

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ

DOI: 10.15838/esc.2022.3.81.6

УДК 331.5, ББК 65.054

© Гуртов В.А., Аверьянов А.О., Корзун Д.Ж., Смирнов Н.В.

Система классификации технологий в сфере искусственного интеллекта для кадрового прогнозирования



Валерий Алексеевич

ГУРТОВ

Петрозаводский государственный университет

Петрозаводск, Российская Федерация

e-mail: vgurt@petsu.ru

ORCID: 0000-0002-2442-7389; ResearcherID: D-5286-2015



Александр Олегович

АВЕРЬЯНОВ

Петрозаводский государственный университет

Петрозаводск, Российская Федерация

e-mail: aver@petsu.ru

ORCID: 0000-0003-2884-8110; ResearcherID: AGK-3166-2022



Дмитрий Жоржевич

КОРЗУН

Петрозаводский государственный университет

Петрозаводск, Российская Федерация

e-mail: dkorzun@cs.karelia.ru

ORCID: 0000-0003-1723-5247; ResearcherID: C-6631-2013



Николай Васильевич

СМИРНОВ

Петрозаводский государственный университет

Петрозаводск, Российская Федерация

e-mail: smirnovn@petsu.ru

ORCID: 0000-0003-3208-2402

Для цитирования: Гуртов В.А., Аверьянов А.О., Корзун Д.Ж., Смирнов Н.В. (2022). Система классификации технологий в сфере искусственного интеллекта для кадрового прогнозирования // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 15. № 3. С. 113–133. DOI: 10.15838/esc.2022.3.81.6

For citation: Gurtov V.A., Averyanov A.O., Korzun D.Zh., Smirnov N.V. (2022). A system for classification of technologies in the field of artificial intelligence for personnel forecasting. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 15(3), 113–133. DOI: 10.15838/esc.2022.3.81.6

Аннотация. Развитие российской экономики, в том числе за счет масштабного внедрения цифровых технологий и технологий искусственного интеллекта, требует соответствующих ресурсов. Одним из них являются квалифицированные кадры. Потребность в подготовленных специалистах ставит перед государственными институтами важные вопросы – кого и сколько необходимо подготовить, что, в свою очередь, требует детализации кадровой потребности. В статье представлены результаты разработки системы классификации технологий искусственного интеллекта для решения задач кадрового прогнозирования. Теоретическая значимость результатов исследования заключается в создании системы классификации, которая структурирует существующие знания о технологиях в сфере искусственного интеллекта и обладает потенциалом для получения новых знаний. Новизна подхода к построению классификации технологий искусственного интеллекта состоит в использовании трехкомпонентной структуры технологий «методы – инструменты – области применения», а также профилировании классификации под задачи прогнозирования потребности экономики в кадрах с компетенциями в сфере искусственного интеллекта. В основу классификации легли результаты анализа научных публикаций по тематике искусственного интеллекта (журналы первого квартиля Q1 и конференции уровня A/A*). Для их исследования применялся метод Systematic Literature Review. Также были проанализированы все тематические публикации, индексируемые в Scopus. Практическая значимость результатов раскрывается применительно к задачам кадрового прогнозирования в сфере искусственного интеллекта. Разработанная классификация позволяет структурировать кадровую потребность на разных уровнях детализации технологий искусственного интеллекта. Другим направлением развития предложенной классификации является сопоставление компетенций (знания, умения и практический опыт) по востребованным группам профессий с компонентами областей технологий искусственного интеллекта (методы, инструменты, области применения) для разработки образовательных программ в соответствующей сфере. Предложенная классификация имеет потенциал для развития: одним из путей является экспертная оценка приоритетных направлений развития искусственного интеллекта. В тексте статьи кратко представлены результаты такого приложения классификации.

Ключевые слова: цифровая экономика, кадровая потребность, прогнозирование, искусственный интеллект, технологии, классификация, фронтиры.

Введение

Последние несколько лет дали старт ускоренному внедрению технологий искусственного интеллекта (ИИ) во всех областях экономики России: приняты важнейшие стратегические документы¹, декларирующие цели, основные направления и задачи², а также механизмы реализации государственной политики Российской Федерации в сфере развития искусственного

интеллекта³. Реализуются масштабные проекты по подготовке кадров с компетенциями в сфере ИИ: федеральный проект «Кадры для цифровой экономики»⁴, создание Центров компетенций НТИ⁵, крупнейшие российские компании сформировали альянс по развитию искусственного

¹ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утверждена указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/> (дата обращения 01.03.2022).

² Перечень поручений по итогам конференции по искусственному интеллекту Пр-2242 от 31 декабря 2020 г. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/64859> (дата обращения 01.03.2022).

³ Паспорт федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: https://ac.gov.ru/uploads/_Projects/AI_otbor/Passport.pdf (дата обращения 01.03.2022).

⁴ Кадры для цифровой экономики: интернет-портал. URL: <https://digitalskills.center/> (дата обращения 01.03.2022).

⁵ Центры компетенций НТИ // Национальная технологическая инициатива: интернет-портал. URL: <https://nti2035.ru/technology/competence> (дата обращения 01.03.2022).

интеллекта⁶. В 2021 году создано шесть исследовательских центров ИИ на базе НИУ ВШЭ, Сколтех, Университета Иннополис, ИСП РАН им. В.П. Иванникова, Университета ИТМО, МФТИ⁷. В мае 2022 года создана Национальная комиссия по этике в сфере ИИ⁸.

Для управления процессом ускоренного технологического развития РФ в сфере ИИ, в соответствии с указом Президента России «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»⁹, государственным институтам необходимо обладать текущими и прогнозными показателями кадровой потребности на среднесрочную и долгосрочную перспективу, в том числе знать текущую численность кадров, занятых в экономике и обладающих компетенциями в сфере ИИ, а также требуемые объемы подготовки выпускников. Расчет таких показателей определяет практическую проблему, решение которой необходимо для перехода России к цифровой экономике.

В то же время существует открытая научная проблема, заключающаяся в отсутствии четкой структуры технологий ИИ, которая бы регламентировала связи технологий с профессиями в экономике и образовательными направлениями подготовки / специальностями. При детализации прогнозных показателей необходимо иметь структурную модель технологий в сфере ИИ для выделения фронтиров (перспективных субтехнологий), а также методов и инструментов для формирования компетенций при подготовке специалистов. Существующие системы классификации технологий ИИ, в том числе

международные, недостаточны для выделения фронтиров развития на основе оценки потенциала этого развития.

Выявленной проблеме сопутствуют и другие противоречия. Так, при разработке федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) для новых образовательных специальностей ИИ из общероссийского классификатора специальностей (ОКСО) – 2022 необходимо указать соответствующие области технологий, а для основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО) – связь компетенций выпускника с областями технологий. При разработке профессиональных стандартов по профессиям искусственного интеллекта необходимо указать области технологий, для которых эти профстандарты создаются.

Поставленная практическая проблема по расчету показателей кадровой потребности в сфере ИИ обуславливает необходимость решения научной проблемы по разработке новой системы классификации технологий ИИ. Цель научного исследования, представленного в данной статье, состоит в формировании научно-обоснованного подхода к разработке системы классификации технологий ИИ, обеспечивающей решение задач кадрового прогнозирования в условиях перехода к цифровой экономике. Объектом исследования является сфера искусственного интеллекта, предметом исследования – структурные компоненты технологий искусственного интеллекта. Для достижения поставленной цели предлагается решить следующие задачи.

1. Выполнить анализ существующих подходов к классификации технологий ИИ для определения проблемных зон, не позволяющих использовать существующие системы классификации для задач прогнозирования кадровой потребности.

2. Разработать общую структурную модель технологий ИИ, обеспечивающую устранение проблемных зон на основе дифференциации технологий ИИ по составу входящих в каждую технологию перспективных методов, инструментов и областей применения.

3. Построить частную систему классификации технологий ИИ на основе структурной модели с расчетом количественных показателей, оценивающих текущий потенциал фронти-

⁶ Forbes.ru. URL: <https://www.forbes.ru/newsroom/tehnologii/387055-v-rossii-sozdali-alyans-po-razvitiyu-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения 01.03.2022).

⁷ Исследовательские центры продемонстрировали пилотные ИИ-решения // Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: https://economy.gov.ru/material/news/issledovatelskie_centry_prodeemonstrirovali_pilotnye_ii_resheniya.html (дата обращения 01.03.2022).

⁸ В России создана Комиссия по этике в сфере искусственного интеллекта // Независимая газета. URL: <https://www.ng.ru/news/740197.html> (дата обращения 01.03.2022).

⁹ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утверждена указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/> (дата обращения 01.03.2022).

ров развития (наиболее перспективных субтехнологий) на основе данных по международной публикационной активности в сфере ИИ за 2016–2021 гг.

4. Применить систему классификации технологий ИИ для решения задач кадрового прогнозирования и определения фронтов развития РФ в сфере ИИ в перспективе до 2025 года.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в создании системы классификации, которая структурирует существующие знания о технологиях в сфере ИИ и обладает потенциалом для получения новых знаний. Практическая значимость результатов раскрывается применительно к задачам кадрового прогнозирования в сфере ИИ.

Информационной базой исследования являются федеральные документы стратегического планирования в сфере искусственного интеллекта, международные библиографические базы данных WoS и Scopus, научные публикации. Конкретные наименования и ссылки приводятся по мере их упоминания в тексте статьи.

Анализ существующих подходов к классификации технологий в сфере искусственного интеллекта

Существует множество научных работ в сфере искусственного интеллекта, и их число с каждым годом растет. Однако необходимо отметить, что большинство как российских, так и зарубежных исследований связаны именно с технологиями искусственного интеллекта, их разработкой, внедрением и улучшением. Есть работы по отдельным направлениям ИИ, например, можно отметить ряд трудов российских исследователей в сфере ИИ – компьютерное зрение (Khokhlova et al., 2019; Vokovoy et al., 2020), биометрическое распознавание (Vartanov et al., 2020), предиктивная аналитика (Vuevich et al., 2021) и др.

Отдельный блок формируют работы, раскрывающие сущность понятия «искусственный интеллект» и его этические составляющие (Разин, 2019; Любимов, 2020). В ряде исследований затрагиваются взаимосвязи когнитивных функций человека и технологий искусственного интеллекта (Gust, Kühnberger, 2006; Lu, Li, 2019; Jin, 2020).

Сфера искусственного интеллекта рассматривается и через призму экономических исследований. Тематика цифровой трансформа-

ции и искусственного интеллекта поднимается О.А. Романовой и А.О. Пономаревой (Романова, Пономарева, 2020), роль искусственного интеллекта в экономике представлена в цикле статей В.Н. Лексина (Лексин, 2020). Также есть работы, посвященные кадровому обеспечению цифровой трансформации (Колин, 2019; Кузнецов и др., 2020).

Существуют отдельные аналитические материалы, которые затрагивают более широкий спектр проблем этой сферы. В международном сообществе авторитетным является цикл аналитических отчетов «AI Index Report» (2017–2022 гг.), издаваемый Стэнфордским университетом¹⁰. Отчеты содержат анализ исследований и разработок, состояния рынка труда и системы образования в сфере ИИ, а также стратегии развития ИИ в отдельных странах. В России аналогичные по тематике отчеты публикуются Центром Национальной технологической инициативы на базе МФТИ – «Альманах ИИ»¹¹. Масштабные исследования состояния сферы ИИ проводятся международными консалтинговыми компаниями «IDC»¹² и «Gartner»¹³. Ряд стран выпускает «Белые книги» по проблемам технологий ИИ, одна из них была опубликована в России¹⁴.

Однако почти не разрабатываются подходы для классификации технологий ИИ, в том числе не затрагивается проблематика кадрового обеспечения в рамках реализации планов по развитию сферы ИИ.

Среди существующих наработок можно выделить схему технологий ИИ, используемую в Центре Национальной технологической ини-

¹⁰ THE AI INDEX REPORT. URL: <https://aiindex.stanford.edu/report/> (дата обращения 22.03.2022).

¹¹ Искусственный интеллект: альманах. URL: <https://aireport.ru/> (дата обращения 22.03.2022).

¹² Исследование международной консалтинговой компании International Data Corporation «Worldwide Artificial Intelligence Spending Guide». URL: https://www.idc.com/tracker/showproductinfo.jsp?containerId=IDC_P33198 (дата обращения 22.03.2022).

¹³ Исследование международной консалтинговой компании Gartner «Hype Cycle for Artificial Intelligence», 2021. URL: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-27ILFEVT&ct=210923&st=sb#cppdip.747735> (дата обращения 22.03.2022).

¹⁴ Белая книга: Развитие отдельных высокотехнологических направлений, 2020. 188 с. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/ba6a7585c4b23c85931aaee99682ad30/belaya_kniga_2022.pdf (дата обращения 16.03.2022).

циативы на базе МФТИ — в «Альманахе ИИ»¹⁵. Разработана базовая модель профессий и компетенций «Альянса ИИ»¹⁶. Карты ИИ разработаны компанией «АйПи Лаборатория»¹⁷ и изданием о технологиях и бизнесе «RB.RU»¹⁸. В то же время предложенные подходы к классификации позволяют сформировать лишь общую картину состояния технологий ИИ, неприменимую напрямую к задачам прогнозирования кадров.

В рамках классификации технологий ИИ, представленной авторами «Альманаха ИИ»¹⁹, выстроена цепочка технологий ИИ вида «когнитивная функция — актуальные прикладные направления разработок». В классификации отсутствуют возможности выстраивания связи технологий с профессиями в экономике и с образовательными направлениями подготовки специалистов.

Наиболее близкой для задач прогнозирования кадров выступает базовая модель профессий и компетенций «Альянса ИИ». В ней выделены шесть профессиональных ролей и необходимый уровень владения каждой из 36 ключевых компетенций. Данная модель описывает необходимые компетенции для профессий: иллюстрирует, что должны уметь выпускники вузов в области разработки и применения технологий ИИ. В то же время модель не достаточна для планирования объемов подготовки и прогнозирования кадровой потребности экономики, т. к. технологии в ней представлены с точки зрения инструментов. Нет привязки к

другим составным элементам любой технологии — к методам и областям применения.

Базовая модель профессий и компетенций «Альянса ИИ» также определяет шесть основных групп профессий, необходимых для разработки технологий ИИ. Однако готовить нужно не только разработчиков продукта ИИ, но и тех, кто использует отдельные технологии или инструменты ИИ в своей профессиональной деятельности.

Классификация технологий ИИ, используемая в «Карте искусственного интеллекта России», как отмечают сами авторы, состоит из двух параллельных классификаторов — по функциям (зрение, речь и т. д.) и по областям применения (финансы, промышленность и т. д.)²⁰, и пока не сведена в единую систему. Представлено качественное описание состояния технологий, но возможностей модели недостаточно для получения количественных показателей развития технологий.

В «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»²¹ технологии ИИ определены как «технологии, основанные на использовании искусственного интеллекта, включая компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальную поддержку принятия решений и перспективные методы искусственного интеллекта». Несомненно, развитие любой технологии существенно зависит от составляющих эту технологию перспективных методов. В то же время прогнозирование кадров требует понимания перспективности и потенциала развития связанных с технологией инструментов и областей применения.

Резюмируя, можно сделать вывод, что представленные системы классификации технологий искусственного интеллекта достаточно проработанные и решают отдельные отраслевые задачи, однако они не подходят для задач кадрового прогнозирования. Так, например, классификации не обладают способами коли-

¹⁵ Искусственный интеллект. Текущее состояние в России и мире. Стратегия России (2019): альманах / Центр Национальной технологической инициативы на базе МФТИ по направлению «Искусственный интеллект». № 1. М. URL: <https://aireport.ru/review> (дата обращения 03.03.2022).

¹⁶ Базовая модель профессий и компетенций // Альянс в сфере искусственного интеллекта. URL: <https://a-ai.ru/education/#methodology-profession-model> (дата обращения 03.03.2022).

¹⁷ Карта искусственного интеллекта России «airussia». URL: <http://airussia.online/> (дата обращения 22.03.2022).

¹⁸ Карта искусственного интеллекта издания «RB.RU». URL: <https://rb.ru/ai/> (дата обращения 22.03.2022).

¹⁹ Искусственный интеллект. Текущее состояние в России и мире. Стратегия России (2019): альманах / Центр Национальной технологической инициативы на базе МФТИ по направлению «Искусственный интеллект». № 1. М. URL: <https://aireport.ru/review> (дата обращения 03.03.2022).

²⁰ URL: <http://airussia.online/#opis> (дата обращения 22.03.2022).

²¹ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утверждена указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/> (дата обращения 01.03.2022).

чественной оценки существенных признаков технологии, которые позволили бы относить к той или иной технологии профессии или виды экономической деятельности.

Структурная модель технологий искусственного интеллекта

В целях разработки системы классификации, требуемой в задачах прогнозирования кадров в сфере ИИ, предлагается структурная модель, основанная на следующих свойствах.

1. Иерархия технологий ИИ от общего (когнитивная функция) к частному (специализированные технологии), аналогично цепочкам вида «когнитивная функция – актуальные прикладные направления разработок» из «Альманаха ИИ».

2. Качественный состав каждой технологии определяется входящими в нее методами, инструментами и областями применения.

3. Количественная оценка существенных признаков каждой технологии соответствует потенциалу развития технологии и определяется перспективностью используемых методов, инструментов и областей применения.

Иерархия технологий искусственного интеллекта

В настоящее время термин «искусственный интеллект» имеет множество определений. Так, в «Дорожной карте развития ИИ» искусственный интеллект определяется как «*комплекс технологических решений, имитирующий когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и позволяющий при выполнении задач достигать результаты, как минимум сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение, в котором в том числе используются методы машинного обучения, процессы и сервисы по обработке данных и выработке решений*»²². Хусейн Аббас, редактор журнала «IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence», определяет ИИ как «*социальные и когнитивные явления,*

²² Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект» / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Утверждена 10 октября 2019 г. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6658> (дата обращения 01.03.2022).

которые позволяют машине социально интегрироваться в общество для выполнения конкурентных задач, требующих когнитивных процессов, и общаться с другими субъектами общества путем обмена сообщениями с высоким содержанием информации и более короткими представлениями» (Abbass, 2021).

Из этого следует, что технологии ИИ позволяют делегировать машине задачи, которые ранее выполнял человек. Отличительное свойство таких задач – наличие когнитивных функций, а отдельные технологии искусственного интеллекта в представленных дефинициях определяются информационно-коммуникационными технологиями (ИКТ). Таким образом, каждая технология ИИ обладает следующими характеристиками:

- 1) обеспечение реализации когнитивных функций человека;
- 2) реализация этих функций выполняется на основе использования ИКТ.

Следовательно, на верхнем уровне иерархии должна быть классификация по признакам, связанным с когнитивными функциями, а на следующих уровнях выполняется классификация по ИКТ-ориентированному способу реализации. Выделим три уровня в иерархии технологий ИИ.

1. Первый уровень: замещаемая когнитивная функция.
2. Второй уровень: области технологий ИИ.
3. Третий уровень: частные технологии (субтехнологии) ИИ.

Выделяют три вида реализации когнитивных функций человека (Баксанский, 2005):

- 1) распознавание как восприятие информации;
- 2) осмысление как обработка и анализ информации, запоминание и хранение, обмен информацией;
- 3) действие как построение и осуществление программы действий.

Они представляют собой вложенную структуру, где каждый следующий вид включает в себя функции предыдущего.

Применительно к сфере ИИ представленные виды реализации когнитивных функций обуславливают степень делегирования ИИ (замещения) тех функций, которые ранее выполнял человек. Определяется, от выпол-

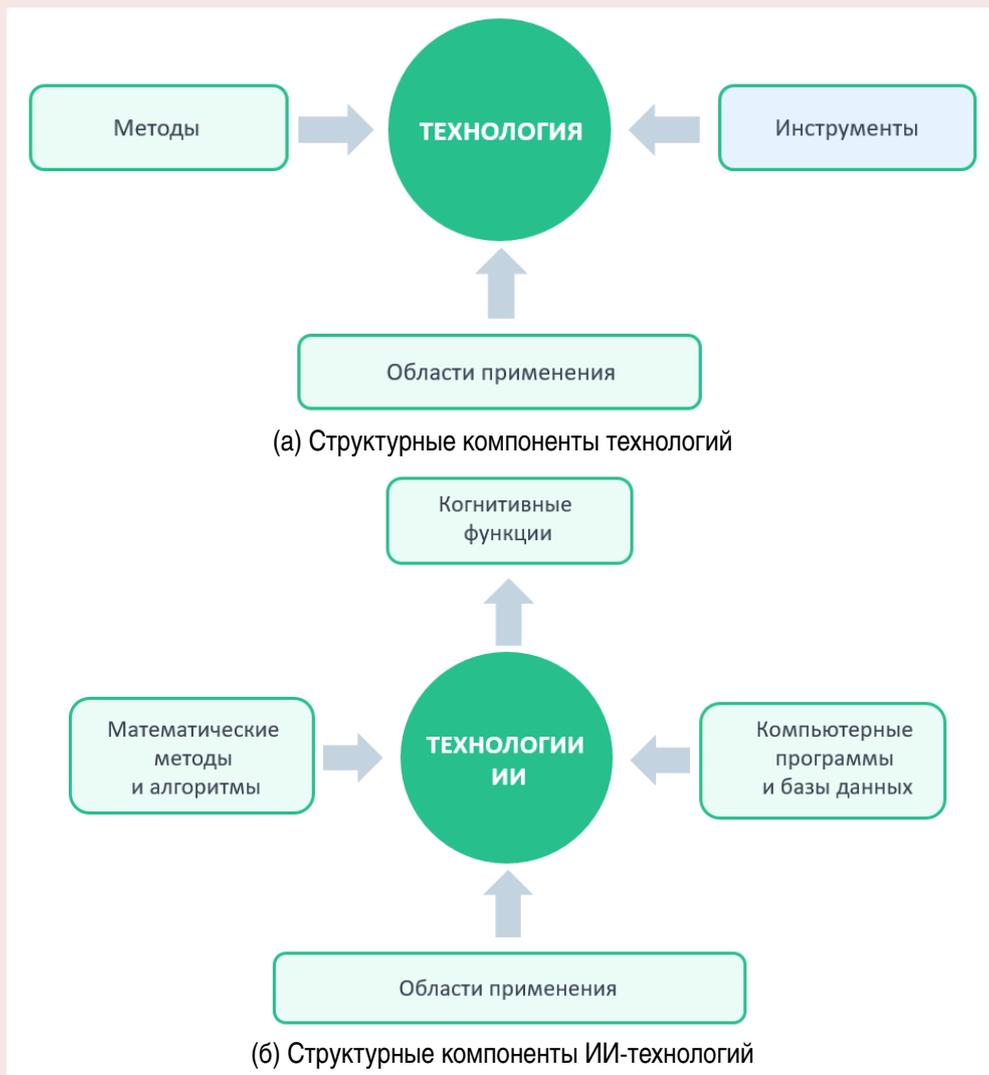
нения каких функций (компетенций) может быть освобожден человек за счет использования отдельных технологий ИИ. В общем случае компетенция – это способность специалиста решать класс профессиональных задач (знания, опыт, навыки). Следовательно, компетенции входят и в методы, и в инструменты, и в области применения (Мигуренко, 2016; Калиновская, 2021), что определяется на втором и третьем уровнях предлагаемой иерархии технологий ИИ.

Качественная структура технологий искусственного интеллекта

В общем случае технология содержит три компоненты (Ушаков, 2017): методы (научные

знания, обеспечивающие решение задачи); инструменты (средства для применения метода при решении задачи); области применения (источник практических задач). Общая компонентная структура технологии представлена на *рис. 1(а)*. Применительно к технологии ИИ эти три компонента, определяющие состав ее методов, инструментов и областей применения, будут следующими: методы – это математические методы и алгоритмы; инструменты – компьютерные программы и базы данных / базы знаний; области применения ИИ – отрасли экономики. Компонентная структура технологий искусственного интеллекта отражена на *рис. 1(б)*.

Рис 1. Структура компонентов технологии и компонентов ИИ-технологии



Источник: составлено авторами.

Области технологий ИИ (второй уровень иерархии) обеспечивают наборы методов и алгоритмов, инструментов и областей применения для сферы ИИ. Для каждого вида реализации когнитивных функций экспертно были определены наборы технологий ИИ (названия, в т. ч. синонимичные), попадающие в этот вид. Для компоненты «Математические методы и алгоритмы» выделено 10 наименований; для компоненты «Компьютерные программы и базы данных» – 18 наименований; для «Областей применения» – 21 наименование. Они представлены в виде справочников, которые имеют двухуровневую структуру ключевых слов.

1. Название объекта из набора (на русском и английском языках), включая эквивалентные названия.

2. Ключевые слова для каждого объекта из набора (на русском и английском языках), детализирующие элементы специализации соответствующего объекта.

В итоге разработано 4 справочника наименований: а) области технологий ИИ; б) математические методы и алгоритмы; в) компьютерные программы и базы данных / базы знаний; г) области применения ИИ. Справочники являются вспомогательными внутренними материалами, они предназначены для количественной оценки существенных признаков субтехнологий ИИ (третий уровень иерархии); были сформированы на основе экспертного анализа основополагающих документов в сфере ИИ, а также научных публикаций в ведущих изданиях.

Оценка признаков технологий ИИ на основе научных публикаций

Для задач прогнозирования кадров основным признаком технологии ИИ является ее потенциал развития, поэтому требуется оценить перспективность областей технологий ИИ на основе перспективности входящих в область субтехнологий ИИ. Перспективность субтехнологии определяется перспективностью используемых методов, инструментов и областей применения. Необходимо выявить, какие конкретно методы, инструменты и области применения определяют субтехнологии.

Для этого выбран метод Systematic Literature Review (Snyder, 2019), базирующийся на основе анализа научных публикаций по тематике ИИ, в нашем случае в журналах, индексируемых в международных базах данных (МБД) Scopus

и Web of Science, а также в изданиях, индексируемых в системе российского научного цитирования РИНЦ. В рамках этого метода для выделения приоритетных направлений развития (фронтиров) искусственного интеллекта использовался перечень журналов, содержащий только ведущие издания (журналы первого квартиля Q1 и конференции уровня А/А*) в сфере ИИ. Перечень таких изданий утвержден Минэкономразвития России в рамках конкурса центров ИИ в 2021 году²³.

Методика анализа публикационной активности состоит в следующем. Эксперты в области ИИ выбирали за каждый год в период 2016–2021 гг. все статьи в журналах Q1 и первые 100 статей из трудов конференций в сфере ИИ А/А*. Выполняя анализ текста в названии, аннотации и ключевых словах публикации, эксперты формировали перечень частных технологий ИИ (субтехнологий ИИ) – первый уровень справочника по технологиям. Затем формировался список ключевых слов второго уровня справочника по технологиям. Аналогично формировались наборы использующихся методов и инструментов, а также ключевые слова для справочников по методам и инструментам. Первый уровень (названия) в справочнике по областям применения создан на основе общероссийского классификатора видов экономической деятельности²⁴. Таким образом, справочники представляют собой перечни ключевых слов для каждой из компонент областей технологий.

Для получения количественных характеристик степени использования различных компонент (методов, инструментов, областей применения) и их отдельных субкомпонент применялся следующий алгоритм на основе запросов к МБД Scopus / WoS:

1) находится K_c количество публикаций, в которых используются какие-либо слова из множества ключевых слов конкретных компонент;

²³ Документация отбора получателей 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. URL: https://ac.gov.ru/uploads/_Projects/AI_otbor/DocumentsWord.docx (дата обращения 01.02.2022).

²⁴ ОКВЭД 2. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности ОК 029-2014. URL: <https://classinform.ru/okved2.html> (дата обращения 01.02.2022).

2) находится K_{sc} количество публикаций, в которых используются ключевые слова конкретных субкомпонент;

3) находится доля публикаций субкомпонент в публикациях компонент K_p :

$$K_p = K_{sc} / K_c.$$

Данный алгоритм носит общий характер, не требует экспертного анализа. Конкретный вариант реализации алгоритма будет представлен в статье далее на основе МБД Scopus за период 2016–2022 гг.

Система классификации технологий искусственного интеллекта

С помощью методики экспертного анализа научных публикаций проведено выборочное исследование ведущих изданий (журналы первого квартиля Q1 и конференции уровня А/А*) в сфере ИИ за 2016–2021 гг. (2426 публикаций). По результатам анализа экспертами названий и ключевых слов сформировано 96 частных технологий (субтехнологий) ИИ, составляющих третий (нижний) уровень классификации. Для каждой субтехнологии выполнена оценка алгоритмом ее встречаемости (число публикаций) по запросам к МБД Scopus (69571 публикация). При этом экспертами также выполнена работа по формулировке названий субтехнологий с учетом других источников, в частности Стратегии развития ИИ²⁵.

Далее эксперты выполнили группировку субтехнологий ИИ для формирования второго уровня классификации – укрупнение до областей технологий ИИ. Каждая такая область представляет собой определенное магистральное направление развития ИИ. Оценка перспективности области технологий вычисляется как сумма оценок, входящих в область субтехнологий. Такое группирование субтехнологий экспертами основано на российских и зарубежных отраслевых источниках и документах. В результате с сохранением устоявшейся терминологии сформированы 15 наименований областей технологий ИИ.

Для формирования первого уровня классификации эти пятнадцать областей структурированы по трем базовым когнитивным функциям. Четыре области технологий отнесены к распознаванию (восприятию), шесть областей – к осмыслению, пять областей – к действию.

В *таблице 1* показано наличие пятнадцати областей технологий ИИ в основополагающих российских документах в сфере ИИ. Отметим, что представленные области технологий не покрывают всю сферу ИИ. Они определяют перспективные области развития, где перспективность оценивается на основе упоминаний в ведущих научных изданиях в сфере ИИ.

Как уже отмечалось, количественным показателем, характеризующим значимость области технологий (перспективность с точки зрения развития), является число публикаций по тематике технологий ИИ в журналах Q1 и трудах конференций А/А* в сфере ИИ за 2016–2022 гг. В целом исследовано 2426 публикаций (экспертный анализ) и 69571 публикация (автоматический анализ встречаемости). На основе их анализа сформировано 96 частных технологий (субтехнологий) ИИ и 15 областей технологий ИИ. Для иллюстрации взаимосвязи трех уровней «когнитивная функция – область технологии – субтехнологии» в *таблице 2* представлен пример области технологий ИИ «Машинный перевод, диалог на естественном языке».

На *рисунке 2* дано распределение доли публикаций по когнитивным функциям и областям технологий ИИ. Обнаружено, что доля выявленных публикаций по каждой из когнитивных функций значительно отличается, уменьшаясь по мере возрастания сложности реализации когнитивной функции.

Около половины исследованных публикаций приходится на базовую когнитивную функцию «Распознавание», отвечающую за восприятие информации. К этой функции относятся технологии биометрического распознавания, компьютерного зрения, анализа и синтеза речи. Следующий уровень возрастания сложности – «Осмысление», включающий обработку, анализ, хранение и обмен полученной информации. На технологическом уровне сюда относятся области технологий онтология знаний, машинное обучение, предиктивная аналитика и др. Доля публикаций по этой функции составляет 40%. Максимальный уровень слож-

²⁵ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утверждена указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/> (дата обращения 01.03.2022).

Таблица 1. Пересечение областей технологий искусственного интеллекта с ключевыми документами и источниками в сфере ИИ

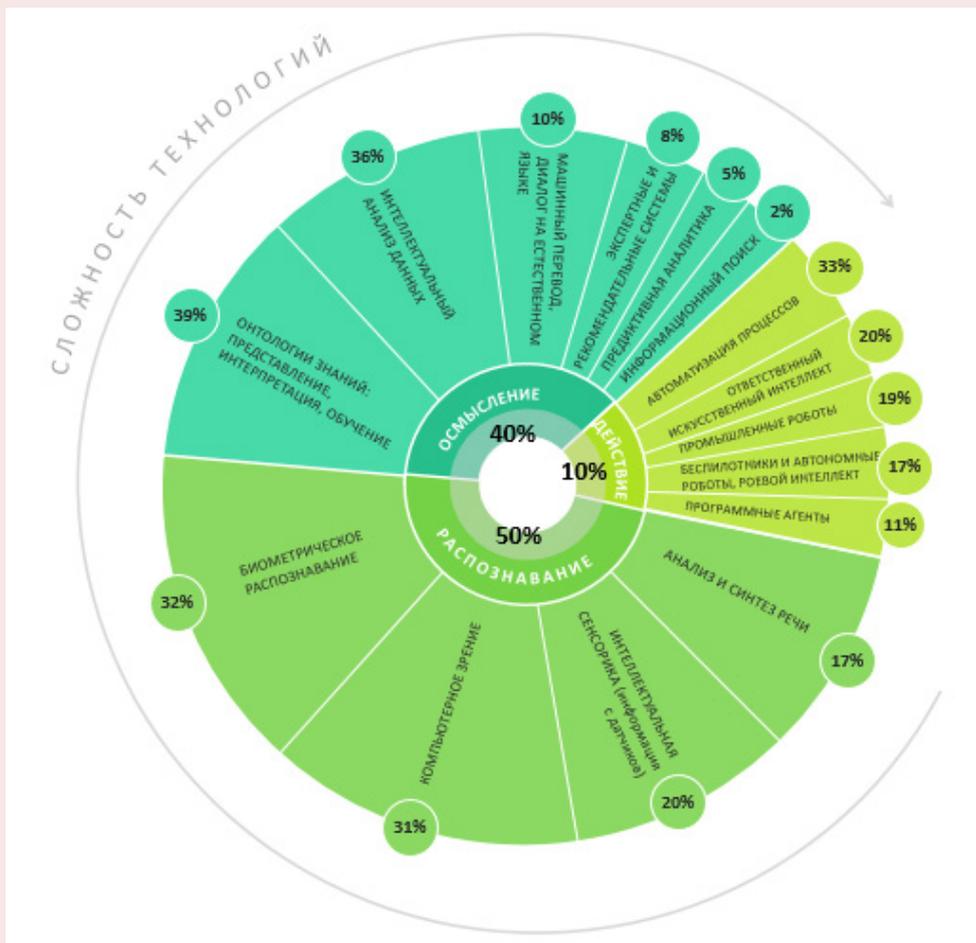
Области технологий искусственного интеллекта	Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации», Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года	Приказ Министерства экономического развития РФ от 14 июля 2021 г. «Документация отбора получателей 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»	Приказ Министерства экономического развития РФ от 29 июня 2021 г. № 392 «Об утверждении критериев определения принадлежности проектов к проектам в сфере искусственного интеллекта»	Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Компоненты робототехника и сенсорика»	Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект»	Аналитический сборник «Альманах искусственный интеллект, № 1. Обзор рынка ИИ России и мира» (МФТИ)	Аналитический сборник «Альманах искусственный интеллект, № 8. Индекс 2020 года» (МФТИ)	Отчет исследовательской и консалтинговой компании Gartner «Hype Cycle for Artificial Intelligence» (July 2021)
Компьютерное зрение	Да	Да	Да		Да	Да	Да	Да
Биометрическое распознавание		Да				Да		
Интеллектуальная сенсорика (информация с датчиков)		Да		Да		Да	Да	
Анализ и синтез речи	Да	Да	Да		Да	Да	Да	
Информационный поиск						Да		Да
Машинный перевод, диалог на естественном языке	Да	Да	Да		Да	Да		Да
Экспертные и рекомендательные системы	Да	Да	Да		Да	Да	Да	Да
Онтологии знаний: представление, интерпретация, обучение	Да		Да		Да	Да		Да
Предиктивная аналитика		Да				Да		
Интеллектуальный анализ данных		Да	Да			Да		Да
Автоматизация процессов	Да		Да				Да	Да
Программные агенты						Да		Да
Промышленные роботы		Да				Да		
Беспилотники и автономные роботы, роевой интеллект		Да		Да		Да	Да	Да
Ответственный искусственный интеллект (Этика и философия, Правовые нормы, Безопасность)		Да						Да

Источник: составлено авторами.

Таблица 2. Схема «когнитивная функция – область технологий – субтехнологии»

Когнитивная функция: осмысление (обработка и анализ информации; запоминание и хранение; обмен информацией)	
Области технологий ИИ	Субтехнологии (частные технологии)
Машинный перевод, диалог на естественном языке – Machine translation, natural language dialogue	<ol style="list-style-type: none"> 1. Многоязыковые системы автоматического машинного перевода 2. Машинное представление текстов (нейросимвольная модель, тематическое моделирование, языко-нейтральные модели, мультязыковые модели) 3. Диалоговые системы с персонализированной генерацией ответов на естественном языке 4. Генерация программного кода 5. Генерация изображений по тексту 6. Аннотирование (реферирование, суммаризация) текстов 7. Текст-майнинг для классификации текстов (атрибуция, распознавание спама, анализ тональности (сентимент-анализ), авторство, соответствие стилю, проверка на ошибки и др.) 8. Предметно-ориентированные виртуальные ассистенты, реализующие разговорный ИИ 9. Перефразирование текста 10. Аугментация (синтез) текстов (Text Augmentation) для решения задач машинного обучения
Источник: результаты проведенного исследования.	

Рис. 2. Распределение числа публикаций по когнитивным функциям и областям технологий ИИ



Доля публикаций рассчитана по отношению к общему числу публикаций, для субтехнологий – по отношению к числу публикаций по когнитивной функции.

Источник: составлено авторами.

ности – «Действие», эта функция базируется на «распознавании» и «осмыслении» информации. Области технологий, которые относятся к этой функции, составляют всего 10% от выявленных публикаций.

Отметим, что наиболее «продвинутыми» (с позиции создания продукта) областями технологий ИИ согласно модели «Хайп-цикла технологий искусственного интеллекта за 2021 год»²⁶ являются компьютерное зрение и семантический поиск, соответствующие когнитивной функции «Распознавание». Другими словами, области технологий ИИ, которые больше исследованы по критерию «число публикаций» и относятся к базовой когнитивной функции «Распознавание», также оказываются технологически более зрелыми²⁷.

Каждая из выделенных пятнадцати областей технологий ИИ характеризуется уникальным набором методов (математические методы и алгоритмы), инструментов (компьютерные программы и базы данных / базы знаний) и областей применения (отрасли экономики). Для выявления этого набора проводился автоматический анализ встречаемости по всему массиву публикаций в МБД Scopus за 2016–2021 гг. В запросах использовались названия искомого компонент и ключевые слова в соответствии с разработанными справочниками. Всего было проанализировано 2,6 млн публикаций. Переход от выборки публикаций в ведущих научных изданиях Q1/A* к полной выборке из МБД Scopus обусловлен необходимостью иметь статистически значимые показатели при детализации компонентов технологий ИИ.

Известно, что весь массив публикаций в МБД Scopus характеризуется наличием большого числа публикаций, не имеющих существенного значения для развития в сфере ИИ. Для оценки корректности использования всего массива МБД Scopus в сравнении с публикациями в ведущих изданиях Q1 и A* проведен сравнительный анализ публикационной активности

по областям технологий ИИ при выборках публикаций из обеих баз – полной и только Q1 и A* – для России, Китая и США.

На основе собранных данных (используя информацию о всех областях технологий ИИ) были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона *corr* между общим количеством публикаций в БД Scopus и общим количеством публикаций в ведущих изданиях Q1 и A*:

$$corr = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где x_i – количество публикаций по i -й ($i = 1, 2, \dots, n$) из n областей технологий ИИ в БД Scopus, y_i – количество публикаций по i -й ($i = 1, 2, \dots, n$) из n областей технологий ИИ в ведущих изданиях Q1 и A*, \bar{x}, \bar{y} – соответствующие средние значения. Для России значение такого коэффициента корреляции равно 0,89, для США – 0,86, для Китая – 0,96, что позволяет сделать вывод о наличии сходства между двумя источниками публикаций и использовать выборки по всему массиву публикаций МБД Scopus наряду с выборками по публикациям в ведущих научных изданиях Q1/A*.

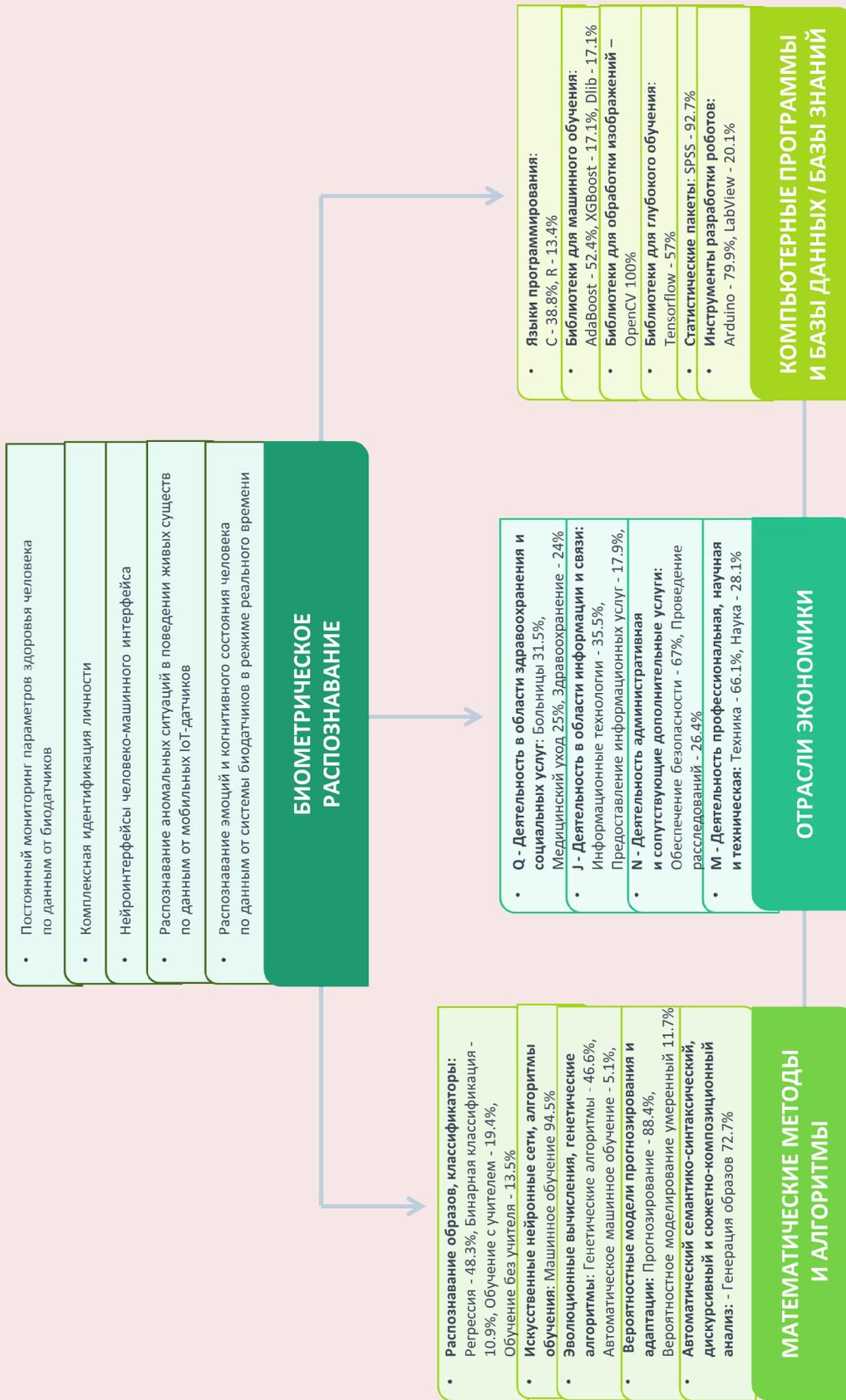
Для каждой области технологий ИИ сформирован набор публикаций, в которых затрагивается заданная область. В сформированном наборе публикаций выполнялся поиск по ключевым словам, каждое из которых характеризует одну из составляющих компонент технологии ИИ: «Математические методы и алгоритмы» (методы), «Компьютерные программы и базы данных / базы знаний» (инструменты), «Отрасли экономики» (области применения).

На рисунке 3 приведен пример выявленного состава такой области технологий ИИ, как «Биометрическое распознавание» с точки зрения входящих в ее состав методов, инструментов, областей применения и субтехнологий ИИ (*представленный пример детализирует рисунок 1(б)*). Отметим, что компонента включается в состав при условии ее высокой встречаемости в научных публикациях. Таким образом, предлагаемая система классификации не только определяет уникальный качественный состав технологии ИИ, но и предоставляет способ количественной оценки существенных признаков технологии, исходящих из ее комплекс-

²⁶ Hype Cycle for Artificial Intelligence (2021) // Гартнер (Gartner). Июль. URL: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-271LFEVT&ct=210923&st=sb#cppdip.747735> (дата обращения 16.03.2022).

²⁷ Белая книга: Развитие отдельных высокотехнологичных направлений (2022). С. 42. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/ba6a7585c4b23c85931aaee99682ad30/belaya_kniga_2022.pdf (дата обращения 16.03.2022).

Рис. 3. Детализированные компоненты для области технологии ИИ «Биометрическое распознавание»



Доля публикаций рассчитана по отношению ко всем проанализированным публикациям.
Источник: составлено авторами.

ного состава. Такая возможность необходима для решения задач кадрового прогнозирования.

Всего для этой области технологий ИИ проанализировано 50650 публикаций. В центральной части рисунка 3 указан перечень субтехнологий, включающий сенсорику человека, анализ эмоций, идентификацию личности, анализ поведения людей и животных, нейроинтерфейсы человеко-машинного интерфейса.

В левой части рисунка 3 «Математические методы и алгоритмы» даны ключевые методы для технологии «Биометрическое распознавание», для каждого из них указана доля публикаций, в которых они упоминались. В частности, среди этих методов наиболее важными являются вероятностные модели прогнозирования и адаптации; автоматический семантико-синтаксический, дискурсивный и сюжетно-композиционный анализ; распознавание образов; классификаторы.

В правой части рисунка 3 отражены ключевые инструменты – «Компьютерные программы и базы данных / базы знаний» для области технологий ИИ «Биометрическое распознавание», а также доля публикаций, где они упоминались. В частности, среди инструментов области технологий «Биометрического распознавания» наиболее часто встречаются программные средства «OpenCV» (обработка изображений), «AdaBoost», «XGBoost», «Dlib» (машинное обучение); языки программирования C и R, инструменты разработки роботов «Arduino». Однако стоит отметить отсутствие в этом перечне языка Python, чаще упоминаются его отдельные библиотеки (например, «OpenCV»).

В центральной части рисунка 3 перечислены виды экономической деятельности, в которых применяется область технологии ИИ «Биометрическое распознавание». Эта технология активно упоминается в публикациях в связке с такими видами экономической деятельности, как «Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги» (обеспечение безопасности, проведение расследований), «Деятельность профессиональная, научная и техническая», «Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг».

Отдельно необходимо отметить, что наборы компонент для каждой из областей технологий являются уникальными, тем самым характеризую эту область. В таблице 3 приведен пример наименований компонент с максимальным вкладом для трех областей технологий; указана доля публикаций, в которых встречается та или иная компонента.

В целом предложенная новая система классификации технологий ИИ систематизирует перспективные технологии ИИ по трем уровням (когнитивные функции – области технологии – субтехнологии). Перспективность определяется степенью научного интереса к технологии и составляющим ее компонентам. Система детализирует каждый структурный уровень по трем компонентам: методы, инструменты, области применения. Детализация основана на количественных оценках перспективности, определяемых количеством научных публикаций. Система классификации допускает автоматическую регулярную актуализацию на основе учета выходящих научных публикаций. Актуализация качественной структуры

Таблица 3. Пример уникальных компонент для технологий ИИ

Область технологий ИИ	Математические методы и алгоритмы	Компьютерные программы и базы данных	Области применения – виды экономической деятельности
Компьютерное зрение	Автоматический семантико-синтаксический, дискурсивный и сюжетно-композиционный анализ – 60,6%	Языки программирования – C – 33,4%	Раздел М – Деятельность профессиональная, научная и техническая – Техника – 77,8%
Промышленные роботы	Нечеткие знания, рассуждения в условиях неопределенности – 86,2%	Языки программирования – MATLAB – 28,1%	Раздел С – Обрабатывающие производства – Производство машин – 27,2%
Интеллектуальный анализ данных	Искусственные нейронные сети, алгоритмы обучения – 97,6%	Языки программирования – Python – 38,2%	Раздел J – Деятельность в области информации и связи – Информационные технологии – 34,1%

Источник: результаты проведенного исследования.

системы классификации (названия технологий и составляющих их компонент) требует экспертного участия.

Использование системы классификации для целей кадрового прогнозирования

Далее будут представлены детализация методов, инструментов, областей применения в сфере ИИ и варианты применения системы классификации к задачам кадрового прогнозирования.

Содержание компонент: детализация методов, инструментов, областей применения

Набор содержания компонент – «Математические методы и алгоритмы» (методы), «Компьютерные программы и базы данных» (инструменты), «Отрасли экономики» (области применения) – является уникальным для каждой из областей технологий ИИ. В то же время отдельные составляющие (элементы) каждой из трех компонент могут встречаться в различных технологиях. На языке программирования Python был разработан программный комплекс, который, используя средства selenium и сформированные наборы ключевых слов, позволил автоматизировать отправку запросов к базе данных Scopus и обработку ответов с целью получения количества публикаций в базе данных

Scopus, соответствующих одновременно определенным методу или инструменту, или области применения и определенной ИИ технологии.

Для выявления приоритетности элементов компонент была проведена аддитивная свертка по каждой из трех компонент областей технологий ИИ. Например, для компоненты технологии ИИ «Математические методы и алгоритмы» при свертке подсчитывалось количество публикаций, содержащих ключевые слова, соответствующие этой компоненте.

Полученные результаты представлены в *таблицах 4, 5, 6*. В таблице 4 показан фрагмент исходной матрицы с ключевыми элементами компоненты «Методы ИИ», где для каждого метода даны ключевые слова, количество областей ИИ, в которых применяется метод, а также суммарное количество упоминаний элемента в проанализированных публикациях, которое отражает его «вес» по отношению к другим элементам. Ключевое слово «Машинное обучение» означает, что из множества других ключевых слов для элемента «Искусственные нейронные сети, алгоритмы обучения» доля упоминаний словосочетания «Машинное обучение» в публикациях наиболее высока.

Таблица 4. Методы ИИ: математические методы и алгоритмы

Наименование элементов компоненты «Математические методы и алгоритмы»	Ключевые слова для детализации	Кол-во областей ИИ, в которых применяется метод	Число упоминаний в публикациях	Доля упоминаний, %
Искусственные нейронные сети, алгоритмы обучения	Машинное обучение	15	434586	35,24
Вероятностные модели прогнозирования и адаптации	Прогнозирование	13	219336	17,79
Распознавание образов, классификаторы	Регрессия	14	137058	11,11
Графовое представление знаний, разметка данных	Онтологии	7	75260	6,10
Распознавание образов, классификаторы	Обучение с учителем	12	67738	5,49
Нечеткие знания, рассуждения в условиях неопределенности	Автономные системы	10	43450	3,52
Распознавание образов, классификаторы	Обучение без учителя	9	37949	3,08
Искусственные нейронные сети, алгоритмы обучения	Обучение с подкреплением	4	36419	2,95
Эволюционные вычисления, генетические алгоритмы	Генетические алгоритмы	15	36281	2,94
Автоматический семантический, дискурсивный и сюжетно-композиционный анализ	Генерация образов	4	35663	2,89

Источник: результаты проведенного исследования.

Анализ показателей свертки свидетельствует, что наиболее общими (часто встречающимися) являются такие математические методы, как искусственные нейронные сети, алгоритмы обучения, распознавание образов, классификаторы, вероятностные модели прогнозирования и адаптации. Фрагмент результатов аналогичной процедуры свертки для компоненты «Компьютерные программы и базы данных / базы знаний» представлены в таблице 5.

Наиболее часто встречающимися элементами компоненты «Компьютерные программы и базы данных / базы знаний» являются языки программирования (C, R, MATLAB, Python, Java) и библиотеки для машинного обучения (XGBoost, AdaBoost, Weka, LightGBM, Dlib).

Фрагмент результатов свертки для компоненты «Области применения ИИ (по видам экономической деятельности)» представлен в таблице 6.

Таблица 5. Инструменты ИИ (компьютерные программы и базы данных / базы знаний)

Наименование элементов компоненты «Компьютерные программы и базы данных / базы знаний»	Ключевые слова	Кол-во областей ИИ, в которых применяется инструмент	Число упоминаний в публикациях	Доля упоминаний, %
Языки программирования	C	15	95679	49,82
Языки программирования	R	15	53813	28,02
Библиотеки для машинного обучения	XGBoost	15	5911	3,08
Библиотеки для машинного обучения	AdaBoost	13	5865	3,05
Инструменты разработки роботов	Arduino	10	4985	2,60
Библиотеки для глубокого обучения	Tensorflow	8	4142	2,16
Языки программирования	MATLAB	4	4119	2,14
Статистические пакеты	SPSS	7	3935	2,05
Библиотеки для обработки естественного языка	Word2Vec	6	3015	1,57
Библиотеки для машинного обучения	Weka	8	2390	1,24

Источник: результаты проведенного исследования.

Таблица 6. Области применения ИИ (отрасли экономики по видам экономической деятельности)

Наименование элементов компоненты «Области применения»	Ключевые слова	Кол-во технологий ИИ, которые применяются в отрасли	Число упоминаний в публикациях	Доля упоминаний, %
M – Деятельность профессиональная, научная и техническая	Техническая	14	286781	25,37
P – Образование	Образование школьников и студентов	2	187404	16,58
M – Деятельность профессиональная, научная и техническая	Научная	13	120406	10,65
J – Деятельность в области информации и связи	Информационные технологии	15	116449	10,30
Q – Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	Здравоохранение	7	70588	6,25
J – Деятельность в области информации и связи	Предоставление информационных услуг	14	57120	5,05
Q – Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	Медицинский уход	7	36954	3,27
F – Строительство	Реконструкция	2	36184	3,20
N – Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги	Обеспечение безопасности	3	29206	2,58
R – Деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений	Библиотеки	4	12779	1,13
H – Транспортировка и хранение	Транспортировка	2	7745	0,69

Источник: результаты проведенного исследования.

Наиболее часто встречающимися элементами компоненты «Области применения ИИ» стали виды экономической деятельности «Деятельность в области информации и связи» и «Образование». Отдельно стоит отметить относительно невысокую популярность применения технологий ИИ в сфере реальной экономики.

Система классификации применительно к задачам кадрового прогнозирования

Предложенная система классификации технологий искусственного интеллекта может быть использована для детализации показателей кадрового прогноза в сфере ИИ. Детализация ежегодной дополнительной кадровой потребности (ЕДП) экономики обычно проводится по видам экономической деятельности, по профессиям и по образовательным специальностям.

Применительно к сфере искусственного интеллекта эта триада может быть дополнена детализацией по областям технологий ИИ. По авторской оценке ЕДП в сфере ИИ на 2022 год составляет 25,7 тыс. человек²⁸. Для детализации ЕДП по технологиям ИИ можно использовать долевое соотношение публикаций внутри каждого из трех уровней классификации (когнитивная функция – область технологий – субтехнология). Например, если учесть долевое распределение публикаций, представленное на рисунке 2 для области технологий «компьютерное зрение», то значение ЕДП составит 7,9 тыс. человек.

Другим важным показателем детализации кадрового прогноза является подготовка в разрезе образовательных специальностей выпускников, обладающих компетенциями в сфере искусственного интеллекта. Эти компетенции формируются в результате реализации образовательных программ (Гуртов и др., 2013). Например, в магистерских программах должно быть не менее семи дисциплин, обеспечивающих профессиональные компетенции в сфере ИИ. Примерами таких компетенций являются для компоненты «Математические методы и ал-

горитмы» – элемент «Искусственные нейронные сети, алгоритмы обучения»; для компоненты «Компьютерные программы и базы данных / базы знаний» – элемент «Языки программирования C, R».

Отметим сходство содержательной интерпретации понятий «компетенции» и «технологии». Рассматривая компетенции как совокупность знаний, умений, практического опыта, а технологии как совокупность методов, инструментов, областей применения, можно провести аналогию, где знания – это математические методы и алгоритмы, умения – компьютерные программы и базы данных / базы знаний, практический опыт – области применения (виды экономической деятельности). Таким образом, содержание областей технологий служит основой для формирования профессиональных компетенций.

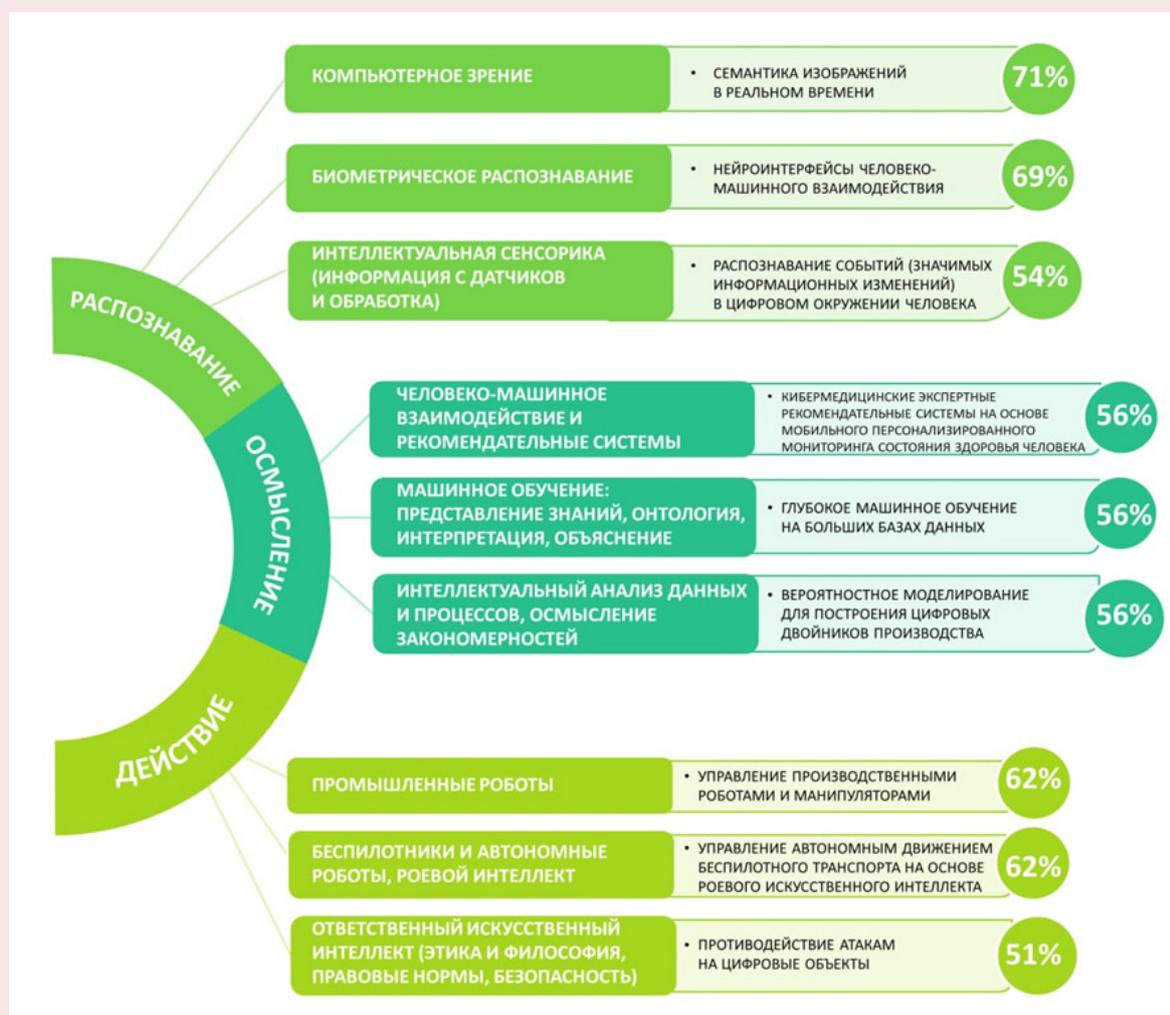
Продолжая аналогию связи технологий и компетенций, области технологий необходимо детализировать до уровня субтехнологий, а профессиональные компетенции – до узкоспециализированных профессиональных компетенций (Gurtov et al., 2015; Сигова и др., 2013).

Также предложенная классификация имеет потенциал для развития. Одним из путей является выделение приоритетных направлений развития (фронтиров) искусственного интеллекта. Фронтиры ИИ – наиболее значимые узкоспециализированные области развития технологий (субтехнологии) искусственного интеллекта, относящиеся к первому децилю (первым 10% в ранжированном ряду распределения) по уровню значимости²⁹. Как уже отмечалось в разделе «Методология», для количественной оценки при выделении приоритетных направлений развития (фронтиров) ИИ можно использовать ведущие издания, индексируемые в международных БД Scopus и Web of Science (журналы первого квартиля Q1 и конференции уровня A/A*). Анализ публикационной активности совместно с опросом экспертов из числа работодателей, разработчиков образовательных программ в сфере

²⁸ Искусственный интеллект // Кадры высшей научной квалификации: интернет-портал. URL: <http://science-expert.ru/ai> (дата обращения 30.03.2022).

²⁹ Топ-20 фронтиров мировой науки. URL: <https://issek.hse.ru/news/562631350.html> (дата обращения 30.05.2022).

Рис. 4. Фронтиры технологий искусственного интеллекта (фрагмент)



Доля ответов рассчитана от общего числа экспертов, ответивших на вопрос.

Источник: составлено авторами.

ИИ позволит формировать эти фронтиры. При экспертной оценке 95 сформированных субтехнологий эксперты из числа работодателей, разработчиков образовательных программ и продуктов в сфере ИИ выделили те, которые, по их мнению, относятся к фронтам субтехнологий³⁰.

На *рисунке 4* приведены примеры фронтиров с максимальным числом оценок экспертов (по три фронта для каждой когнитивной

³⁰ Искусственный интеллект // Кадры высшей научной квалификации: интернет-портал. URL: <http://science-expert.ru/ai> (дата обращения 30.03.2022).

функции), в процентах указана доля экспертов, которые выбрали тот или иной фронт (всего участие приняли 106 экспертов).

Отдельно отметим, что тематика фронтиров соответствует перспективным направлениям искусственного интеллекта, которые были обозначены в конкурсах РНФ-2021³¹.

³¹ Перечень поддержанных проектов по итогам конкурса 2022 года на получение грантов РНФ «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами». URL: <https://rscf.ru/upload/iblock/b97/u4u9s0w4fh0c1ovy6n0w40ne0niyre7e.pdf> (дата обращения 30.03.2022).

Заключение

Анализ классификаций технологий ИИ, используемых в Центре Национальной технологической инициативы на базе МФТИ, группой «Альянса ИИ», компаниями «АйПи Лаборатория» и «RV.RU», показал, что эти подходы позволяют сформировать лишь общую картину структуры технологий ИИ. Опираясь на общую концептуальную модель технологий (методы, инструменты, области применения), авторы разработали структурную модель технологий ИИ, на основе их дифференциации по составу и значимости математических методов и алгоритмов, компьютерных программ и баз данных, областей применения. Количественные показатели для этой дифференциации были получены путем анализа публикационной активности в изданиях, реферируемых в МБД Scopus. Для каждой из пятнадцати областей технологий ИИ сформирован уникальный набор компонентов, пример которого представлен на рисунке 3 для области технологий «Биометрическое распознавание».

Предложенная методология позволила структурировать технологии по уровням:

когнитивные функции – области технологий – субтехнологии ИИ. Технологическая зрелость областей технологий ИИ в разрезе когнитивных функций значительно отличается, уменьшаясь по мере возрастания сложности когнитивной функции.

Построенная трехуровневая система классификации технологий ИИ позволяет переходить от областей технологий к субтехнологиям ИИ, являющимся узкоспециализированными направлениями развития ИИ внутри каждой из областей технологий с сохранением её компонент. Теоретическая составляющая классификации дает возможность получить новые знания, в том числе выделить приоритетные направления развития (фронтиры) искусственного интеллекта.

Предложенная система классификации технологий ИИ практически применима в сфере кадрового прогнозирования при детализации показателей ежегодной дополнительной кадровой потребности по видам экономической деятельности, по профессиям и образовательным специальностям.

Литература

- Баксанский О.Е. (2005). Когнитивные науки. От познания к действию. М.: URSS. 182 с.
- Гуртов В.А., Ершова Н.Ю., Сигова С.В. (2013). Востребованные компетенции для решения «задач будущего» по приоритетным направлениям науки, техники и технологий: встраивание в ООП // Мат-лы Междунар. науч.-метод. конф. «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах»: пленарные доклады (28 февраля – 01 марта 2013 г.). СПб.: Издательство Политехнического университета. С. 107–114.
- Калиновская И.Н. (2021). Разработка программ развития человеческих ресурсов организации с применением технологий искусственного интеллекта // Тенденции экономического развития в XXI веке: мат-лы III Междунар. науч. конф., Минск, 01 марта 2021 г. / редкол.: А.А. Королёва (гл. ред.) [и др.]. Минск: Белорусский государственный университет. С. 654–657.
- Колин К.К. (2019). Новый этап развития искусственного интеллекта: национальные стратегии, тенденции и прогнозы // Стратегические приоритеты. № 2 (22). С. 4–12.
- Кузнецов Н.В., Лизяева В.В., Прохорова Т.А., Лесных Ю.Г. (2020). Подготовка кадров для реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Современные проблемы науки и образования. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29520> (дата обращения 24.03.2022). DOI: 10.17513/spno.29520
- Лексин В.Н. (2020). Искусственный интеллект в экономике и политике нашего времени. Статья 1. Искусственный интеллект как новая экономическая и политическая реальность // Российский экономический журнал. № 4. С. 3–30. DOI: 10.33983/0130-9757-2020-6-3-32
- Любимов А.П. (2020). Основные подходы к определению понятия «искусственный интеллект» // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. С. 1–6. DOI: 10.36535/0548-0027-2020-09-1

- Мигуренко Р.А. (2010). Человеческие компетенции и искусственный интеллект // Известия Томского политехнического университета. № 6 (317). С. 85–89.
- Разин А.В. (2019). Этика искусственного интеллекта // Философия и общество. № 1 (90). С. 57–73.
- Романова О.А., Пономарева А.О. (2020). Промышленная политика: новые реалии, проблемы формирования и реализации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 13. № 2. С. 25–40. DOI: 10.15838/esc.2020.2.68.2
- Сигова С.В., Серебряков А.Г., Лукша П.О. (2013). Формирование перечня востребованных компетенций: первый опыт России // Непрерывное образование: XXI век. Вып. 1. URL: <http://i1121.petrso.ru/journal/article.php?id=1946>
- Ушаков Е.В. (2017). Философия техники и технологии. М.: Юрайт. 307 с.
- Abbass H. (2021). Editorial: What is artificial intelligence? *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, 2(2), 94–95. DOI: 10.1109/tai.2021.3096243
- Bokovoy A., Muravuev K., Yakovlev K. (2020). *Map-Merging Algorithms for Visual SLAM: Feasibility Study and Empirical Evaluation*. DOI: 10.1007/978-3-030-59535-7_4
- Buevich A., Sergeev A., Shichkin A., Baglaeva E. (2021). A two-step combined algorithm based on NARX neural network and the subsequent prediction of the residues improves prediction accuracy of the greenhouse gases concentrations. *Neural Computing and Applications*, 33. DOI: 10.1007/s00521-020-04995-4
- Gurtov V., Pitukhina M., Sigova S. (2015). Hi-tech skills anticipation for sustainable development in Russia. *International Journal of Management, Knowledge and Learning*, 3(2), 3–17.
- Gust H., Kühnberger K.-U. (2006). *The Relevance of Artificial Intelligence for Human Cognition*.
- Jin C. (2020). Relevance between Artificial Intelligence and Cognitive Science. In: *Proceedings of the 2020 International Symposium on Artificial Intelligence in Medical Sciences (ISAIMS 2020)*. DOI: 10.1145/3429889.3429917
- Khokhlova M., Migniot C., Morozov A., Sushkova O., Dipanda A. (2019). Normal and pathological gait classification LSTM model. *Artificial Intelligence in Medicine*, 94, 54–66. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.12.007
- Lu H., Li Y. (2019). Editorial: Cognitive science and artificial intelligence for human cognition and communication. *Mobile Networks and Applications*, 25, 995–996. DOI: 10.1007/s11036-019-01265-z
- Snyder H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039
- Vartanov A.V., Ivanov V., Vartanova I. (2020). Facial expressions and subjective assessments of emotions. *Cognitive Systems Research*, 59, 319–328. DOI: 10.1016/j.cogsys.2019.10.005

Сведения об авторах

Валерий Алексеевич Гуртов – доктор физико-математических наук, профессор, директор, Центр бюджетного мониторинга, Петрозаводский государственный университет (185910, Российская Федерация, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 31; e-mail: vgurt@petrsu.ru)

Александр Олегович Аверьянов – главный специалист, Центр бюджетного мониторинга, Петрозаводский государственный университет (185910, Российская Федерация, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 31; e-mail: aver@petrsu.ru)

Дмитрий Жоржевич Корзун – кандидат физико-математических наук, доцент, научный руководитель, Центр бюджетного мониторинга, Петрозаводский государственный университет (185910, Российская Федерация, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 31; e-mail: dkorzun@cs.karelia.ru)

Николай Васильевич Смирнов – кандидат технических наук, доцент, ведущий программист, Центр бюджетного мониторинга, Петрозаводский государственный университет (185910, Российская Федерация, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 31; e-mail: smirnovn@petrsu.ru)

Gurtov V.A., Averyanov A.O., Korzun D.Zh., Smirnov N.V.

A System for Classification of Technologies in the Field of Artificial Intelligence for Personnel Forecasting

Abstract. The development of the Russian economy, including through large-scale introduction of digital technology and artificial intelligence technology, requires appropriate resources. Qualified personnel is one of them. The need for trained specialists poses important questions to state institutions – whom to train and in what quantity; this, in turn, demands a detailed elaboration on the issue of staffing requirement. The article presents the results of development of a classification system of artificial intelligence technology for solving personnel forecasting problems. Theoretical significance of the research findings consists in the creation of a classification system that structures existing knowledge about technologies in the field of artificial intelligence and has the potential to gain new knowledge. The novelty of the approach to the classification of artificial intelligence technologies consists in using a three-component structure of technologies “methods – tools – application areas” and adjusting the classification to suit the tasks of forecasting the demand of the economy for personnel with competencies in the field of artificial intelligence. The classification is based on the results of analysis of scientific publications on AI (journals of the first quartile Q1 and conferences of the A/A* level). “The Systematic Literature Review” method was used for their research. All thematic publications indexed in Scopus were also analyzed. Practical significance of the results is revealed in relation to the tasks of personnel forecasting in the field of artificial intelligence. The developed classification makes it possible to structure the personnel need at different levels of refinement of artificial intelligence technologies. Another direction in the development of the proposed classification is to compare competencies (knowledge, skills and practical experience) in popular groups of professions with components of artificial intelligence technologies (methods, tools, applications) to design educational programs in the relevant field. The proposed classification has the potential for development: one of the ways is an expert assessment of priority areas for the development of artificial intelligence. The article presents an overview of the results of application of the classification.

Key words: digital economy, staffing requirement, forecasting, artificial intelligence, technologies, classification, frontiers.

Information about the Authors

Valerii A. Gurtov – Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, director, Budget Monitoring Center, Petrozavodsk State University (31, Lenin Avenue, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: vgurt@petsru.ru)

Aleksandr O. Averyanov – chief specialist, Budget Monitoring Center, Petrozavodsk State University (31, Lenin Avenue, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: aver@petsru.ru)

Dmitrii Zh. Korzun – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, scientific supervisor, Budget Monitoring Center, Petrozavodsk State University (31, Lenin Avenue, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: dkorzun@cs.karelia.ru)

Nikolai V. Smirnov – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, leading programmer, Budget Monitoring Center, Petrozavodsk State University (31, Lenin Avenue, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: smirnovn@petsru.ru)

Статья поступила 04.04.2022.