

Исследователи в сфере искусственного интеллекта: анализ на основе диссертационных работ

Н. В. Мелех, А. О. Аверьянов, В. А. Гуртов

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты формирования перечня диссертационных исследований, защищенных на соискание ученой степени кандидата наук за период с 2016 по 2022 годы, тематика которых относится к сфере искусственного интеллекта. Приведен тематический анализ этих диссертаций и характеристика сообщества кандидатов наук, относящихся к категории «Исследователи искусственного интеллекта». Сформированный массив диссертаций структурирован по областям технологий и субтехнологиям искусственного интеллекта (далее – ИИ). Показано, что подготовка кадров высшей научной квалификации в значительной мере обеспечивает потребность сферы искусственного интеллекта по категории «Исследователи ИИ» на краткосрочном горизонте планирования. По критерию количества диссертаций по тематике ИИ, выполненных на базе научных и образовательных организаций, выделены «Центры компетенций по ИИ».

Ключевые слова: искусственный интеллект, диссертационные исследования, кандидаты наук, Центры компетенций по ИИ.

DOI

Введение

В сфере искусственного интеллекта, как одной из высокотехнологичных областей экономики, выделяются три категории профессиональных (технических) ролей при разработке продукта ИИ: исследователи, разработчики и прикладники. Первая категория (исследователи ИИ) включает около 1% от всех специалистов¹, которые принимают участие в разработке продукта ИИ, но является особо значимой, поскольку именно они реализуют разработку новых математических моделей и алгоритмов и тем самым обеспечивают инновационную конкурентоспособность ИИ-продукта. Лучшие исследователи ИИ широко известны во всем мире и высоко ценятся бизнес-сообществом и наукой².

Как отмечается в работе [1, с. 25], фундаментальные и прикладные научные исследования – это отдельный и важнейший предмет приоритетной государственной поддержки. «Поддерживаемые фундаментальные научные исследования должны быть направлены на создание «принципиально новых научных результатов, в том числе на создание универсального (сильного) ИИ, и решение иных задач, предусмотренных «Национальной стратегией», включая реализацию приоритетов...». В статье [2, с. 92] при рассмотрении аспектов экономики, основанной на искусственном интеллекте, авторы пишут, что значительный рост занятости в будущем способен обеспечить сектор сферы услуг (здравоохранение, образование, транспорт, логистика и др.), поэтому необходимо расширение и углубление профессионализации в данной сфере. Для новых профессий,

¹Глобальный отчет о талантах в области искусственного интеллекта-2020. Available at: <https://jfgagne.ai/global-ai-talent-report-2020/#anchor-10> (accessed December 20, 2022).

²10 лучших исследователей искусственного интеллекта, совершивших революцию в 2022 году <https://www.analyticsinsight.net/top-10-artificial-intelligence-researchers-making-a-revolution-in-2022/>

связанных с управлением ИИ-устройствами, следует установить более высокие стандарты и академические требования.

По формальному требованию к уровню научной квалификации, который обычно указывается ведущими мировыми работодателями стран-лидеров в сфере ИИ в описании вакансий, исследователи ИИ разделяются на три группы. Первая содержит требования о наличии научной степени PhD или профессиональной докторской степени в сфере ИИ в области машинного обучения, математики, компьютерных наук, статистики или смежной области. Ко второй группе относятся ученые, имеющие научные публикации по разработке технологий ИИ с высоким уровнем цитирования и обладающие степенью PhD не в сфере технологий ИИ, а в смежных естественных и компьютерных науках. В Российской Федерации требования наличия степени PhD соответствуют наличию ученой степени кандидата или доктора наук. В третьей группе исследователи ИИ могут не обладать степенью PhD или профессиональной докторской степенью, но иметь магистерскую степень в области естественных и технических наук по направлениям подготовки STEM (Science, Technology, Engineering, Math) и иметь опыт практической деятельности в сфере ИИ.

Применительно к сфере занятости в области искусственного интеллекта исследователи ИИ чаще всего соответствуют профессии (группе профессий) Data Scientist.

Следующими по иерархии технических ролей являются специалисты по инжинирингу, которые обеспечивают трансфер фундаментальных исследований для применения в конкретных разработках. Для этих специалистов также есть требование о наличии степени PhD или профессиональной докторской степени в сфере ИИ или магистерской степени по STEM. В вакансиях по этой технической роли также указывается профессия (группа профессий) Data Scientist или AI/ML Engineers.

На Интернет-портале Indeed.com по профессии Data Scientist работодателями США размещено около 28 тыс. вакансий с требованиями к уровню образованию соискателя: 13% – научная или профессиональная степень доктора наук, 53% – сте-

пень магистра³. В докладе Стэнфордского университета «Индекс искусственного интеллекта 2022» [3] представлен анализ спроса на работников с компетенциями в сфере искусственного интеллекта, с распределением по кластерам компетенций и уровням квалификации, включая подготовку ИИ-специалистов со степенью PhD. Прирост численности работников в секторах экономики и государственного управления США, которым присвоена степень PhD по тематике ИИ, увеличился со 150 человек в 2010 году до 250 в 2020 году. При этом в структуре защитивших диссертации PhD доля зарубежных студентов в этот же период увеличилась с 38 до 64%.

Анализ китайской версии агрегатора вакансий Indeed.com показал, что по запросу Data Scientist каждая четвертая вакансия у работодателей Китая содержит требование к наличию научной или профессиональной докторской степени⁴. В Китае в реализации «Плана искусственного интеллекта следующего поколения» образование и обучение играют огромную роль, поскольку Китай занимает второе место в мире после США по количеству компаний, занимающихся ИИ-разработками, а также второе место по количеству исследователей ИИ, входящих в рейтинг самых влиятельных ученых AI 2000 [4, с. 2]. Правительство Китая стремится ускорить «выращивание» высококвалифицированных специалистов в области ИИ, добываясь этого за счет увеличения набора в магистратуру и докторантуру по программам ИИ [5, с. 22, 23].

Южная Корея уже 10 лет оказывает поддержку первоклассным аспирантам, образовавшим вокруг себя исследовательские центры, которые возглавят разработку продуктов ИИ, посредством грантов на исследования в области инноваций, предоставления ресурсов и субсидий для найма ученых и профессоров на международном уровне.

В Японии в 2017 году Совет по развитию и исследованиям технологий ИИ выпустил «Технологическую стратегию по развитию искусственного интеллекта» и сопутствующую дорожную карту [6, с. 520].

Правительство Великобритании в 2021 году также опубликовало национальную стратегию искусственного интеллекта. Документы содержат план «новой национальной программы и

³ <https://indeed.com>

⁴ <https://cn.indeed.com>

подхода к поддержке исследований и разработок» в сфере ИИ, а также материалы по ее управлению и регулированию.

Следует отметить, что опыт США, Китая и ряда других государств, являющихся технологическими лидерами цифровой экономики, показывает, что именно государственное участие (прямое или косвенное) служит базовым основанием к обеспечению глобального лидерства данных стран [7, с. 18].

В российской практике требование о наличии для исследователя ИИ научной степени PhD или профессиональной докторской степени в сфере ИИ эквивалентно наличию ученой степени кандидата наук, присужденной по результатам защиты диссертации по проблематике искусственного интеллекта.

Исследователи в сфере искусственного интеллекта, работающие в России, также известны мировой научной общественности, их публикации процитированы свыше тысячи раз [8, 9]. Благодаря российским фундаментальным исследованиям, проведенным в институтах РАН и в ведущих университетах создан серьезный фундаментальный задел в области развития методов и технологий искусственного интеллекта, сложились и активно работают научные школы по различным направлениям (теория распознавания образов, теория машинного обучения, логические методы в теории управления, моделирование экономических процессов и др.) [10, с. 368, 369].

В то же время, проблема обеспечения российской экономики высококвалифицированными кадрами, имеющими компетенции в сфере искусственного интеллекта, недостаточно представлена в научной периодике. Результаты работ в смежной области представила в 2020 году Ассоциация предприятий компьютерных и информационных технологий, опубликовав отчет «ИТ-кадры для цифровой экономики в России» [11]. В обзоре приведена оценка фактического количества квалифицированных ИТ-кадров (222 тыс. человек), занятых как в индустрии информационных технологий, так и в других сферах российской экономики, потребность в притоке ИТ-специалистов в целях обеспечения устойчивого

роста цифровой экономики, а также прогноз ежегодной перспективной потребности в ИТ-кадрах до 2024 года в объеме 70 тыс. человек.

Оценка численности специалистов, занятых в сфере искусственного интеллекта, и ежегодной дополнительной потребности в ИИ-специалистах на 2023 год, сформированная авторами данной статьи, представлена в публикации [12] и составляет 242,1 и 39,3 тыс. человек, соответственно, в их числе 5500 и 225 специалистов относится к категории «Исследователи ИИ». Распределение ежегодной дополнительной потребности для категории «Исследователи ИИ» по группам в зависимости от требований к уровню научной квалификации не проводилось.

В научной периодике отсутствует анализ тематик российских диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, которые были бы направлены на исследование проблематики сферы искусственного интеллекта, с тем, чтобы этих кандидатов можно было отнести к категории «Исследователь искусственного интеллекта». В то же время имеющиеся данные о результатах деятельности сети диссертационных советов^{5,6} позволяют выявить диссертационные исследования на соискание ученой степени кандидата наук по тематике ИИ и тем самым косвенно оценить их численность как потенциальных исследователей ИИ.

Целью настоящего исследования является формирование перечня кандидатских диссертаций, тематика которых относится к сфере искусственного интеллекта, анализ этих диссертаций применительно к областям технологий ИИ и характеристика сообщества кандидатов наук, относящихся к категории «Исследователи ИИ».

Для достижения указанной цели решаются следующие задачи:

1. Формирование перечня диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, защищенных в период с 2016 по 2022 гг., тематика которых относится к сфере искусственного интеллекта.

2. Анализ диссертационных исследований применительно к группам научных специальностей.

⁵ Обзор деятельности сети диссертационных советов в 2021 году: аналитический доклад / под редакцией С.И. Пахомова. Петрозаводск. Изд-во ПетрГУ. 2022. 112 с.

⁶ Обзор деятельности сети диссертационных советов, созданных в рамках реализации организациями права самостоятельного присуждения ученых степеней: аналитический доклад / под редакцией С.И. Пахомова. Петрозаводск. Изд-во ПетрГУ. 2022. 130 с.

3. Анализ диссертационных исследований применительно к областям технологий и к субтехнологиям сферы ИИ.

4. Анализ организаций–мест выполнения диссертационных исследований как Центров компетенций по ИИ.

При решении этих задач проверяется гипотеза исследования: кадровая потребность сферы искусственного интеллекта для категории «Исследователи ИИ» на краткосрочном горизонте планирования может быть обеспечена за счет кандидатов наук, защитивших диссертацию по проблематике ИИ.

Выбор хронологических рамок периода исследований (2016–2022 годы) обусловлен тем, что тематика искусственного интеллекта в мире начала активно развиваться с 2016 года, когда в течении двух-трех лет многие страны, в том числе Российская Федерация, приняли государственные программы развития искусственного интеллекта.

1. Методология и методы исследования

Методология проведенного исследования основана на экспертном анализе соответствия тематик диссертационных работ в сфере искусственного интеллекта. В исследовании использовались методы экспертных оценок и структурирования информации (иерархическая классификация).

Для структурирования информации использовалась модель технологии, как совокупности методов (научные знания, обеспечивающие решение задачи), инструментов (средства для применения метода при решении задачи) и областей применения (источник практических задач)⁷. Применительно к технологиям искусственного интеллекта эти три компонента конкретизируются как: методы – математические методы и алгоритмы; инструменты – компьютерные программы и базы данных/базы знаний; области применения ИИ – отрасли экономики. Детально этот подход был описан авторами в статье [13, с. 122], на основе которого был сформирован перечень из 15 областей технологий и 98 субтехнологий искусственного интеллекта⁸.

⁷ Наилучшие доступные технологии. Термины и определения / Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 56828.15—2016. Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 октября 2016 г. №1519-ст. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200140738> (дата обращения: 10.05.2023)

⁸ <http://science-expert.ru/ai>

Для отбора диссертаций с помощью экспертного подхода были сформированы ключевые слова/словосочетания, отражающие содержание субтехнологий/областей технологий искусственного интеллекта (например, машинное обучение, сверточная нейронная сеть и т.д.), всего около 90 слов и словосочетаний.

Отбор диссертаций проходил в два этапа. На первом из базы данных «Отчеты диссертационных советов» был извлечен массив всех диссертаций, защищенных на соискание ученой степени кандидата наук за период с 2016 по 2022 годы (около 59 тыс. работ). В число кандидатских диссертаций входили все диссертации, защищенные в диссертационных советах, созданных в соответствии с приказами Минобрнауки России и созданных организациями самостоятельно. Затем из данного массива были отобраны диссертации, в названии темы и/или в карточке соискателя которых содержались морфемы вышеозначенных ключевых слов или словосочетаний. Таких диссертаций оказалось около 1400 (2% от общего массива диссертаций).

На втором этапе анализировались тексты авторефератов указанных 1400 диссертаций. В процессе более детального анализа были исключены диссертации, не соответствующие тематике искусственного интеллекта. Заключительный массив содержит 1073 диссертации. Наличие в тексте их авторефератов методов и инструментов ИИ, а также элементов исследований, относящихся по смыслу к выбранным ранее областям технологий и субтехнологиям искусственного интеллекта, позволило структурировать данные диссертации по соответствующим областям.

2. Результаты исследования и их обсуждение

2.1. Анализ диссертационных исследований применительно к группам научных специальностей

Необходимо отметить, что паспорта специальностей научных работников Номенклатуры 2017 года не включали в себя тематику искусственного

интеллекта: она появилась только в паспортах Номенклатуры 2021 года⁹. С введением новой Номенклатуры-2021 в ней появились научная специальность «1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение» и «1.2.4. Кибербезопасность» в группе научных специальностей «1.2. Компьютерные науки и информатика».

В Табл. 1 приведено распределение кандидатских диссертаций в сфере ИИ по группам

научных специальностей (ГНС). Следует отметить, что данные ГНС представлены согласно Номенклатуре научных специальностей 2017 года. Диссертации кандидатов наук, защищенные в сфере ИИ, представлены по 42 уникальным группам научных специальностей, по 145 научным специальностям Номенклатуры-2017 и 34 научным специальностям Номенклатуры-2021. По количеству защищенных диссертаций

Табл. 1. Динамика числа кандидатских диссертаций, защищенных по тематике «Искусственный интеллект» за 2016–2022 годы, в разрезе групп научных специальностей (начало)

Шифр и наименование группы научных специальностей	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Итого за период
Итого по группам научных специальностей	111	109	134	132	127	206	254	1073
05.13.00 - Информатика, вычислительная техника и управление	68	73	75	74	81	112	126	609
05.11.00 - Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы	11	6	5	15	6	13	18	74
05.02.00 - Машиностроение и машиноведение	6	3	8	4	2	6	17	46
25.00.00 - Науки о Земле	3	3	5	3	2	6	16	38
08.00.00 - Экономика	1	1	9	3	3	15	5	37
14.01.00 - Клиническая медицина	4	3	2	3	5	8	11	36
05.12.00 - Радиотехника и связь	5	1	6	7	6	3	5	33
05.09.00 - Электротехника	4	3	3	2	1	3	7	23
05.22.00 - Транспорт		1		4	2	9	3	19
05.14.00 - Энергетика		2	1	1	3	4	5	16
01.02.00 - Механика			3	3	3	1	3	13
01.04.00 - Физика		1	1	2	2	1	4	11
12.00.00 - Юриспруденция			1	1		3	5	10
05.20.00 - Процессы и машины агроинженерных систем			2		1	2	4	9
05.25.00 - Документальная информация		2	1			2	3	8
05.07.00 - Авиационная и ракетно-космическая техника	1		2		3		2	8
09.00.00 - Философия		2		1	1	3	1	8
05.19.00 - Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности	1					3	4	8
03.01.00 - Физико-химическая биология	1	2	2	2			1	8
10.02.00 - Языкознание	1	3		1		1	1	7
23.00.00 - Политология					1	4		5

⁹ Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 6 апреля 2021 г., регистрационный № 62998)» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru>. – Данные на 09.01.2023 г.

Табл. 1. (окончание)

Шифр и наименование группы научных специальностей	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Итого за период
Итого по группам научных специальностей	111	109	134	132	127	206	254	1073
05.05.00 - Транспортное, горное и строительное машиностроение	1						3	4
01.01.00 - Математика	1	1		1	1			4
05.26.00 - Безопасность деятельности человека		1	2			1		4
02.00.00 - Химия				2		1	1	4
Другие ГНС	3	1	6	3	4	5	9	31

за рассматриваемый период ожидаемо лидирует ГНС «05.13.00 - Информатика, вычислительная техника и управление» и научная специальность «05.13.01-Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» – 609 и 143 защиты, соответственно. Далее в рейтинге научных специальностей следуют специальности: «05.13.17-Теоретические основы информатики» и «05.13.18-Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (110 и 75 защит, соответственно). Среди представленных ГНС есть также группы, относящиеся к области «Гуманитарные и общественные науки» (философия, политология).

В анализируемом временном периоде 2016-2022 гг. явно прослеживается ступенчатая тенденция роста числа кандидатских диссертаций: 2016-2017 годы – 110 защит; 2018-2020 годы – 130 защит, 2021-2022 годы – 230 защит. Такая динамика обеспечивается за счет группы ГНС

«05.13.00 - Информатика, вычислительная техника и управление». Для остальных ГНС такой ярко выраженной динамики не наблюдается.

2.2. Анализ диссертационных исследований применительно к областям технологий и субтехнологиям сферы ИИ

Перечень технологий в сфере ИИ включал 15 областей, которые были определены ранее и представлены в авторской публикации [13]. Области технологий с номерами от 1 по 4 относятся к когнитивной функции «Распознавание - восприятие информации»; с 5 по 10 к когнитивной функции «Осмысление - обработка и анализ информации, запоминание и хранение, обмен информацией»; с 11 по 15 относятся к когнитивной функции «Действие - построение и осуществление программы действий».

На Рис. 1 приведено количество диссертаций по годам, защищенных за рассматриваемый

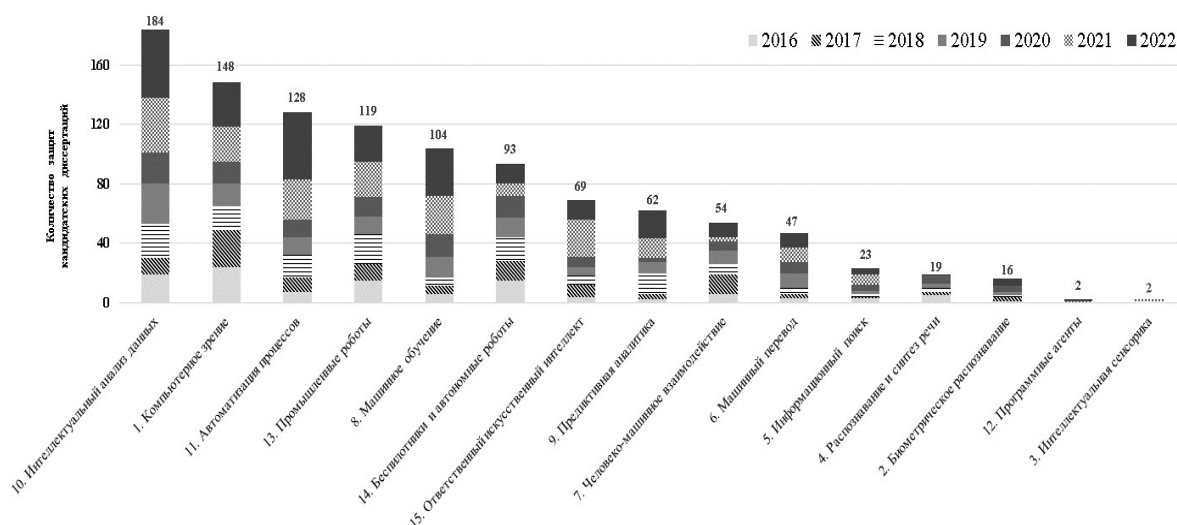


Рис. 1. Динамика числа кандидатских диссертаций, защищенных по тематике «Искусственный интеллект» за 2016-2022 годы, в разрезе областей технологий искусственного интеллекта

период, по областям технологий искусственного интеллекта. Здесь области ИИ-технологий расположены в порядке убывания количества защит диссертаций.

Как видно из Рис. 1, на первые четыре области технологии ИИ («Интеллектуальный анализ данных и процессов, осмысление закономерностей»; «Компьютерное зрение»; «Автоматизация процессов»; «Промышленные роботы») приходится чуть более половины всех защищенных диссертаций в сфере искусственного интеллекта за рассматриваемый период. Из общего массива диссертаций 76% были защищены в диссертационных советах, созданных приказами Минобрнауки России.

Существенная динамика роста числа защит диссертаций с 2016 по 2022 годы наблюдается по двум областям технологий ИИ: «Автоматизация процессов» и «Машинное обучение: представление знаний, онтология, интерпретация, объяснение».

Приоритеты национальной политики в сфере ИИ отражены в результатах грантового конкурса в рамках федерального проекта «Искусственный интеллект» по созданию в России исследовательских центров по ИИ. Поддержку получили шесть исследовательских центров ИИ на базе образовательных и научных организаций: Университет ИТМО (направление «Искусственный интеллект для промышленности»); Сколковский институт науки и технологий («Искусственный интеллект для оптимизации управленческих решений в целях снижения углеродного следа»); МФТИ («Анализ естественного языка методами искусственного интеллекта»); Институт системного программирования им. В.П. Иванникова («Доверенный искусственный интеллект»); Университет Иннополис и НИУ ВШЭ («Межотраслевые технологии искусственного интеллекта и искусственный интеллект для иных приоритетных отраслей экономики и социальной сферы»).

Девять тематик, заявленные как приоритеты, не получили поддержку в 2021 году, в том числе: «Искусственный интеллект для медицины», «Искусственный интеллект для робототехники и управления беспилотными системами», «Этические аспекты применения искусственного интеллекта», «Искусственный интеллект для обеспечения кибербезопасности».

Сравнительный анализ тематик направлений по созданию в России исследовательских центров по ИИ и количества защищенных диссертаций по областям технологий ИИ показал, что для ряда тематических направлений наблюдается несогласованность в объемах подготовки и аттестации кадров высшей научной квалификации как исследователей ИИ. Так, по поддержанному направлению конкурса «Анализ естественного языка методами искусственного интеллекта» защищено только 47 диссертаций за 7 лет. В то же время для направления «Искусственный интеллект для робототехники и управления беспилотными системами», не поддержанного в рамках конкурса, защищено 212 диссертаций за этот же период.

В Табл. 2 приведен фрагмент массива диссертаций, защищенных за рассматриваемый период, по субтехнологиям искусственного интеллекта. Выбраны 10 субтехнологий из 81 с максимальным числом защит кандидатских диссертаций за период с 2016 по 2022 год. Субтехнологии отсортированы в порядке убывания количества защит диссертаций. При этом принадлежность субтехнологии к конкретной области технологий указана через нумерацию субтехнологий, где первая цифра – номер области технологии ИИ (показан на Рис. 1), вторая цифра – номер субтехнологии, расположенной согласно алфавитному порядку в пределах соответствующей области технологии ИИ.

Общее количество диссертаций по тематике ИИ распределено по 81 субтехнологии искусственного интеллекта. На 10 субтехнологий, представленных в Табл. 2, приходится 559 кандидатских диссертаций. Открывает перечень субтехнология «Обработка изображений и визуальная аналитика при анализе сцен», с максимальным количеством защит – 105, относящаяся к области «Компьютерное зрение». На остальные субтехнологии, не представленные в таблице 2, суммарно приходится 509 защит диссертаций, для пяти диссертаций субтехнология не определена. По 17 субтехнологиям, согласно экспертным оценкам, диссертации не защищались. В их число входят, например, следующие: «2.3. Постоянный мониторинг параметров здоровья человека по данным от биодатчиков»; «3.5. Распознавание несанкционированного доступа в физической среде (на территории, в помещении и т.п.)»; «3.1. Аппаратное ускорение

Табл. 2. Динамика числа кандидатских диссертаций, защищенных по тематике «Искусственный интеллект» за 2016-2022 годы, в разрезе субтехнологий искусственного интеллекта (фрагмент)

№ Суб-технологии	Субтехнологии (частные технологии)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Итого за период
<i>Итого по субтехнологиям ИИ</i>		<i>111</i>	<i>109</i>	<i>134</i>	<i>132</i>	<i>127</i>	<i>206</i>	<i>254</i>	<i>1073</i>
1.3	Обработка изображений и визуальная аналитика при анализе сцен	22	23	13	9	13	11	14	105
13.2	Управление производственными роботами и манипуляторами	9	9	15	7	7	14	15	76
10.4	Интерпретация закономерностей в многомерных данных	8	2	7	14	5	14	17	67
11.2	Обеспечение постоянного контроля и управления качеством продукции	5	6	10	5	3	18	20	67
14.3	Управление автономным движением беспилотного транспорта на основе роевого искусственного интеллекта	11	8	11	10	10	1	9	60
7.2	Кибермедицинские экспертные рекомендательные системы	6	12	6	9	4		9	46
8.3	Глубокое машинное обучение на больших базах данных	1	1	1	7	4	13	13	40
13.1	Спортивная и медицинская робототехника	5	2	2	5	6	6	8	34
15.8	Противодействие атакам на цифровые объекты	3	4	5	4	4	10	2	32
8.5	Машинное обучение на основе данных с частичной разметкой или на незначительных (малых) объемах данных	3		2	3	6	10	8	32

периферийной (edge) обработки сенсорных данных на основе интегральных схем специального назначения (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC)» и т.д.

2.3. Анализ организаций–мест выполнения диссертационных исследований как Центров компетенций по областям технологий ИИ

Перечень Центров компетенций может быть сформирован по различным критериям применительно к предметной области. Так, например, Центры компетенций НТИ – это сеть из 21 инженерно-образовательного консорциума на базе российских университетов и научных организаций, которые занимаются развитием «сквозных» технологий НТИ¹⁰. Центр компетенций

НТИ по направлению «Искусственный интеллект», сформированный на базе МФТИ, направлен на комплексное развитие сквозной технологии «Искусственный интеллект» и ее применения в различных отраслях реального сектора экономики. Национальный центр когнитивных разработок на базе ИТМО направлен на формирование отечественной экосистемы разработки и внедрения когнитивных информационных технологий (КИТ) и машинного обучения (МО). «Дополнительной задачей Центра является создание системы подготовки специалистов экстра-класса (уровня ведущих конструкторов решений на основе МО и КИТ), способных самостоятельно генерировать проектные идеи и воплощать их с помощью команды специалистов-разработчиков. Это обеспечивается программами корпоративной

¹⁰ <https://nti2035.ru/technology/competence>

аспирантуры, а также программами индустриальных стажировок (феллоушип) в проектах Центра для специалистов, имеющих степень кандидата наук» [14, с. 111].

Анализ диссертационных исследований позволяет сформировать перечень «Центры компетенций» по критерию подготовки кадров высшей научной квалификации. С учетом этого подхода сформирован перечень центров компетенций в сфере арктических исследований [15]. Этот подход использован при формировании перечня организаций «Центры компетенций в сфере ИИ» по критерию подготовки кадров высшей научной квалификации. В аттестационных делах соискателей ученой степени кандидата наук выделяется три типа организаций: место защиты; место работы и место выполнения диссертационного исследования. Поскольку тематики диссертационных исследований, как правило, связаны с тематикой научных исследований, проводимых научными коллективами организаций, именно выбор организации как места выполнения диссертационного исследования можно использовать при формировании перечня

организаций как Центров компетенций в выбранной предметной области. В качестве показателя будем использовать количество диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, подготовленных на базе научных и образовательных организаций и успешно защищенных за период с 2016 по 2022 годы.

При выборе предметной области в виде технологий искусственного интеллекта этот подход позволяет сформировать перечень организаций «Центры компетенций в сфере ИИ», базирующийся на объективных количественных показателях (Табл.3).

Абсолютным лидером по подготовке диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по тематике искусственного интеллекта является Национальный исследовательский университет ИТМО. Научные и образовательные организации, представленные в Табл. 3, в основном совпадают с перечнем вузов, лидирующих в объеме подготовки кадров с высшим образованием (бакалавры, магистры и специалисты). Опрос вузов, реализующих образовательные программы в сфере ИИ, показал, что в ТОП-5

Табл. 3. Топ-15 научных и образовательных организаций, в которых подготовлено наибольшее количество диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по тематике искусственного интеллекта за период с 2016 по 2022 годы

Место выполнения диссертации	Количество диссертаций КН за 2016-2022 годы
Национальный исследовательский университет ИТМО	85
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)	41
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	33
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)	32
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»	31
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	23
Юго-Западный государственный университет	22
Казанский национальный исследовательский технологический университет им. А.Н. Туполева - КАИ	20
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)	20
Санкт-Петербургский государственный университет	17
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)	17
Национальный исследовательский университет «МЭИ»	17
Казанский (Приволжский) федеральный университет	15
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича	14
Южный федеральный университет	13

по объемам подготовки кадров с высшим образованием в сфере ИИ входят Высшая школа экономики, Новосибирский технический университет, Московский физико-технический институт, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова и Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Представленный в Табл. 3 перечень организаций на 53% совпадает с ТОП-10 университетов России по цитируемости научных публикаций в сфере ИИ¹¹, в который входят НИУ ВШЭ, СПбГУ, НИУ ИТМО, МФТИ, УрФУ, МГУ, КФУ, НГУ, ЛЭТИ и СПбПУ Петра Великого.

В Табл. 4 приведен ТОП-3 организаций по критерию количества защит кандидатских диссертаций по тематике, относящейся к каждой из 15 областей технологий искусственного интеллекта.

Согласно данным, представленным в Табл. 4, Национальный исследовательский университет ИТМО входит в ТОП организаций – Центров компетенций по 10 из 15 областей технологий искусственного интеллекта, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова и Московский физико-технический институт являются Центрами компетенций по 6 и 5 областям технологий ИИ соответственно. Данные образовательные организации в совокупности присутствуют в пятерке Центров компетенций по 12 из 15 областей технологий ИИ за период с 2016 по 2022 годы. Национальный исследовательский университет ИТМО и Московский физико-технический институт включены в перечень из шести организаций, получивших финансирование в рамках федерального проекта

Табл. 4. ТОП-3 организаций, в которых выполнено наибольшее число диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата наук за период с 2016 по 2022 годы, в разрезе областей технологий искусственного интеллекта (начало)

№ области технологии ИИ	Область технологии ИИ (кол-во защит КН за 2016-2022 годы)	Организация места выполнения диссертации (кол-во защит КН за 2016-2022 годы)
10	Интеллектуальный анализ данных и процессов, осмысление закономерностей (184)	МФТИ (13)
		НИУ ИТМО (12)
		СПбГУТ (10)
1	Компьютерное зрение (148)	НИУ ИТМО (12)
		МГУ им. М.В.Ломоносова (7)
		МФТИ (7)
11	Автоматизация процессов (128)	СамГТУ (6)
		ПГУПС (5)
		ТулГУ (5)
13	Промышленные роботы (119)	МГТУ им. Н.Э. Баумана (10)
		СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (6)
		НИУ ИТМО (5)
8	Машинное обучение: представление знаний, онтология, интерпретация, объяснение (104)	МГУ им. М.В.Ломоносова (5)
		НИУ ИТМО (17)
		НИУ ВШЭ (9)
14	Беспилотники и автономные роботы, роевой интеллект (93)	МГУ им. М.В.Ломоносова (7)
		МГТУ им. Н.Э. Баумана (8)
		НИУ ИТМО (8)
15	Ответственный искусственный интеллект (этика и философия, правовые нормы, безопасность) (69)	МАИ (8)
		СПбПУ (10)
		НИУ ИТМО (8)
9	Предиктивная аналитика (62)	МГУ им.М.В.Ломоносова (4)
		НИУ ВШЭ (3)
		МИСиС (3)
		МАИ (3)
		Финуниверситет (3)

¹¹ Искусственный интеллект в промышленности. Серия «Источник новых индустрий». Выпуск 3. СПб, 2022. 44 с.

Табл. 4. (окончание)

№ области технологии ИИ	Область технологии ИИ (кол-во защит КН за 2016-2022 годы)	Организация места выполнения диссертации (кол-во защит КН за 2016-2022 годы)
7	Человеко-машинное взаимодействие и рекомендательные системы (54)	ЮЗГУ (11)
		НИУ ИТМО (4)
		ТГТУ (4)
6	Машинный перевод, диалог на естественном языке (47)	МФТИ (7)
		НИУ ИТМО (6)
		НИУ ВШЭ (5)
5	Информационный поиск (23)	НИУ ВШЭ (4)
		МФТИ (2)
		МГУ им. М.В.Ломоносова (2)
4	Распознавание и синтез речи (19)	НИУ ИТМО (5)
		МФТИ (2)
2	Биометрическое распознавание (16)	МГУ им. М.В.Ломоносова (3)
		НИУ ИТМО (3)
12	Программные агенты (2)	Финуниверситет (1)
		НИИР (1)
3	Интеллектуальная сенсорика (информация с датчиков и обработка) (2)	СГТУ им. Гагарина Ю.А. (1)
		ЛГТУ (1)
Область технологии ИИ не определена (3)		УрФУ (1)
		СКФУ (1)
		НИУ «БелГУ» (1)
Общий итог		1073

«Искусственный интеллект» на создание в стране шести исследовательских центров по ИИ до 2024 года.

Заключение

По выполненной ранее оценке численность специалистов ИИ, относящихся к категории «Исследователи ИИ», на 2023 год составляет 5500 человек, и ежегодная дополнительная потребность составляет 225 специалистов. В то же время численность кандидатов наук, защитивших диссертацию по тематике ИИ за 2016 – 2022 годы, составляет 1073 человека. Усредненный ежегодный прирост численности кандидатов наук за 2016 – 2020 годы составляет 120 человек, за последние 2021 и 2022 годы увеличился практически вдвое и составил 254 человека в 2022 году. Следовательно, выдвинутая в настоящей работе гипотеза о том, что кадровая потребность сферы искусственного интеллекта для категории «Исследователи ИИ» на краткосрочном горизонте планирования может быть обеспечена за счет кандидатов наук, защитивших диссертацию по проблематике ИИ, подтверждается.

В то же время необходимо отметить, что реализация стратегических планов в сфере развития ИИ в России будет способствовать росту числа диссертационных исследований по тематике искусственного интеллекта. Новая Номенклатура специальностей научных работников, утвержденная в 2021 году, включает научную специальность «1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение», а также 35 научных специальностей, в паспортах которых присутствует тематика ИИ. Эти 36 специальностей входят в 17 групп НС и 4 области науки.

Проведенный анализ тематик диссертационных исследований кандидатов наук, относящихся к сфере ИИ, и их классификация позволили выявить качественную и количественную структуру кластера диссертаций, защищенных за период с 2016 по 2022 годы в рамках областей технологий и субтехнологий искусственного интеллекта: лидером среди областей технологий является «Интеллектуальный анализ данных и процессов, осмысление закономерностей», среди субтехнологий – «Обработка изображений и визуальная аналитика при анализе сцен».

Также сформированный перечень персоналий из числа кандидатов наук как авторов диссертационных исследований в сфере ИИ может служить базой для формирования экспертов Национального центра развития искусственного интеллекта¹².

Научная новизна и практическая значимость представленного исследования заключается в том, что впервые проведен детальный качественный и количественный анализ диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, защищенных за период с 2016 по 2022 годы по тематике ИИ. Экспертным путем выделен массив исследований, тематика которых относится к сфере искусственного интеллекта, с классификацией по областям технологий и субтехнологиям ИИ. Результаты проведенного анализа будут полезны руководителям федеральных органов исполнительной власти, принимающим управленческие решения в сфере подготовки и аттестации кадров высшей научной квалификации, председателям и ученым секретарям диссертационных советов, руководителям научных и образовательных организаций, а также научным и научно-педагогическим работникам (включая студентов и аспирантов), проводящим аналитические исследования в данной предметной области.

Ограничением представленного исследования является то, что количественные характеристики объемов подготовки специалистов в сфере ИИ были получены на основе данных из отчетов диссертационных советов, функционировавших за рассмотренный период, с использованием названий диссертаций и ключевых слов в карточке соискателя ученой степени кандидата наук. Более точный анализ диссертационных исследований в сфере ИИ можно провести на основе выборки из базы данных авторефератов диссертаций с использованием библиотек и пакетов для обработки и анализа данных.

Продолжением исследования персоналий, относящихся к категории «Исследователи ИИ», может быть анализ научных публикаций по тематике ИИ ученых с высоким уровнем наукометрических показателей (количество публикаций, индекс цитирования), обладающих степенью кандидата или доктора наук.

Литература

1. Лексин В.Н. Искусственный интеллект в экономике и политике нашего времени. Статья 2. Искусственный интеллект как товар и услуга // Российский экономический журнал. 2020. № 5. С. 3–33.
2. Соколов И.А., Мишарин А.С., Куприяновский В.П., Покусаев О.Н., Куприяновская Ю.В. Роботы, автономные робототехнические системы, искусственный интеллект и вопросы трансформации рынка транспортно-логистических услуг в условиях цифровизации экономики // International Journal of Open Information Technologies. 2018. Т. 6. № 4. С. 92–108.
3. The AI Index 2022 Annual Report. // Stanford University, 2022. 230 p.
4. Analysis Report of the world's most influential AI Scholar (AI 2000) in 2022. 2022. 15 p.
5. Pedró F. et al. Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development. 2019. UNESCO. 46 p.
6. Костюкова К. С. Политика цифровой трансформации Японии на примере развития технологии искусственного интеллекта // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2019. Т. 10. № 4. С. 516–529.
7. Лившиц В.Н., Шаталова О.М., Дмитриева О.В. Управляемая экономика: актуальные вопросы государственного управления в условиях цифровой Трансформации // Труды ИСА РАН. 2021. Т. 71. № 4. С. 11–22.
8. Babenko A., Slesarev A., Chigorin A., Lempitsky V. Neural codes for image retrieval. // Lecture Notes in Computer Science. 2014. V. 8689 LNCS. Part 1. P. 584–599.
9. Jumper J., Evans R., Pritzel A., Green T., Figurnov M., Ronneberger O. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. // Nature. 2021. V. 7873. No 596. P. 583–589.
10. Соколов И.А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта // Вестник российской академии наук. 2019. Т. 89. № 4. С. 365–370.
11. ИТ-кадры для цифровой экономики в России. Оценка численности ИТ-специалистов в России и прогноз потребности в них до 2024 г. Ассоциация АПКИТ, Москва, 2020. 19 с.
12. Аверьянов А.О., Степуть И.С., Гуртов В.А. Прогноз кадровой потребности для сферы искусственного интеллекта в России // Проблемы прогнозирования. 2023. №1. С. 129–143.
13. Гуртов В.А., Аверьянов А.О., Корзун Д.Ж., Смирнов Н.В. Система классификации технологий в сфере искусственного интеллекта для кадрового прогнозирования // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т. 15. № 3. С. 113–133.
14. Бухановский А.В. Национальный центр когнитивных разработок (центр компетенций НТИ): искусственный интеллект на службе профессиональной деятельности // Инновации. 2019. Т. 253. № 11. С. 105–111.
15. Гуртов В.А., Стасевич А.В. Центры компетенции в сфере арктических исследований: анализ на основе диссертационных работ // Арктика и Север. 2020. № 38. С. 6–19.

¹² <https://aicentre.hse.ru>

Мелех Наталья Валерьевна. Кандидат физико-математических наук. Старший научный сотрудник. Петрозаводский государственный университет. Области исследований: деятельность системы подготовки и аттестации кадров ВНК. E-mail: natalie_melekh@mail.ru (ответственный за переписку)

Аверьянов Александр Олегович. Аспирант, ведущий специалист. Петрозаводский государственный университет. Области исследований: искусственный интеллект, кадровое прогнозирование. Email: aver@petsu.ru

Гуртов Валерий Алексеевич. Доктор физико-математических наук. Директор Центра бюджетного мониторинга. Петрозаводский государственный университет. Области исследований: подготовка и аттестация кадров ВНК, кадровое прогнозирование. E-mail: vgurt@psu.karelia.ru

AI Researchers: Analysis Based on Dissertations

N. V. Melekh, A. O. Averyanov, V. A. Gurtov

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

Abstract. This article presents the results of the formation of a list of dissertation studies defended for the degree of candidate of sciences for the period from 2016 to 2022, the topics of which relate to the artificial intelligence field, as well as the thematic analysis of these dissertations and the characteristics of candidates of sciences's community belonging to the category "Artificial intelligence Researchers". The generated list of dissertations is structured by technology areas and subtechnologies of artificial intelligence (hereinafter referred to as AI). It is shown that the training of highly qualified scientific personnel fully meet the needs of the artificial intelligence field in the category of "AI Researchers" on the short-term planning horizon. According to the criterion of dissertations number on the subject of AI, carried out on the basis of scientific and educational organizations, "AI Competence Centers" are allocated.

Keywords: artificial intelligence, AI, dissertation research, candidates of sciences, AI Competence Centers.

DOI

References

1. Leksin V.N. *Iskusstvennyy intellekt v ekonomike i politike nashego vremeni. Stat'ya 2. Iskusstvennyy intellekt kak tovar i ushuga* [Artificial intelligence in economy and policy nowadays. Article 2. Artificial intelligence as goods and service]. // *Rossiyskiy ekonomicheskiy zhurnal* [Russian Economics Journal]. 2020. No 5. P. 3–33.
2. Sokolov I.A., Misharin A.S., Kupriyanovskiy V.P., Pokusaev O.N., Kupriyanovskaya Yu.V. *Roboty, avtonomnye robototekhnicheskie sistemy, iskusstvennyy intellekt i voprosy transformatsii rynka transportnologicheskikh ushug v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki* [Robots, autonomous robotic systems, artificial intelligence and the transformation of the market of transport and logistics services in the digitalization of the economy]. // *International Journal of Open Information Technologies International*. 2018. V. 6. No 4. P. 92–108.
3. *The AI Index 2022 Annual Report*. Stanford University. 2022. 230 p.
4. *Analysis Report of the World's most influential AI Scholar (AI 2000) in 2022*. 2022. 15 p.
5. Pedró, F. et al. 2019. *Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development*. UNESCO. 46 p.
6. Kostyukova K. S. *Politika tsifrovoy transformatsiya Yaponii na primere razvitiya tekhnologii iskusstvennogo intellekta* [Digital Transformation Policy in Japan: the Case of Artificial Intelligence] // *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye)* [MIR (Modernization. Innovation. Research)]. 2019. V. 10 No 4. P. 516–529.
7. Livshits V.N., Shatalova O.M., Dmitrieva O.V. *Upravlyayemaya ekonomika: aktual'nye voprosy gosudarstvennogo upravleniya v usloviyakh tsifrovoy Transformatsii* [Managed Economy: An Overview of Current Public Administration Practices in the Digital Transformation]. // *Trudy ISA RAN* [Proceedings of ISA RAS]. V. 71. No 4. P. 11–22.
8. Babenko A., Slesarev A., Chigorin A., Lempitsky V. *Neural codes for image retrieval*. // *Lecture Notes in Computer Science*. 2014. V. 8689 LNCS. Part 1. P. 584–599.
9. Jumper J., Evans R., Pritzel A., Green T., Figurnov M., Ronneberger O. *Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold*. // *Nature*. 2021. V 7873. No 596. P. 583–589.
10. Sokolov I.A. *Teoriya i praktika primeneniya metodov iskusstvennogo intellekta* [Theory and practice in artificial intelligence]. // *Vestnik rossiyskoy akademii nauk* [bulletin of the Russian Academy of Sciences]. 2019. V.89. No 4. P. 365–370.
11. *IT-kadry dlya tsifrovoy ekonomiki v Rossii. Otsenka chislenosti IT-spetsialistov v Rossii i prognoz potrebnosti v nikh do 2024 g.* Assotsiatsiya APKIT, Moskva, 2020. 19p.
12. *Aver'yanov A.O., Stepus' I.S., Gurtov V.A. Prognoz kadrovoy potrebnosti dlya sfery iskusstvennogo intellekta*

- v Rossii. // Problemy prognozirovaniya. 2023. No 1. P. 129-143.
13. Gurtov V.A., Aver'yanov A.O., Korzun D.Zh., Smirnov N.V. Sistema klassifikatsii tekhnologiy v sfere iskusstvennogo intellekta dlya kadrovogo prognozirovaniya [A system for classification of technologies in the field of artificial intelligence for personnel forecasting]. // Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz [Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast]. 2022. V. 15. No 3. P. 113–133.
14. Bukhanovskiy A.V. Natsional'nyy tsentr kognitivnykh razrabotok (tsentr kompetentsiy NTI): iskusstvennyy intellekt na sluzhbe professional'noy deyatel'nosti [National Center for Cognitive Research: artificial intelligence in the service of professional activity]. // Innovatsii [Innovations]. 2019. V. 253. No 11. P. 105–111.
15. Gurtov V.A., Stasevich A.V. Tsentry kompetentsii v sfere arkticheskikh issledovaniy: analiz na osnove dissertatsionnykh rabot [Competence centers for Arctic studies: thesis-based analysis]. // Arktika i Sever [Arctic and North]. 2020. No 38. P. 6–19.

Melekh Natalya V. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Senior researcher. Petrozavodsk State University. E-mail: natalie_melekh@mail.ru.

Averyanov Alexander O. Postgraduate student. Leading specialist. Petrozavodsk State University. E-mail: aver@petrsu.ru

Gurtov Valery A. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor. Direktor of the Center. Budget monitoring center of Petrozavodsk State University. E-mail: vgurt@psu.karelia.ru