласованного принятия решений на базе МТ для достижения консенсуса;
- у нового участника-ИП есть сложные задачи в области управления ресурсами, которые не решаются традиционными моделями, методами и средствами;
- у нового участника-разработчика ИИ есть взаимодополняющие компетенции, технологии и продукты и есть опыт решения реальных задач бизнеса;
- у нового участника-учёного по ИИ есть научные и практические результаты, дополняющие или развивающие концепцию ЭИ;
- приоритетом является меж- и над-отраслевой характер задач, команды и применений;
- у участников проекта есть внутренняя мотивация к решению задач мирового уровня;
- участники проекта готовы объединять свои кадровые, финансовые и другие ресурсы для совместной работы по дорожной карте;
- поддерживаются общие человеческие ценности и принципы интереса, уважения и доверия в совместной работе.

Принципы партнерского сотрудничества «Наука 5.0», когда в одной творческой команде для работы на одну цель объединяются специалисты из промышленных предприятий, учёные и эксперты из университетов и академии наук, разработчики из технологических компаний и стартапов - новые не только для нашей страны, но и для всего мира. Комитет по ИИ попытается создать и отработать эту новую управленческую модель «Наука 5.0» в масштабе НОЦ с целью преодоления всевозможных межведомственных и междисциплинарных барьеров и быстрого выхода на новые научные и практические результаты мирового уровня.

В работе Комитета по ИИ, наряду с ИП, университетами, технологическими компаниями и стартапами, принимают участие и другие партнёрские предприятия и организации, которые призваны катализировать работу Комитета по ИИ по всей связке «задачи-наука-бизнес-технологии-образование» и заинтересованы в развитии нового направления ЭИ:

- Партнёрский центр ГК «Ростех» в инновационном центре «Сколково», ведущий поиск новых продуктов и технологий;
- Институт Шифферса, занимающийся развитием инновационных идей (от замысла до реализации). Научная традиция Института восходит к Московскому методологическому кружку Г.П. Щедровицкого, учеником которого является Ю.В. Громыко;

- Группа компаний *WinBD*, занимающаяся развитием технологического предпринимательства и управлением сложными инновационными проектами.

Предполагается, что Комитет по ИИ должен не только создавать модели и методы, стандарты, технологии, продукты и сервисы ЭИ, но и заниматься обучением, воспитанием и развитием лидеров и специалистов в области инноваций и технологического предпринимательства по ЭИ, включая создание школы молодых конструкторов ЭИ.

Финансирование совместных проектов на начальной стадии осуществляется из источников участников по уже заключенным коммерческим контрактам и выигранным грантам, где есть возможность привлекать друг друга для работы на общую цель.

Список участников Комитета по ИИ открыт и будет постоянно пополняться.

7 Первые промышленные проекты Комитета по ИИ

При выборе первых проектов основной фокус был на ИП, у которых актуальны проблемы управления ресурсами, и где можно применить знания и компетенции, готовые сервисы, продукты и другие заделы участников Комитета по ИИ.

В таблице 1 представлена основная группа потенциальных ИП, заинтересованных в разработке цифровых экосистем ЭИ.

Таблица 1 - Индустриальные партнеры и выбранные проекты разработки цифровой экосистемы ЭИ

№	Наименование участника (ФИО ответственного)	Тема проекта	Текущие результаты
1.	МАК «Вымпел», ГК «Алмаз-Антей» (С.И. Шляев)	Управление ресурсами в комплексных проектах НИОКР сложных ВТИ	Разработана пилотная версия ИСУР-Проекты, которая развернута на сервере предприятия. Проведена апробация в одном из подразделений.
2.	Концерн «Уралвагонзавод», ГК «Ростех» (Р.И. Доронин)	Управление ресурсами в машиностроительном производстве сложных ВТИ	Готовятся показы пилотной версии ИСУР-Производство руководству и специалистам предприятий, входящим в концерн.
3.	РКЦ «Прогресс», ГК «Роскосмос» (Е.М. Севостьянов)	Управление ресурсами по всему ЖЦ сложных ВТИ	Предприятие поддерживает проект «Рой МКА» специалистами и испытательным оборудованием и выступает консультантом по «Виртуальной фабрике МКА».
4.	ГВЦ РЖД (И.И. Баринов)	Управление эксплуатацией ИТ систем для РЖД	Разработана онтология и БЗ и создана базовая версия ИСУР-Эксплуатация для одной из рабочих групп Самарского ИВЦ. Ведётся подготовка контракта.
5.	РКК «Энергия» (А.Г. Чернявский)	Управление группировкой малых космических аппаратов «Рой МКА»	Разработано и согласовано техническое задание на разработку «Рой МКА». Ведётся подготовка контракта.
6.	Партнёрский центр ГК «Ростех» в инновационном центре «Сколково» (С.Н. Зинченко)	Организация совместной исследовательской деятельности и деятельности по трансферу технологий в интересах организаций ГК «Ростех»	Подписано соглашение о сотрудничестве и начата разработка предложений по цифровой трансформации предприятий корпорации.

Большинство предприятий ИП имеет схожие требования в управлении ресурсами:

- вместо одной глобальной системы планирования требуется множество малых, но действующих согласованно;
- переход от централизации к распределённому принятию решений и переговорам;

- согласование планов разного масштаба и уровня принятия решений, а также разного временного горизонта (от горизонта в 3-5 лет до заданий на день);
 - нужен план с учётом доступных именно сейчас ресурсов;
 - дополненный интеллект с перспективой полностью автономных систем распределения, планирования, согласования, мониторинга и контроля (ЦД процессов управления);
 - требуется переход к эволюционирующей интегрированной многофакторной модели, объединяющей разные модели в ЦД;
 - требуются средства автоматизации поддержки принятия решений;
 - нужна поддержка кооперации предприятий в комплексных проектах;
 - инструмент должен ориентироваться на принцип *no-* и *low-code* конструктора;
 - иметь удобный и дружелюбный интерфейс через мобильные устройства (например: «Алиса, покажи актуальный план бюджета на текущий месяц») и т.д.
- Запрос со стороны ИП из оборонного сектора дополнительно состоял в следующем:
- управление ресурсами предприятий и цепочками кооперации, которая помогает предприятиям в срок выполнять государственный оборонный заказ (ГОЗ) в сочетании с гражданскими заказами;
 - удовлетворить требование выходить на рынок гражданской продукции в объёме 20-30% от валового продукта предприятия вместе с жёсткими требованиями выполнения ГОЗ по объёмам, бюджетам и срокам;
 - выполнение требования регуляторов по раздельному планированию множества заказов в общем пуле ресурсов;
 - переход к контрактам ЖЦ ВТИ требует поддержки взаимодействия предприятий на ряде уровней (субконтракторов).
- Перед предприятиями ИП имеется и ряд общих технологических барьеров:
- создавать и внедрять ИИ для предприятий сейчас сложно и трудоёмко, дорого и долго;
 - нет компетенций в области ИИ у ИП, требуется партнёр для оценки решений и обучения сотрудников ИП;
 - конечные пользователи не готовы «делиться» творческой работой с ИИ-помощником и ожидают от ИИ результат «не хуже человека», в то время как ИИ-решения призваны автоматизировать рутину управления, оставляя человеку суть творчества – создание нового уникального результата;
 - недостаточно данных или нет доступа к данным;
 - данные для принятия решений «сырые», содержат ошибки, не полные и т.д.;
 - знания о ПрО и бизнесе не оцифрованы и не формализованы;
 - отсутствуют бизнес процессы коллективного согласованного принятия решений;
 - существующий порядок и нормативы существенно регламентируют и ограничивают деятельность предприятий, исполняющих ГОЗ;
 - не всегда понятно как считать экономический эффект и т.д.
- В этих условиях задача создания ИСУР массового применения становится актуальной и значимой для большого числа промышленных предприятий.

8 Планируемая научно-техническая кооперация в проектах

В таблице 2 представлены научно-технические разработки по проектам ИП, планируемые проводить участниками Комитета по ИИ.

В настоящее время участники проекта уже работают над теоретическим обоснованием и развитием новых методов и средств ЭИ и промышленными проектами по отдельным направлениям: онтологии, МТ и т.д. В качестве примеров можно привести публикации научной

школы СПбГУ в 2021 году по теме мультиагентной оптимизации ресурсов и ЭИ, представленные в [34, 35].

Таблица 2 - Участники научно-технической кооперация по проектам

№	Наименование участника (ФИО ответственного)	Роль и специализация по компетенциям в разработке	Примечание
1	СамГТУ (П.О. Скобелев)	Концепция, теоретические основы и научно-методические рекомендации по разработке БЗ и ИСУР для ИП	Все проекты с ИП
2	СПбГУ (О.Н. Граничин)	Формализация мультиагентных моделей адаптивного построения расписаний для сервиса «умного убера» и их экспериментальное и теоретическое исследование	Модели, методы и алгоритмы для всех проектов ИП
3	УлГТУ (В.В. Шишкин)	Сбор требований, бизнес- и системная аналитика задач ИП, модели, методы и средства предиктивной аналитики и больших данных	Умные сервисы для платформы и прикладных ИСУР
4	Самарский университет (С.Б. Попов)	Проектирование архитектуры распределённых вычислений, распознавание образов, обработка изображений, НС, МО, понимание текстов	Умные сервисы для платформы и прикладных ИСУР
5	ПУТИ (С.П. Левашкин)	НС, МО, понимание текстов	Умные сервисы для платформы и прикладных ИСУР
6	СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (М.Г. Пантелеев)	Интеллектуальные агенты (ИА) реального времени на основе когнитивных архитектур. МАС. Онтологическое проектирование ИА и МАС.	Инструментальная платформа
7	Сколтех (А.Б. Иванов)	ЦП проектирования и инжиниринга, поддержка ЖЦ ВТИ, НС, МО, специальные расчеты	Умные сервисы для платформы
8	ИПУСС РАН (С.Ю. Боровик)	Онтологии и МТ, новые технологии эффективного управления предприятиями в Индустрии 5.0 и Обществе 5.0	Инструментальная платформа
9	НАО «ГК «Генезис знаний» (С.П. Грачев)	Разработка мультиагентной платформы и конструктора онтологий, а также промышленных версий ИС управления ресурсами	Инструментальная платформа, ИСУР для эксплуатации
10	НПК «Разумные решения» (В.Б. Ларюхин)	Разработка мультиагентных прототипов систем для ИП	ИСУР для КБ и заводов
11	НПК «Сетецентрические платформы» (А.Н. Мочалкин)	Разработка мультиагентной платформы для управления группировками роботов и её применение для управления «Роем МКА»	ИСУР «Роя МКА» для РКК «Энергия»
12	АВС Консалтинг (Р.И. Кутлахметов)	Аналитика, консалтинг, взаимодействие с ИП для сбора бизнес-требований к ИИ системам, управление проектами, внедрение ИИ и оценка экономического эффекта	Поддержка работы с ИП по всем проектам
13	Группа компаний WinBD (В.М. Кизеев)	Развитие технологического предпринимательства на базе создаваемой платформы	Поддержка развития сообщества и платформы
14	Институт им. Шифферса (Ю.В. Громыко)	Развитие инновационных идей (от замысла до внедрения), включая консалтинг и фабрику мысли	Развития замысла ЭИ в части создания и масштабирования бизнеса
15	Партнёрский центр ГК «Ростех» в «Сколково» (С.Н. Зинченко)	Аналитика, консалтинг, взаимодействие с ИП, управление проектами, внедрение ИИ и оценка экономического эффекта; экспертные системы и НС; доверенный промышленный Интернет вещей	Поддержка разработки ЭИ с ИП по всем проектам
16	ИРР Самарской области (Д.Н. Бажин)	Работа с участниками проектов, помощь в подготовке заявок на гранты и т.д.	Поддержка проектов на всех стадиях

Обзор разработок Самарской школы МТ представлен в ряде работ в данном журнале [36-38]. Более полный обзор работ этой школы с примером решения задачи для моделирования работы группировки МКА на основе МТ обсуждается в подготовленной статье⁸.

Задача создания сетецентрической платформы и сервисов МТ в цифровой экосистеме ЭИ для управления контрактами ЖЦ ВТИ на принципах солидарной экономики впервые была доложена на форуме⁹ и в настоящее время готовится к публикации.

В Самарском университете активно разрабатываются онтологии в различных ПрО, см. например [39, 40].

Передовой опыт разработок школы МТ и онтологий ЛЭТИ представлен в [41-45].

В работах [46-48] даны публикации Ульяновской школы онтологий и МТ.

В каждой из рассмотренных выше задач любой участник может предложить свои наработки, продукты и сервисы для включения в общую цифровую экосистему и работы на конечный результат, что позволит катализировать кооперацию, связать и взаимно усилить разработки друг друга для их скорейшего внедрения в промышленность.

Примером формирующейся научной кооперации является подготовленный совместно СамГТУ, ЛЭТИ и Институтом кибернетики, информатики и робототехники (Прага, Чехия) обзор истории и направлений развития, барьеров и перспектив МТ в промышленности [49].

По инициативе Комитета по ИИ начата подготовка первого специального выпуска *Machine Learning and Emergent Intelligence* в журнале *Mathematics*¹⁰ (Q1).

9 Ожидаемые научные и практические результаты

Ожидаемые результаты работы над проектами Комитета по ИИ включают:

- создание передовой научной школы в области разработок цифровых экосистем ЭИ;
- создание платформ, продуктов и сервисов ЭИ мирового уровня;
- сокращение сложности и трудоемкости решения задач управления ресурсами для промышленных предприятий на основных этапах ЖЦ ВТИ за счет внедрения ЭИ;
- повышение эффективности предприятий за счёт внедрения ЭИ;
- повышение качества, сокращение стоимости и ускорение процессов создания ИСУР;
- создание цифровых экосистем ЭИ масштаба предприятия, корпорации и отрасли для поддержки кооперации и снижения транзакционных издержек;
- возможность предприятиям самостоятельно создавать и развивать ИСУР на основе использования открытой инструментальной среды ЭИ;
- ускорение цифровой трансформации предприятий;
- переход на отечественные средства управления ресурсами на базе ЭИ;
- отработка новой модели управления наукой «Наука 5.0»;
- создание учебных материалов и курсов по ЭИ для управления предприятиями.

⁸ Грачев, С.П. Методы и средства построения интеллектуальных систем для решения сложных задач адаптивного управления ресурсами в реальном времени / С.П. Грачев, А.А. Жилиев, В.Б. Ларюхин, Д.Е. Новичков, В.А. Галузин, И.В. Майоров, Е.В. Симонова, П.О. Скобелев // *AuT*, 2021 (в печати).

⁹ Валинский, О.С. Концептуальные и методологические основы управления бизнесом в формате «Института контракта жизненного цикла высокотехнологичной продукции (КЖЦ ВКИ)» на сетецентрической платформе мультиагентных сервисов в экосистеме эмерджентного искусственного интеллекта / О.С. Валинский, А.Н. Маврин, И.А. Посадов, П.О. Скобелев, В.В. Тришанков, Е.Ю. Химич // Тематический круглый стол «Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники развития, новые вызовы» под эгидой Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, VII международный военно-технический форум «Армия-2021» - Москва, Кубинка, конгрессно-выставочный комплекс «Патриот», 24 августа 2021.

¹⁰ «Machine Learning and Emergent Intelligence» - a special issue of *Mathematics* (ISSN 2227-7390). This special issue belongs to the section «Mathematics and Computer Science». Deadline for manuscript submissions: 31 December 2021. https://www.mdpi.com/journal/mathematics/special_issues/Machine_Learning_Emerging_Intelligence.

10 Участие в работе Комитета по ИИ

Для участия в работе Комитета по ИИ любая желающая организация или индивидуум может написать заявление, которое будет рассмотрено и обсуждено участниками.

Комитет по ИИ заинтересован в дальнейшем усилении и развитии команды и приглашает промышленные предприятия, университеты и институты РАН, технологические и консалтинговые компании и стартапы принять участие в предлагаемых проектах ЭИ.

Площадкой для научных дискуссий по тематике Комитета ИИ могут являться, в т.ч. научный журнал «Онтология проектирования» и одноимённый научный семинар, организуемый Самарским университетом и ИПУСС РАН.

Заключение

Стратегия Комитета по ИИ предполагает создание открытой инструментальной среды и линейки ИСУР, формирующих цифровую экосистему ЭИ для основных стадий ЖЦ ВТИ.

В этих целях формируется заинтересованное сообщество, состоящее из специалистов, представляющих университеты, академическую среду, проектные организации, технологические и консалтинговые компании и промышленные предприятия.

Научная новизна предлагаемых разработок определяется переходом от одиночных ИИ систем управления предприятиями и ВТИ к системам коллективного интеллекта на базе сетевидной *p2p* платформы, где взаимодействуют множество таких ИИ систем, построенных на основе онтологий, МТ, МО и других сервисов ИИ.

Ключевым в стратегии является понятие «эмержентного интеллекта», определяемое взаимодействием участвующих агентов сервисов и вещей, способных реагировать на события, принимать решения и договариваться для решения сложных задач управления ресурсами в условиях высокой неопределённости и динамики изменений спроса и предложения.

Понятие ЭИ рассматривается как основа для создания природоподобного «сильного ИИ», определяемого как спонтанно возникающие, под действием внешних событий или из внутренних причин, недетерминированные цепочки согласованных изменений состояний программными агентами вещей и сервисов, находящими решение новой проблемы или повышающими ценность уже имеющегося решения в ходе переговоров и разбора конфликтов на виртуальном рынке системы, что связывается с теорией сложных адаптивных систем и нелинейной термодинамики Нобелевского лауреата И. Пригожина.

На основе концепции ЭИ предлагается создание линейки ИСУР предприятий для основных стадий ЖЦ ВТИ, дополняемой инструментальной средой, учебными курсами и консалтинговой поддержкой, чтобы предприятия могли сами развивать указанные системы.

Планируется создание сетевидной платформы для горизонтального и вертикального взаимодействия разрабатываемых ИСУР между собой в многоуровневой цифровой экосистеме ЭИ уровня крупного предприятия, корпорации и отрасли.

Сформулированы основные цели и задачи Комитета по ИИ в рамках технологического проекта по созданию серийно-массового производства ИСУР, персонализируемых путём создания ЦД процессов управления предприятиями, БЗ и МТ для всех стадий ЖЦ ВТИ.

Предложены принципы работы Комитета по ИИ, проектируемого в своей деятельности как микромодель «Наука 5.0».

Представлены предлагаемые первые промышленные проекты и возможная научно-техническая кооперация участников по этим проектам для достижения научных и практических результатов мирового уровня.

Благодарности

Авторы выражают благодарность академику РАН, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, президенту Самарского университета В.А. Сойферу и руководителю головного офиса Центра стратегических разработок «Северо-Запад», заместителю директора по перспективным проектам Ассоциации «Искусственный интеллект в промышленности» Д.В. Санатову за продуктивные обсуждения концепции «эмерджентного интеллекта» и поддержку инициативы по созданию Комитета по ИИ в НОЦ «Инженерия будущего».

Настоящая работа команды СПбГУ выполнена при частичной поддержке Санкт-Петербургским государственным университетом, проект № 73555239; работа команды СамГТУ частично поддержана грантом РФФИ № 20-37-90052.

Послесловие

Гонка за первенство в создании ИИ в различных ПрО входит в активную фазу. Бизнес и государство повсеместно включаются в цифровую среду, ускоряющую все процессы [50, 51]. Крупные ИТ-гиганты предлагают свои ИИ-решения для бизнеса (см. например, платформы и продукты от *Microsoft*¹¹). Стратегические отрасли с опаской смотрят на такие продукты, при этом ждут и надеются на свои разработки. Отстать в цифровой гонке за «сильным» ИИ, значит проиграть её. Поддержка инициатив Комитета по ИИ даёт шанс остаться в лидерах этой гонки.

Список источников

- [1] *Глушков, В.М.* Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. Изд. 2-е, испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1987. – 552 с.
- [2] White Paper. On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust. European Commission. Brussels, 19.2.2020. COM(2020) 65 final. 27 p. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf.
- [3] Public consultation on the AI White Paper. Final report. European Commission. November 2020. 17 p. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/white-paper-artificial-intelligence-public-consultation-towards-european-approach-excellence-and>.
- [4] Excellence and Trust in AI — Brochure. Shaping Europe’s digital future. European Commission. Publication 23 February 2021. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/excellence-and-trust-ai-brochure>.
- [5] *Abdoullaev, A.* Reality, Universal Ontology and Knowledge Systems: Toward the Intelligent World / Azamat Abdoullaev // EIS Encyclopedic Intelligent Systems, Incorporated, 2008. 346 p.
- [6] *Abdoullaev, A.* The Real-World AI: the matter of life or death / Azamat Abdoullaev // European AI Alliance. 17 August 2021. <https://futurium.ec.europa.eu/en/european-ai-alliance/posts/real-world-ai-matter-life-or-death>.
- [7] *Cellan-Jones, R.* Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind / Rory Cellan-Jones // *BBC News*, Tech. 2 December 2014. <https://www.bbc.com/news/technology-30290540>.
- [8] *Боргест, Н.М.* Стратегии интеллекта и его онтологии: попытка разобраться / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4 (34). - С.407-428. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [9] Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета федеральному государственному бюджетному учреждению "Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере" на грантовую поддержку малых предприятий по разработке, применению и коммерциализации продуктов, сервисов и (или) решений с использованием технологий ИИ, разработчиков открытых библиотек в сфере ИИ, акселерации проектов с применением ИИ/ Постановление Правительства Российской Федерации от 27 марта 2021 г. № 456. 14 с.
- [10] Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета на поддержку некоммерческой организацией Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий пилотных

¹¹ Accelerate your business with the power of data and AI. <https://www.microsoft.com/en-us/insidetrack/data-and-ai>.
Digital transformation, accelerated. <https://www.microsoft.com/en-us/industry/digital-transformation>.
Best of Business AI 2021. <https://businessai.microsoft.com/>.

- проектов апробации технологий искусственного интеллекта в приоритетных отраслях / Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2021 г. № 767. 23 с.
- [11] Об утверждении Правил предоставления грантов в форме субсидий из федерального бюджета организациям на разработку программ бакалавриата и программ магистратуры по профилю "искусственный интеллект", а также на повышение квалификации педагогических работников образовательных организаций высшего образования в сфере искусственного интеллекта / Постановление Правительства Российской Федерации от 27 мая 2021 г. № 798. 22 с.
- [12] Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета на государственную поддержку автономной некоммерческой организации "Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации" в целях поддержки исследовательских центров в сфере искусственного интеллекта, в том числе в области "сильного" искусственного интеллекта, систем доверенного искусственного интеллекта и этических аспектов применения искусственного интеллекта / Постановление Правительства Российской Федерации от 5 июля 2021 г. № 1120. 35 с.
- [13] **Аверкин, А.Н.** Толковый словарь по искусственному интеллекту / А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. — М.: Радио и связь, 1992. — 256 с. - <http://www.raai.org/library/tolk/aivoc.html#L208>.
- [14] **Громыко, Ю.В.** Цифровая платформа Школы Будущего: Цифро-когнитивный подход в отличие от цифро-алгоритмического упрощения образования / Ю.В. Громыко, В.В. Рубцов // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 4-й Международной конференции (4-5 февраля 2021 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2021. — С.238-259. — <https://keldysh.ru/future/2021/21.pdf> <https://doi.org/10.20948/future-2021-21>.
- [15] **Сойфер, В.А.** Human fActor / В.А. Сойфер // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11, №1(39). – С.8-19. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.
- [16] **Skobelev, P.O.** On the way from Industry 4.0 to Industry 5.0: From digital manufacturing to digital society / P.O. Skobelev, S.Yu. Borovik // International Scientific Journals Industry 4.0. 2017; 2(6): 307-311.
- [17] **Виттих, В.А.** Введение в теорию интерсубъективного управления / В.А. Виттих. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. – 64 с.
- [18] **Gil, Y.** A 20-Year Community Roadmap for Artificial Intelligence Research in the US / Y. Gil and B. Selman // Computing Community Consortium (CCC) and Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI). Released August 6, 2019. arXiv:1908.02624 <https://cra.org/ccc/resources/workshop-reports/>.
- [19] Цифровые платформы. Подходы к определению и типизации. Ростелеком. Data Economy Russia 2024. – http://files.data-economy.ru/digital_platforms.pdf.
- [20] Цифровые платформы. Методологии. Применение в бизнесе: Коллективная монография / Под общ. ред. Б.Б. Славина, Е.П. Зараменских, Н. Механджиева. – М.: Прометей, 2019. – 228 с.
- [21] **Попов, С.Б.** Интеграция информационных систем в цифровые платформы для оказания социальных сервисов населению / С.Б. Попов, П.В. Хрипунов // Сб. тр. ИТНТ-2019: V междунар. конф. и молодеж. шк. "Информ. технологии и нанотехнологии": в 4 т. – Самара: Новая техника, 2019 – Т. 4: Науки о данных. – 2019. – С.1020-1031.
- [22] **Newman, D.** Digital Intelligence: The Heart of Successful Digital Transformation / Daniel Newman. – Futurum, 2017. 11 p. https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/futurum-digital-intelligence-transformation-109136.pdf.
- [23] **Городецкий, В.И.** Концептуальная модель цифровой платформы для кибер-физического управления современным предприятием. Часть 1. Цифровая платформа и цифровая экосистема / В.И. Городецкий, В.Б. Ларюхин, П.О. Скобелев // Мехатроника, автоматизация, управление. – Том 20, №6, 2019, с.323- 332.
- [24] **Городецкий, В.И.** Концептуальная модель цифровой платформы для кибер-физического управления современным предприятием. Часть 2. Цифровые сервисы / В.И. Городецкий, В.Б. Ларюхин, П.О. Скобелев // Мехатроника, автоматизация, управление. - Том 20, №7, 2019, с.387-397.
- [25] **Glaschenko, A.** Multi-Agent Real Time Scheduling System for Taxi Companies / A. Glaschenko, A. Ivaschenko, G. Rzevski, P. Skobelev // Proc. of 8th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009), Decker, Sichman, Sierra, and Castelfranchi (eds.), May, 10–15, 2009, Budapest, Hungary, p.29-36. https://www.researchgate.net/publication/234163991_Multi-agent_real_time_scheduling_system_for_taxi_companies.
- [26] **Skobelev, P.** Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Applications. In: Mařík V., Vrba P., Leitão P. (eds) Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing. HoloMAS 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6867. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23181-0_1.
- [27] **Rzevski, G.** Managing complexity / G. Rzevski, P. Skobelev // Wit Pr/Computational Mechanics. 2014. 216 p.
- [28] **Rzevski, G.** Self-Organization in Social Systems / G. Rzevski // Ontology of Designing, 4(14)/2014. P.8-17.

- [29] **Rzevski, G.** Managing aircraft lifecycle complexity / G. Rzevski, J. Knezevic, P. Skobelev, N. Borgest, O. Lakhin // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics 2016. Vol.11. Issue 2. P.77-87.
- [30] **West, M.** A Framework for Assessing the Intelligence of Computer Systems/ Matthew West, Chris Angus, Bruce Ottmann // Manchester UK. PDT Europe 2003. P.33-43. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.203.3171&rep=rep1&type=pdf>.
- [31] Top Strategic Technology Trends for 2021 / Edited by Brian Burke, Research Vice President, Gartner. 2020. 13 p.
- [32] **Rzevski, G.** Emergent intelligence in large scale multi-agent systems / G. Rzevski, P. Skobelev // International Journal of Education and Information Technology, 2007, Volume 1, Issue 2, p.64-71. <https://www.naun.org/main/NAUN/educationinformation/eit-11.pdf>.
- [33] **Panetta, K.** Nonfungible tokens (NFTs), digital humans and physics-informed AI join the 25 technology profiles on this year's emerging technologies hype cycle / Kasey Panetta. August 23, 2021. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-themes-surface-in-the-2021-hype-cycle-for-emerging-technologies/>.
- [34] **Granichin, O.** Simultaneous perturbation stochastic approximation-based consensus for tracking under unknown-but-bounded disturbances / O. Granichin, V. Erofeeva, Y. Ivanskiy, Y. Jiang // IEEE Transactions on Automatic Control, Volume 66, Issue 8, August 2021, pp.3710–3717. DOI 10.1109/TAC.2020.3024169. <http://ieeexplore.ieee.org/document/9198090>.
- [35] **Amelin, K.** Emergent intelligence via self-organization in group of robotics devices / K. Amelin, O. Granichin, A. Sergeenko, Z.V. Volkovich // Mathematics, 2021, 9(12), 1314. <https://doi.org/10.3390/math9121314>.
- [36] **Скобелев, П.О.** Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. 2012. №1. С.6-38.
- [37] **Скобелев, П.О.** Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. 2013. №2. С.26-48.
- [38] **Skobelev, P.O.** Multi-agent scheduling of communication sessions between microsatellites and ground stations network / P.O. Skobelev, A.B. Ivanov, E.V. Simonova, V.S. Travin, A.A. Jilyaev // Ontology of Designing, 2014. No2(12). P.92-100.
- [39] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения / Н.М. Боргест, Д.В. Будаев, В.В. Травин // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). - С. 423-442. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [40] **Боргест, Н.М.** Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»: краткая история личностного опыта / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №4(38). - С.415-448. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.
- [41] Интеллектуальные агенты и многоагентные системы: Монография / М.Г. Пантелеев, Д.В. Пузанков; Минобрнауки РФ. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ, 2015. – 215 с.
- [42] **Gorodetsky, V.** Networks of Autonomous Real-Time Agents in Environments with Counteraction: Features and Components of the Model / V. Gorodetsky, M. Panteleyev // Journal of Physics: Conference Series, 2021, Vol. 1864, 10 p.
- [43] **Lebedev, S.V.** Ontology-Driven Design and Development of Situation Assessment Software in Cyber-Physical Systems / S.V. Lebedev, M.G. Panteleyev // In «Tools and Technologies for the Development of Cyber-Physical Systems». – IGI Global, 2020, p.51-76. <https://www.igi-global.com/chapter/ontology-driven-design-and-development-of-situation-assessment-software-in-cyber-physical-systems/248745>.
- [44] **Panteleyev, M.G.** Advanced Iterative Action Planning for Intelligent Real-Time Agents / M.G. Panteleyev // Procedia Computer Science, 2019, Vol. 150, p.244-252.
- [45] **Lebedev, S.** Ontology-Driven Situation Assessment System Design and Development in IoT Domains / S. Lebedev, M. Panteleyev // Int. Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS). 2017. Vol. 8. No. 1. Pp. 1-17.
- [46] **Sviatov, K.** Detection of Scenes Features for Path Following on a Local Map of a Mobile Robot Using Neural Networks / K. Sviatov, A. Miheev, Y. Lapshov, V. Shishkin, S. Sukhov // Studies in Systems, Decision and Control, 2021, 337, p.272–285.
- [47] **Чоракаев, О.Э.** Подход к балансировке мощностей авиационного завода на основе агентного моделирования / О.Э. Чоракаев, В.В. Шишкин, А.М. Карама, А.Н. Пирогов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 4-3 (84). С. 498-503.
- [48] **Ярушкіна, Н.Г.** Моделирование процесса технологической подготовки производства на основе онтологического инжиниринга / Н.Г. Ярушкіна, В.Н. Негода, Ю.П. Егоров, В.С. Мошкин, В.В. Шишкин, А.А. Романов, Е.Н. Эгов // Автоматизация процессов управления. 2017. № 4 (50). С. 94-100.
- [49] V.Marik, V.Gorodetsy, P.Skobelev. SYSTEM ENGINEERING VIEW ON MULTI-AGENT TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS:BARRIERS AND PROSPECTS. - CYBERNETICS AND PHYSICS, VOL. 9, NO. 1, 2020, 13–30.

- [50] The C-Suite Guide: Accelerate Digital for Future-Ready Business. Frameworks for composable tech, empowered customers and the future of work. Gartner. CM_CF_1289200. 2021. 13 p.
- [51] Accelerate Digital for Future-Ready Government. Frameworks for composable tech, empowered citizens and the future of work. Gartner. СТМКТ_1316663. 2021. 16 p. <https://www.gartner.com/en/publications/accelerate-digital-for-future-ready-government>.

Сведения об авторах



Баринов Игорь Игнатьевич, 1961 г.р. Окончил Харьковское высшее военное командно-инженерное училище имени Маршала Советского Союза Крылова Н.И. (1983). Член Наблюдательного совета Ассоциации организаций и специалистов в сфере управления информационными технологиями «ИТ сервис-менеджмент форум», руководитель группы службы развития процессного управления и управления качеством Главного вычислительного центра ОАО «РЖД», преподаватель московской международной высшей школы бизнеса «МИРБИС». igorbar@yandex.ru.



Боргест Николай Михайлович, 1954 г.р. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва (1978), к.т.н. (1985). Профессор Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва, с.н.с. ИПУСС РАН. Член Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям, Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 200 работ. AuthorID (РИНЦ): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. borgest@yandex.ru.



Боровик Сергей Юрьевич, 1972 г. рождения. Окончил Поволжский институт информатики, радиотехники и связи (1994), д.т.н. (2012). Директор Института проблем управления сложными системами РАН – обособленного подразделения Самарского федерального исследовательского центра РАН. Член международной ассоциации специалистов в области электротехники и электроники (IEEE). В списке научных трудов более 180 работ. Author ID (РИНЦ): 17975; Author ID (Scopus): 7801624472; ORCID: 0000-0002-6849-9026; Researcher ID (WoS): R-4662-2016. borovik@iccs.ru



Граничин Олег Николаевич, 1961 г.р. Окончил Ленинградский государственный университет (1983), д.ф.-м.н. (2001), профессор Санкт-Петербургского государственного университета, член Академии навигации и управления движением, *Senior member of IEEE, member of AMS*. Член редколлегии журнала «Автоматика и телемеханика», ассоциированный редактор *IEEE Control System Society Conference Editorial Board*, редактор журнала «Cybernetics and Physics», редактор научного журнала «Стохастическая оптимизация в информатике». ORCID: 0000-0002-3631-7347, o.granichin@spbu.ru.



Грачев Сергей Павлович, 1970 г.р., генеральный директор ГК «Генезис знаний», аспирант Самарского государственного технического университета. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет по специальности «Прикладная математика и системы автоматизированного проектирования». Окончил *London Business School, London, UK* и преподавал управление проектами в Высшей школе экономики (Москва). Имеет 12 публикаций. AuthorID(РИНЦ): 672695. sg@kg.ru



Громыко Юрий Вячеславович, 1958 г.р. Окончил Ярославский государственный университет (1981), д.психолог.н. (1993), профессор Высшей школы управления и инноваций Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, профессор Британской школы социально-экономических исследований, Guest-professor Манчестерского университета, член Международного общества по социокультурным исследованиям теории деятельности (ISCAR), директор института им. Евгения Шифферса. AuthorID(РИНЦ): 100304. Author ID (Scopus): 56743198200. ORCID: 0000-0001-6173-6239. yugromyko@gmail.com.



Доронин Роман Иванович, 1970 г.р. Окончил Московский институт радиотехники электроники и автоматики (ЭВМ комплексы и сети), Московский институт управления (Коммерческое дело), Российский Университет Дружбы народов (МВА), Государственный Университет Гражданской авиации (Управление авиатранспортным предприятием). Начальник центра компетенции по цифровым системам специализированной компании Концерна «Уралвагонзавод». Награждён медалью ВДНХ СССР (1987) за разработку комплекса программного обеспечения. romandor@mail.ru.



Зинченко Сергей Николаевич, 1963 г.р. Окончил Харьковское высшее военное командно-инженерное училище ракетных войск им. Маршала Н.И. Крылова (1986) Инженер-математик. До 1992 года проходил службу в Вооруженных силах СССР и РФ. Занимался разработкой и сопровождением программных комплексов, информационных и экспертных систем. Прошел переподготовку в Финансовой академии при Правительстве РФ. Руководитель Партнерского центра ГК «Ростех» в инновационном центре «Сколково». sergeyandskolkovo@mail.ru.



Иванов Антон Борисович, 1972 г.р. Окончил Московский инженерно-физический институт (1994), Калифорнийский технологический институт, кандидат наук (2000). В 1999 – 2007 работал в НАСА, Лаборатория реактивного движения, старший менеджер проектов. В 2007 – 2017 работал в Федеральной политехнической школе Лозанны (École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL). В 2017 по н.в. работает Сколковский институт науки и технологии (Сколтех), Директор космического центра, доцент. Author ID (Scopus):7404526147. ORCID: 0000-0001-8376-8581. A.Ivanov2@skoltech.ru.



Кизеев Вениамин Михайлович, 1987 г.р. Окончил Томский политехнический университет (2009), к.э.н. (2020). Член правления Национальной ассоциации управления проектами «СОВНЕТ», член совета директоров компании WINbd, партнер стартап-студии «Открытые инновации», руководитель Совета по инновационной деятельности Ассоциации инженерного образования России. http://wiki.tpu.ru/wiki/Кизеев_Вениамин_Михайлович. AuthorID (РИНЦ): 822197. vkizeev@gmail.com.



Кунтлахметов Ринат Ильгизович, 1974 г.р. Директор по управлению знаниями СКО (Chief knowledge officer), Генеральный директор CEO (Chief executive officer) «АВС Консалтинг». Окончил Пермскую государственную фармацевтическую академию, специализация – Экономика и управление фармацией (2004), РЭА им. Г.В. Плеханова, специализация – Финансовый менеджмент организации (2008). Специалист в области управления проектами и анализа данных, автор методик бережливого производства и 15 публикаций в отраслевых изданиях. kri@avcc.ru.



Ларюхин Владимир Борисович, 1988 г.р. Окончил Факультет информационных систем и технологий Самарского государственного архитектурно-строительного университета. С января 2010 г. работает в компании «Разумные решения». Аспирант Самарского государственного технического университета. Направления научных разработок: управление проектами в реальном времени, создание программной платформы для построения систем управления ресурсами в реальном времени. Имеет список трудов из 28 наименований. Author ID (Scopus):56241400900. vl@kg.ru.



Левашкин Сергей Павлович, 1960 г.р. Окончил Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова в 1983 г., к.ф.-м.н. (1990). В 1983 - 1990 гг. работал в КПТИ. В 1990-2019 гг. работал в университетах и коммерческих кампаниях Москвы, Мексики, Канады и США (исследование и разработка интеллектуальных систем). Председатель 4-х изданий международной конференции по семантическому анализу геоданных. Заведующий научно-исследовательской лаборатории ИИ ПГУТИ. serge.levashkin@gmail.com.



Мочалкин Александр Николаевич, 1973 г.р., младший научный сотрудник Самарского государственного технического университета, Региональный учебно-научный центр по проблемам защиты информации региона среднего Поволжья (РУНЦ «Информационная безопасность»), генеральный директор ООО НПК «Сетевые платформы». В списке научных трудов 23 работ в области мультиагентных систем, группового управления и искусственного интеллекта. a-mochalkin@mail.ru.



Пантелеев Михаил Георгиевич, 1960 г.р. Окончил Пензенский политехнический институт (1982), к.т.н. (1988). Доцент кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ», руководитель лаборатории «Интеллектуальных технологий», в.н.с. АО «НИЦ СПбЭТУ». Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 100 работ в области искусственного интеллекта, интеллектуальных агентов, многоагентных систем, технологий семантического Web, онтологических систем. AuthorID (РИНЦ): 109779. mpantel'ev@gmail.com.



Попов Сергей Борисович, 1957 г.р., Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва в 1981 г., д.т.н., ведущий научный сотрудник ИСОИ РАН – филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, профессор кафедры технической кибернетики Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва. AuthorID (РИНЦ): 123826. Author ID (Scopus): 35790504700; ORCID: 0000-0003-4995-0982; Researcher ID (WoS): A-6695-2017. sepo@ssau.ru.



Севастьянов Евгений Михайлович, 1978 г.р. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, факультет «Экономика и управление» (2002). В 2017-2018 годы главный эксперт ГК «Роскосмос» по компетенциям «Фрезерные работы на станках с ЧПУ», «Токарные работы на станках с ЧПУ» по международным стандартам сквозных рабочих профессий «World skills». В настоящее время первый заместитель главного инженера АО «РКЦ «Прогресс». e-tech-samara@mail.ru.



Скобелев Петр Олегович, 1960 г.р. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва (1983), к.т.н. (1985), д.т.н. (2003). Член Российской ассоциации искусственного интеллекта, член оргкомитета ряда международных научных конференций по мультиагентным технологиям. Основатель и председатель совета директоров Группы компаний «Генезис знаний», зав. кафедры «ЭСИБ» СамГТУ, зав. лабораторией «Интеллектуальные системы» ИПУСС РАН. Лауреат губернской премии в области науки и техники. Со-Председатель Комитета по ИИ НОЦ «Инженерия будущего». petr.skobelev@gmail.com.



Чернявский Александр Григорьевич, 1952 г.р. Окончил Московский авиационный институт (1976), Почетный профессор Томского политехнического университета (2015), Почетный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (2018). Советник генерального директора РКК «Энергия» им. С.П. Королева. Автор более 120 научных публикаций, более 50 авторских свидетельств и патентов. AuthorID (РИНЦ): 866620, alexander.cherniavsky2012@yandex.ru.



Шишкин Вадим Викторович, 1959 г.р. Окончил Ульяновский политехнический институт (1984), к.т.н. (1991), доцент (1994). Директор Института авиационных технологий и управления, доцент Ульяновского государственного технического университета. Почетный работник сферы образования Российской Федерации. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов около 300 работ в области автоматизации проектирования, диагностики и ИИ. AuthorID (РИНЦ): 482217; Author ID (Scopus): 7005233697; ORCID: 0000-0001-8773-2164. shvv@ulstu.ru.



Шляев Сергей Иванович, 1956 г.р. Окончил Вольское высшее военное училище тыла (1977), Военную академию тыла и транспорта (1986), Военную академию Генерального штаба ВС РФ (1996), Российскую академию государственной службы при Президенте РФ (1997). Действительный государственный советник РФ 2 класса (2009). Заместитель генерального директора по стратегическому развитию ПАО «МАК «Вымпел». sshlyaev@yandex.ru.

Поступила в редакцию 23.08.2021, после рецензирования 10.09.2021. Принята к публикации 21.09.2021.

Development strategy formation of the Committee on Artificial Intelligence in the Scientific and Educational Center "Engineering of the Future"

I.I. Barinov¹, N.M. Borgest^{2,3}, S.Y. Borovik³, O.N. Granichin⁴, S.P. Grachev⁵,
Yu.V. Gromyko⁶, R.I. Doronin⁷, S.N. Zinchenko⁸, A.B. Ivanov⁹, V.M. Kizeev¹⁰,
R.I. Kutlakhmetov¹¹, V.B. Laryukhin¹², S.P. Levashkin¹³, A.N. Mochalkin¹⁴,
M.G. Panteleev¹⁵, S.B. Popov², E.M. Sevastyanov¹⁶, P.O. Skobelev^{3,17}, A.G. Chernyavsky¹⁸,
V.V. Shishkin¹⁹, S.I. Shlyayev²⁰

¹ Main computing center of JSC "Russian Railways", Moscow, Russia

² Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia

³ Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute for the Control of Complex Systems RAS, Samara, Russia

⁴ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

⁵ NJSC "Group of Companies" Genesis Knowledge", Samara, Russia

⁶ Institute of advanced studies in the name of Eugene Schiffers, Moscow, Russia

⁷ JSC "Scientific and Production Corporation" Uralvagonzavod", Nizhny Tagil, Russia

⁸ Partner center of the State Corporation "Rostec" in the innovation center "Skolkovo", Moscow, Russia

⁹ Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

¹⁰ WinBD - a consulting company for the development of technology entrepreneurship, Moscow, Russia

¹¹ "AVC Consulting", Moscow, Russia

¹² LLC NPK "Reasonable Solutions", Samara, Russia

¹³ Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

¹⁴ LLC NPK Network-centric Platforms, Samara, Russia

¹⁵ St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia

¹⁶ JSC Rocket and Space Center Progress, Samara, Russia

¹⁷ Samara State Technical University, Samara, Russia

¹⁸ S. P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energia", Moscow, Russia

¹⁹ Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

²⁰ Interstate Joint Stock Corporation "Vympel", Moscow, Russia

Abstract

The Scientific and Educational Center "Engineering of the Future", created on the basis of the Institute of Regional Development of the Samara Region, has formed a number of important sectoral and subject committees, in which it is planned to develop breakthrough technologies in high-tech industries. The Committee on Artificial Intelligence, organized within the framework of the SEC "Engineering of the Future", forms its development strategy. The article outlines the vision for the prospects of such a strategy of the project team, consisting of specialists from universities, academia, design organizations, commercial companies and startups. The key in the proposed strategy is emergent artificial intelligence - it is a spontaneously arising, under the influence of external events or from internal causes or motives, a chain of coordinated state changes by agents who find a solution to a new problem or increase the value of an existing solution. The authors believe that the construction of emergent artificial intelligence is based on multi-agent technologies and ontologies of subject areas. The article formulates the main tasks of the Committee for the coming years and presents a technological project. The project includes the creation of mass production of intelligent resource management systems, personalized by creating digital twins of enterprise management processes, knowledge bases and multi-agent technologies. The essence of the proposed project, reflecting the important priorities of industrial partners, is to create a line of intelligent products and services for all stages of the life cycle of complex high-tech products and build a "factory" of such systems in the form of an open instrumental platform that will allow these enterprises to reduce dependence on the solution provider and on their own develop and modernize such systems. The principles of the Committee's work were proposed, its first potential projects and planned cooperation on these projects to achieve the first practical results were considered.

Key words: artificial intelligence, emergent intelligence, strategy, research and education center, multi-agent technologies, ontology, digital ecosystems, resource management, decision making, efficiency.

Citation: Barinov II, Borgest NM, Borovik SYu, Granichin ON, Grachev SP, Gromyko YuV, Doronin RI, Zinchenko SN, Ivanov AB, Kizeev VM, Kutlakhmetov RI, Laryukhin VB, Levashkin SP, Mochalkin AN, Panteleev MG, Popov SB, Sevastyanov EM, Skobelev PO, Chernyavsky AG, Shishkin VV, Shlyayev SI. Development strategy formation of the Committee on Artificial Intelligence in the Scientific and Educational Center "Engineering of the Future" [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2021; 11(3): 260-293. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-260-293.

Acknowledgment: Authors express their thanks to academician of RAS and president of Samara university V.A. Soifer and D.V. Sanator, head of Center of strategic initiatives "Nord-East" and deputy director of Association of Industrial Artificial Intelligence.

The work of the SPbSU team was carried out with partial support from the Saint Petersburg State University, project no.73555239; the work of the SamSTU team was partially supported by the RFBR grant no.20-37-90052.

List of tables

Table 1 - Industrial partners and projects for the development of the digital EI ecosystem

Table 2 - Participants of scientific and technical cooperation on EI projects

References

- [1] **Glushkov VM.** Fundamentals of Paperless Informatics. Ed. 2nd, rev. Moscow: Science. 1987. 552 p.
- [2] White Paper. On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust. European Commission. Brussels, 19.2.2020. COM(2020) 65 final. 27 p. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf.
- [3] Public consultation on the AI White Paper. Final report. European Commission. November 2020. 17 p. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/white-paper-artificial-intelligence-public-consultation-towards-european-approach-excellence-and>.
- [4] Excellence and Trust in AI — Brochure. Shaping Europe's digital future. European Commission. Publication 23 February 2021. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/excellence-and-trust-ai-brochure>.
- [5] **Abdoullaev A.** Reality, Universal Ontology and Knowledge Systems: Toward the Intelligent World. EIS Encyclopedic Intelligent Systems, Incorporated, 2008. 346 p.
- [6] **Abdoullaev A.** The Real-World AI: the matter of life or death. European AI Alliance. 17 August 2021. <https://futurium.ec.europa.eu/en/european-ai-alliance/posts/real-world-ai-matter-life-or-death>.
- [7] **Cellan-Jones R.** Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind. *BBC News*, Tech. 2 December 2014. <https://www.bbc.com/news/technology-30290540>.
- [8] **Borgest NM.** Strategies of intelligence and its ontology: an attempt to understand [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 407-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [9] On approval of the Rules for the provision of subsidies from the federal budget to the federal state budgetary institution "Fund for Assistance to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere" for grant support of small enterprises for the development, application and commercialization of products, services and (or) solutions using artificial intelligence technologies, developers of open libraries in the field of artificial intelligence, acceleration of projects using artificial intelligence [In Russian]. Decree of the Government of the Russian Federation of March 27, 2021 No.456. 14 p.
- [10] On the approval of the Rules for the provision of subsidies from the federal budget to support a non-profit organization Fund for the Development of the Center for the Development and Commercialization of New Technologies of Pilot Projects for Testing Artificial Intelligence Technologies in Priority Industries [In Russian]. Resolution of the Government of the Russian Federation No.767 May 21, 2021. 23 p.
- [11] On the approval of the Rules for the provision of grants in the form of subsidies from the federal budget to organizations for the development of bachelor's and master's programs in the "artificial intelligence" profile, as well as for advanced training of teachers of educational institutions of higher education in the field of artificial intelligence [In Russian]. Resolution of the Government of the Russian Federation from May 27, 2021 No.798. 22 p.
- [12] On the approval of the Rules for the provision of subsidies from the federal budget for state support of the autonomous non-profit organization "Analytical Center for the Government of the Russian Federation" in order to support research centers in the field of artificial intelligence, including in the field of "strong" artificial intelligence, systems of trusted artificial intelligence and ethical aspects of the use of artificial intelligence [In Russian]. Resolution of the Government of the Russian Federation of July 5, 2021 No. 1120. 35 p.

- [13] **Averkin AN, Gaase-Rapoport MG, Pospelov DA.** Explanatory Dictionary of Artificial Intelligence [In Russian]. Moscow: Radio and communication, 1992. 256 p. <http://www.raai.org/library/tolk/aivoc.html#L208>.
- [14] **Gromyko YuV, Rubtsov VV.** The digital platform of the School of the Future: The digital-cognitive approach as opposed to the digital-algorithmic simplification of education. Designing the future. Problems of digital reality: proceedings of the 4th International Conference (February 4-5, 2021, Moscow). Moscow: IPM im. M.V. Keldysh, 2021. P.238-259. <https://keldysh.ru/future/2021/21.pdf>; DOI: 10.20948/future-2021-21.
- [15] **Soifer VA.** Human fActor [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2020; 11(1): 8-19. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.
- [16] **Skobelev PO, Borovik SYu.** On the way from Industry 4.0 to Industry 5.0: From digital manufacturing to digital society. *International Scientific Journals Industry 4.0*. 2017; 2(6): 307-311.
- [17] **Vittich VA.** Introduction to the theory of intersubjective control. Samara: Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2013. 64 p.
- [18] **Gil Y, Selman B.** A 20-Year Community Roadmap for Artificial Intelligence Research in the US. Computing Community Consortium (CCC) and Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI). Released August 6, 2019. arXiv:1908.02624 <https://cra.org/ccc/resources/workshop-reports/>.
- [19] Digital platforms. Approaches to definition and typing [In Russian]. Rostelecom. Data Economy Russia 2024. - http://files.data-economy.ru/digital_platforms.pdf.
- [20] Digital platforms. Methodologies. Application in business: Collective monograph [In Russian]. Under total. ed. B.B. Slavina, E.P. Zaramenskikh, N. Mehandzhieva. Moscow: Prometheus, 2019. 228 p.
- [21] **Popov SB, Khripunov PV.** Integration of information systems into digital platforms for the provision of social services to the population [In Russian]. Proceedings of ITNT-2019: V international. conf. and youth. shk. "Information technology and nanotechnology": in 4 volumes. - Samara: New technology, 2019 - Vol. 4: Data science. - 2019. - S.1020-1031.
- [22] **Newman D.** Digital Intelligence: The Heart of Successful Digital Transformation. Futurum, 2017. 11 p. https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/futurum-digital-intelligence-transformation-109136.pdf.
- [23] **Gorodetsky VI, Laryukhin VB, Skobelev PO.** Conceptual model of a digital platform for cyber-physical management of a modern enterprise. Part 1. Digital platform and digital ecosystem [In Russian]. *Mechatronics, automation, control*. 2019; 20(6): 323- 332.
- [24] **Gorodetsky VI, Laryukhin VB, Skobelev PO.** Conceptual model of a digital platform for cyber-physical management of a modern enterprise. Part 2. Digital services [In Russian]. *Mechatronics, automation, control*. 2019; 20(7): 387-397.
- [25] **Glaschenko A, Ivaschenko A, Rzevski G, Skobelev P.** Multi-Agent Real Time Scheduling System for Taxi Companies. Proc. of 8th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009), Decker, Sichman, Sierra, and Castelfranchi (eds.), May, 10–15, 2009, Budapest, Hungary, p.29-36. https://www.researchgate.net/publication/234163991_Multi-agent_real_time_scheduling_system_for_taxi_companies.
- [26] **Skobelev P.** Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Applications. In: Mařík V., Vrba P., Leitão P. (eds) *Holonc and Multi-Agent Systems for Manufacturing*. *HoloMAS 2011*. Lecture Notes in Computer Science, vol 6867. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23181-0_1.
- [27] **Rzevski G, Skobelev P.** Managing complexity. *Wit Pr/Computational Mechanics*. 2014. 216 p.
- [28] **Rzevski G.** Self-Organization in Social Systems. *Ontology of Designing*, 2014: 4(14): 8-17.
- [29] **Rzevski G, Knezevic J, Skobelev P, Borgest N, Lakhin O.** Managing aircraft lifecycle complexity. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*. 2016; 11(2): 77-87.
- [30] **West, M. Angus C, Ottmann B.** A Framework for Assessing the Intelligence of Computer Systems. Manchester UK. PDT Europe 2003: 33-43.
- [31] Top Strategic Technology Trends for 2021. Edited by Brian Burke, Research Vice President, Gartner. 2020. 13 p.
- [32] **Rzevski G, Skobelev P.** Emergent intelligence in large scale multi-agent systems. *International Journal of Education and Information Technology*, 2007; 1(2): 64-71. <https://www.naun.org/main/NAUN/educationinformation/eit-11.pdf>.
- [33] **Panetta K.** Nonfungible tokens (NFTs), digital humans and physics-informed AI join the 25 technology profiles on this year's emerging technologies hype cycle. August 23, 2021. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-themes-surface-in-the-2021-hype-cycle-for-emerging-technologies/>.
- [34] **Granichin O, Erofeeva V, Ivanskiy Y, Jiang Y.** Simultaneous perturbation stochastic approximation-based consensus for tracking under unknown-but-bounded disturbances. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2021; 66(8): 3710–3717. DOI 10.1109/TAC.2020.3024169. <http://ieeexplore.ieee.org/document/9198090>.

- [35] **Amelin K, Granichin O, Sergeenko A, Volkovich ZV.** Emergent intelligence via self-organization in group of robotics devices. *Mathematics*, 2021; 9(12), 1314. <https://doi.org/10.3390/math9121314>.
- [36] **Skobelev PO.** Activity ontologies for situational enterprise management in real time [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 1: 6-38.
- [37] **Skobelev PO.** Situational management and multi-agent technologies: collective search for coordinated solutions in dialogue [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 2: 26-48.
- [38] **Skobelev PO, Ivanov AB, Simonova EV, Travin VS, Jilyaev AA.** Multi-agent scheduling of communication sessions between microsatellites and ground stations network. *Ontology of Designing*, 2014; 2: 92-100.
- [39] **Borgest NM, Budaev DV, Travin VV.** Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 423-442. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [40] **Borgest NM.** Formation and development of Ontology of designing as a scientific discipline: a brief history of personal experience [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 415-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.
- [41] Intellectual agents and multi-agent systems: Monograph / M.G. Panteleev, D.V. Puzankov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation. SPb: Publishing house of SPbSETU, 2015. 215 p.
- [42] **Gorodetsky V, Panteleev M.** Networks of Autonomous Real-Time Agents in Environments with Counteraction: Features and Components of the Model. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021; 1864: 10 p.
- [43] **Lebedev SV, Panteleev MG.** Ontology-Driven Design and Development of Situation Assessment Software in Cyber-Physical Systems. In «Tools and Technologies for the Development of Cyber-Physical Systems». IGI Global, 2020: 51-76. <https://www.igi-global.com/chapter/ontology-driven-design-and-development-of-situation-assessment-software-in-cyber-physical-systems/248745>.
- [44] **Panteleyev MG.** Advanced Iterative Action Planning for Intelligent Real-Time Agents. *Proc. Computer Science*, 2019; 150: 244-252.
- [45] **Lebedev S, Panteleyev M.** Ontology-Driven Situation Assessment System Design and Development in IoT Domains. *Int. Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS)*. 2017; 8(1): 1-17.
- [46] **Sviatov K, Miheev A, Lapshov Y, Shishkin V, Sukhov S.** Detection of Scenes Features for Path Following on a Local Map of a Mobile Robot Using Neural Networks - Studies in Systems, Decision and Control, 2021; 337: 272-285.
- [47] **Chorakaev OE, Shishkin VV, Karama AM, Pirogov AN.** An approach to balancing the capacities of an aircraft plant based on agent-based modeling [In Russian]. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018; 20(4-3): 498-503.
- [48] **Yarushkina NG, Negoda VN, Egorov YuP, Moshkin VS, Shishkin VV, Romanov AA, Egov EN.** Modeling the process of technological preparation of production based on ontological engineering [In Russian]. *Automation of control processes*. 2017; 4(50): 94-100.
- [49] **Marik V, Gorodetsy V, Skobelev P.** System engineering view on multi-agent technology for industrial applications: barriers and prospects. *Cybernetics and Physics*, 2020; 9(1): 13-30.
- [50] The C-Suite Guide: Accelerate Digital for Future-Ready Business. Frameworks for composable tech, empowered customers and the future of work. Gartner. CM_CF_1289200. 2021. 13 p.
- [51] Accelerate Digital for Future-Ready Government. Frameworks for composable tech, empowered citizens and the future of work. Gartner. CTMKT_1316663. 2021. 16 p. <https://www.gartner.com/en/publications/accelerate-digital-for-future-ready-government>.

About the authors

Igor Ignatievich Barinov (b. 1961) graduated from the Kharkov Higher Military Command and Engineering School named after Marshal of the Soviet Union N.I. Krylov (1983). A member of the Supervisory Board of the Association of Organizations and Specialists in Information Technology Management "IT Service Management Forum", the head of the process management and quality management development service group at the Main Computing Center of Russian Railways, a lecturer at the Moscow International Higher Business School "MIRBIS". igorbar@yandex.ru.

Nikolay Mikhailovich Borgest (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev-city) in 1978, PhD (1985). He is a Professor at Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, and a Senior Research worker at ICCS RAS. He is a member of the International Association for Ontology and its Applications, a member of the Russian Association of Artificial Intelligence, a co-author of more than 200 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI. AuthorID (RCI): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. borgest@yandex.ru.

Sergey Yurievich Borovik (b. 1972) graduated from the Povolzhskiy Institute of Informatics and Telecommunication in 1994, D.Sc.Eng. (2012). Head of the Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences – Independent Department of Samara Federal Research Scientific Centre of Russian Academy of Sciences. He is a member of Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). He is a co-author of more than 180 scientific publications. Author ID (RSCI): 17975; Author ID (Scopus): 7801624472; ORCID: 0000-0002-6849-9026; Researcher ID (WoS): R-4662-2016. borovik@iccs.ru.

Oleg Nikolaevich Granichin (b. 1961) graduated from Leningrad State University (1983), Doctor of Physical and Mathematical Sciences (2001), Professor of St. Petersburg State University, a member of the Academy of Navigation and Traffic Control, a Senior member of IEEE, a member of AMS, a member of the editorial board of the journal "Automation and Telemekhanics", associate editor of the IEEE Control System Society Conference Editorial Board, editor of the journal "Cybernetics and Physics", editor of the scientific journal "Stochastic Optimization in Informatics". ORCID: 0000-0002-3631-7347. o.granichin@spbu.ru.

Oleg Nikolaevich Grachev (b. 1970) is General Director of the Genesis of Knowledge Group of Companies, post-graduate student of the Samara State Technical University. Graduated from Samara State Aerospace University with a degree in Applied Mathematics and Computer-Aided Design Systems. Graduated from London Business School, London, UK and taught project management at the Higher School of Economics (Moscow). He has 12 publications. AuthorID (RSCI): 672695. sg@kg.ru.

Yuri Vyacheslavovich Gromyko (b. 1958) graduated from Yaroslavl State University (1981), Doctor of Psychology. (1993), a professor of the Graduate School of Management and Innovation of the M.V. Lomonosov Moscow State University, a professor at the British School of Social and Economic Research, a Guest-professor at the University of Manchester, a member of the International Society ISCAR, director of Schiffers Institute. AuthorID (RSCI): 100304. Author ID (Scopus): 56743198200. ORCID: 0000-0001-6173-6239. yugromyko@gmail.com.

Roman Ivanovich Doronin (b. 1970) graduated from the Moscow Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation (Computer Complexes and Networks), Moscow Institute of Management (Commercial Business), Peoples' Friendship University of Russia (MBA), State University of Civil Aviation (Air Transport Enterprise Management). Head of the Competence Center for Digital Systems of the specialized company Uralvagonzavod Concern. Awarded the medal of the All-Union Exhibition of Economic Achievements of the USSR (1987) for the development of a software package. romandor@mail.ru.

Sergey Nikolaevich Zinchenko (b. 1963) graduated from the Kharkov Higher Military Command and Engineering School of the Rocket Forces named after N.I. Krylov (1986), Engineer-mathematician. Until 1992, he served in the Armed Forces of the USSR and the Russian Federation. He was engaged in the development and maintenance of software systems, information and expert systems. He underwent retraining at the Financial Academy under the Government of the Russian Federation. He is the head of the Partner Center of the Rostec Group of Companies in the Skolkovo Innovation Center. sergeyandsolkovo@mail.ru.

Anton Borisovich Ivanov (b. 1972) graduated from the Moscow Engineering Physics Institute (1994), the California Institute of Technology, Ph.D. (2000). In 1999 - 2007 he worked at NASA, Jet Propulsion Laboratory, senior project manager. In 2007 - 2017 he worked at the École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), from 2017 to the present the Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Director of the Space Center, Associate Professor works. Author ID (Scopus): 7404526147. ORCID: 0000-0001-8376-8581. A.Ivanov2@skoltech.ru.

Veniamin Mikhailovich Kizeev (b. 1987) graduated from Tomsk Polytechnic University (2009), Ph.D. (2020). A member of the Board of the National Association for Project Management "SOVNET", a member of the Board of Directors of WINbd, partner of the start-up studio "Open Innovations", the Head of the Council for Innovation Activities of the Association for Engineering Education of Russia. AuthorID (RSCI): 822197. vkizeev@gmail.com.

Rinat Ilgizovich Kutlakhmetov (b. 1974) Director of Knowledge Management CKO (Chief knowledge officer), General Director of CEO (Chief executive officer) of AVC Consulting. Graduated from the Perm State Pharmaceutical Academy, specialization - Economics and Pharmacy Management (2004), REA im. G.V. Plekhanov, specialization - Financial management of the organization (2008). An expert in project management and data analysis, the author of lean manufacturing techniques and 15 publications in industry publications. kri@avcc.ru.

Vladimir Borisovich Laryukhin (b. 1988) graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of the Samara State University of Architecture and Civil Engineering. Since January 2010, he has been working for Reasonable Solutions. Post-graduate student of the Samara State Technical University. Areas of scientific development: project management in real time, creation of a software platform for building resource management systems in real time. He has a list of works of 28 titles. Author ID (Scopus): 56241400900. vl@kg.ru.

Sergei Pavlovich Levashkin, (b. 1960) graduated from the Moscow State University named after M.V. Lomonosov in 1983, Ph.D. (1990). 1983 - 1990 worked at KPTI. In 1990-2019. worked in universities and commercial campaigns in

Moscow, Mexico, Canada and the USA (research and development of intelligent systems). Chairman of 4 editions of the international conference on the semantic analysis of geodata. Head of the Research Laboratory of II PSUTI. *serge.levashkin@gmail.com*.

Alexander Nikolaevich Mochalkin (b. 1973), Junior Researcher at Samara State Technical University, General Director of LLC NPK Network Center Platforms. The list of scientific papers includes 23 papers in the field of multi-agent systems, group control and AI. *a-mochalkin@mail.ru*.

Mikhail Georgievich Panteleev (b. 1960) graduated from the Penza Polytechnic Institute (1982), Ph.D. (1988). Associate Professor of the Department of Computer Science, ETU "LETI", Head of the Laboratory "Intelligent Technologies", Leading Researcher JSC "SIC SPbETU". A member of the Russian Association for Artificial Intelligence. The list of scientific works includes more than 100 works in the field of artificial intelligence, intelligent agents, multi-agent systems, semantic Web technologies, ontological systems. AuthorID (RSCI): 109779. *mpanteleyev@gmail.com*.

Sergey Borisovich Popov (b. 1957) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev in 1981, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher of the Institute of Sociology of the Russian Academy of Sciences - branch of the Federal Research Center "Crystallography and Photonics" of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Technical Cybernetics of the Samara National Research University named after academician S.P. Korolev. AuthorID (RSCI): 123826. Author ID (Scopus): 35790504700; ORCID: 0000-0003-4995-0982; Researcher ID (WoS): A-6695-2017. *sepo@ssau.ru*.

Evgeny Mikhailovich Sevastyanov (b. 1978) graduated from the Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev, Faculty of Economics and Management (2002). In 2017-2018, the chief expert of Roscosmos State Corporation in the competencies "Milling work on CNC machines", "Turning work on CNC machines" according to international standards of cross-cutting working professions "World skills". At present he is the First Deputy Chief Engineer of JSC "RCC" Progress". *e-tech-samara@mail.ru*.

Petr Olegovich Skobelev (b. 1960) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Koroleva (1983), Ph.D. (1985), D.Sc. (2003). A member of the Russian Association for Artificial Intelligence, a member of the organizing committee of several international scientific conferences on multi-agent technologies. Founder and Chairman of the Board of Directors of the Genesis Knowledge Group of Companies, Head. department "ESIB" SamSTU, head of the laboratory "Intelligent systems" IPUSS RAS. Laureate of the Samara Region prize in science and technology. Chairman of AI Committee of S&E Center "Engineering of Future". *petr.skobelev@gmail.com*.

Alexander Grigorievich Chernyavsky (b. 1952) graduated from the Moscow Aviation Institute (1976), Honorary Professor of Tomsk Polytechnic University (2015), Honorary Member of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky (2018). Advisor to the General Director of RSC Energia named after S.P. Korolev. Author of over 120 scientific publications, over 50 copyright certificates and patents. AuthorID (RSCI): 866620, *alexander.chernyavsky2012@yandex.ru*.

Vadim Viktorovich Shishkin (b. 1959) graduated from the Ulyanovsk Polytechnic Institute (1984), Ph.D. (1991), associate professor (1994). Director of the Institute of Aviation Technologies and Management, Associate Professor of the Ulyanovsk State Technical University. Honorary Worker of the Education Sphere of the Russian Federation. Member of the Russian Association for Artificial Intelligence. The list of scientific papers includes about 300 papers in the field of design automation, diagnostics and AI. AuthorID (RSCI): 482217; Author ID (Scopus): 7005233697; ORCID: 0000-0001-8773-2164. *shvv@ulstu.ru*.

Sergei Ivanovich Shlyaev (b. 1956) graduated from the Volsk Higher Military School of Logistics (1977), the Military Academy of Logistics and Transport (1986), the Military Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation (1996), the Russian Academy of State Service under the President of the Russian Federation (1997). Active State Councilor of the Russian Federation, 2nd class (2009). Deputy General Director for Strategic Development of PJSC MAK «Vympel». *sshlyaev@yandex.ru*.

Received August 23, 2021. Revised September 10, 2021. Accepted September 21, 2021.
