

УДК 519.687.1/4

В. И. ГОРОДЕЦКИЙ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

Р. М. ЮСУПОВ

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – НАУКА И ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

*Искусственный интеллект рассматривается как самостоятельная наука и как раздел информатики, в котором принятие решений основывается на знаниях, а его научное содержание определяется методологиями, методами и алгоритмами работы со знаниями. В работе проводится краткий анализ состояния исследований и разработок в области искусственного интеллекта на современном этапе, и анализируются основные актуальные направления развития в этой области, которые, по мнению авторов, определяют ближайшее будущее искусственного интеллекта как науки и информационной технологии и дорожную карту исследований и прикладных разработок в этой области.*

**Введение.** Научное направление в информатике, называемое метафорически «искусственный интеллект» (ИИ), а также интеллектуальные информационные технологии (ИТ), построенные с использованием методов и моделей ИИ, в настоящее время признаются стратегическим направлением исследований и разработок, научной и технологической основой передовых решений в области цифровой экономики 21-го века. Консалтинговая компания Gartner и другие аналогичные компании неизменно включают ИИ в пятёрку наиболее значимых направлений развития в области ИТ до 2025 года и далее, подчёркивая при этом его первостепенную роль в экономике и в других сферах жизни общества и отдельного человека. Интеллектуальные ИТ рассматриваются в качестве базиса передовых решений в производственных системах, на транспорте, в управлении энергопотреблением, в мобильных коммуникациях, управлении развитием городов, медицине и здравоохранении, в точном земледелии и в социологии, как и во многих других направлениях. Ведущие экономики мира вкладывают огромные средства в исследования и разработки в области ИИ и интеллектуальных технологий, принимают и реализуют национальные программы его развития.

Это относится и к России – в 2019 году была принята *Национальная стратегия развития технологий в области искусственного интеллекта* (далее, для краткости, НС) [1]. В научном сообществе существуют разные мнения о ней, в частности, о её содержании и о расстановке приоритетов. В [2] авторы данной работы провели краткий анализ содержания НС, основных её направлений и приоритетов развития с позиций информатики и информационных технологий, т.е. с позиций основных коммерческих потребителей результатов ИИ и интеллектуальных технологий. В ней описано существо базовых задач ИИ и основных его направлений как науки и информационной технологии и сделан вывод о важности разработки и обсуждения дорожной карты развития ИИ и интеллектуальных технологий. Такая дорожная карта позволила бы уточнить и конкретизировать содержание «комплекса технологических решений» ИИ, о котором идёт речь в НС. Это представляется необходимым на фоне существенного разнообразия мнений по этому вопросу среди представителей научного и индустриального сообществ, исследователей, разработчиков и пользователей технологий ИИ, поскольку эти мнения далеко не во всем аналогичны содержанию НС [1].

Действительно, в НС искусственный интеллект определяется как «комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека, получая результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека» [1]. Эта позиция отражает мнение авторов НС. Другие представители ИИ настаивают на «ведущей роли компьютерных наук в развитии искусственного интеллекта» и утверждают, что основная проблема разработки комплекса технологических решений, о котором идёт речь в НС, прежде всего, в архитектуре и программном обеспечении самих интеллектуальных вычислителей [3]. Существуют и другие трактовки существа ИИ, которые, как правило, отражают научные приоритеты коллективов исследователей в различных областях, связанных каким-то образом с ИИ, например, в области когнитивных проблем, в области информатики мозга (англ. *Brain Informatics*) и др.

Искусственный интеллект в [2], как и в данной работе рассматривается как наука из кластера наук, объединяемых общим названием «Информатика». В этом контексте ИИ трактуется авторами как раздел информатики, в котором принятие решений основывается на *знаниях*, его научное содержание определяется методологиями, методами и алгоритмами работы со знаниями, а именно методами и алгоритмами *получения*, компьютерного *представления* и практического *использования знаний* в прикладных системах принятия решений<sup>1</sup>. В этом контексте «комплекс технологических решений», о котором идёт речь в НС, есть множество технологий работы со знаниями.

ИИ как *раздел информатики* не ставит цели воспроизведения естественного интеллекта человека с какой-то мерой аналогии и не претендует на создание альтернативы естественному интеллекту. В работе [2] принимается предположение о том, что использование знаний является основной отличительной чертой методов принятия решений в системах ИИ. Это относится к любым методам ИИ, включая и те, которые в настоящее время трактуются как аналоги процессов принятия решений человеком. При этом алгоритмическое содержание или степень сходства процессов принятия решений с методами принятия решений человеком в ИИ играют второстепенную роль. Они могут быть совсем непохожими на методы принятия решений человеком, а могут в чем-то быть аналогичными им. В *рамках ИТ* термин ИИ используется в качестве *метафоры*, т.е. просто в качестве имени, которое представляется общепринятым в среде специалистов и которое выделяет в информатике ту её часть, которая работает со знаниями.

Далее в данной работе приводится мотивация принятого взгляда на ИИ, и анализируются его связи в контексте наук об управлении и наук биологического кластера. Целью работы является анализ содержания и структуры ИИ как науки в области информатики и ИТ на современном этапе её развития. Основное содержание работы – это анализ основных направлений и трендов развития ИИ на современном этапе, которые, по мнению авторов, определяют ближайшее будущее ИИ и интеллектуальных ИТ и которые поэтому могут быть положены основу *дорожной карты* среднесрочной перспективы развития ИИ.

**Искусственный интеллект в контексте кибернетики, информатики и биологических наук.** Строго очертить какое бы то ни было научное направление невозможно в принципе, и доказательством тому служат многочисленные безуспешные попытки представить иерархическую классификацию науки, встроить в неё в таком стиле новые междисциплинарные проблемы и новые научные направления, которые появляются регулярно. Ещё сложнее было бы описать как-то строго науку «Искусственный интеллект», в название которой входит очень неопределённый кросс-доменный термин «интеллект», используемый в ряде наук, причём в разных науках в различном смысле.

Важно отметить, что термин «искусственный интеллект» как название науки и начальный взгляд на его цели и содержание были сформулированы кибернетиками и как направление в кибернетике (Дартмутский семинар, 1957 г., Дж. Маккарти, М. Мински, К. Шеннон). Содержание ИИ авторами названия новой науки не было связано напрямую с интеллектом человека. Действительно, согласно Дж. Маккарти, ИИ-исследователи вольны «использовать методы, которые не наблюдаются у людей, если это необходимо для решения конкретных проблем» [4]. В этой цитате самыми важными являются слова «для решения конкретных проблем». Это подчёркивает тот факт, что сам термин «искусственный интеллект» для основателей ИИ не являлся важным, гораздо важнее его «кибернетическое» содержание, которое в него вкладывалось ими.

Автор термина ИИ Дж. Маккарти описал его как интеллект «вообще» – это «вычислительная» составляющая того, что помогает субъекту достигать заданных целей. Это значит, что для создания или развития интеллектуальных информационных технологий и систем ИИ человеку, с точки зрения Дж. Маккарти, и не надо разбираться в том, как именно работает его мозг.

Важно также отметить, что в том же 1957 году Ф. Розенблатт, специалист в области психологии и нейрофизиологии, предложил модель перцептрона как компьютерную модель восприятия информации мозгом человека. Эта модель, как оказалось, весьма далека от модели восприятия и обработки информации мозгом человека, но она стала прототипом современных нейросетей и

<sup>1</sup>Для напоминания и сохранения логики изложения материала некоторые положения работы [2] дублируются и в данной работе.

положила начало направлению в ИИ, которое позже стали называть *коннекционизмом*. Важно также отметить, что исследователи в области нейробиологии, психологии, философии сознания и других наук биологического и психологического кластеров использовали термин «интеллект» как синоним термина «человеческий интеллект», причём это имело место задолго до появления вычислительного взгляда на этот термин в контексте информатики и ИИ.

В процессе более чем 60-летних исследований и разработок в области ИИ изменялось содержание его задач и существо его методов, было создано обширное множество инструментов для исследований, претерпела сильные изменения и приоритетность разделов ИИ.

Анализ показывает, однако, что большинство противоречий в трактовке существа науки под названием Искусственный интеллект состоит с тем, что каждый пытается наделить этот термин смыслом, который он вкладывает в слово *интеллект*, хотя в составе термина слово *искусственный интеллект* – это просто метафорическое название, которое придумали его родоначальники. Заметим, что этот термин появился в английском языке, в котором короткие метафорические названия – это общепринятая норма, причём не только в научной среде.

Причины существующего многообразия трактовок термина «искусственный интеллект» во многом обусловлены также тем местом, которое занимает эта наука в контексте других наук, большинство из которых появилось задолго до 1957 года, когда был введён этот термин. Например, на рис. 1 иллюстрируется место ИИ в контексте наук кибернетического кластера [5], а рис. 2 иллюстрирует место ИИ в контексте наук биологического кластера.

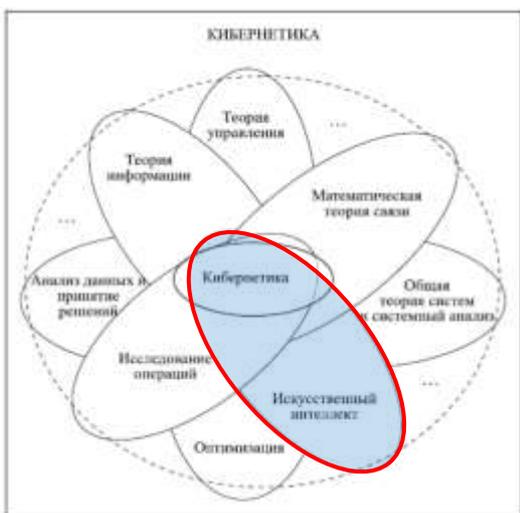


Рис. 1. Место искусственного интеллекта в контексте наук кибернетического кластера (источник – [5])



Рис. 2. Место искусственного интеллекта в контексте наук биологического и психологического направлений

Из этих рисунков видно, что ИИ – это междисциплинарная наука. В ней используются результаты многих наук, например, практически весь спектр кибернетики, математики, статистики, компьютерных наук, коммуникаций, психологии, физиологии, биологии, нейробиологии, философии сознания, информатики мозга, социальных наук и др. С другой стороны, все эти науки в разной форме используют понятия и/или результаты ИИ, и, что важно, у этих наук и у ИИ много общих терминов. Однако содержание этих терминов, как правило, различно, причём наибольшие различия имеют место именно в трактовке смысла базового термина – «интеллект». По этим причинам специалисты этих наук со своих позиций трактуют и суть ИИ как науки, причём необязательно в контексте информатики. В настоящее время эта неопределённость в трактовке имеет хождение и в среде специалистов, которые занимаются исследованиями и разработками ИИ и приложений в области информатики [6].

На рис. 3 образно демонстрируется связь ИИ с науками биологического кластера и вычислительного кластера. На нём вся область методологий, методов и алгоритмов, применяемых в ИИ, условно представлена эллипсом в центре рисунка, и этот эллипс разделён вертикальной линией на две части. Пусть в эллипсе «Искусственный интеллект» справа от этой линии помещены методологии и методы, заимствующие те или иные идеи из биологических наук, причём чем больше в них, условно говоря, «биологического», тем правее они в этом эллипсе размеща-

ются. Тогда ближе к разделительной линии нужно будет разместить биоинспирированные алгоритмы оптимизации и самоорганизации, поскольку по своему существу это формальные методы случайного поиска с мета эвристиками, заимствованными у природы. В самой правой части эллипса нужно будет разместить когнитивные науки и современный коннекционизм, в частности, нейросети глубокого обучения, которые, как сейчас многие считают, но с чем трудно согласиться, ближе других моделей ИИ к процессам обучения и принятия решений, которые свойственны головному мозгу человека.

Ещё правее (рис. 3) к этим исследованиям примыкают исследования в области информатики мозга, нейробиологии и другие, которые иногда называют когнитивными науками [7], в которых также активно используются идеи коннекционизма.



Рис. 3. Место искусственного интеллекта в контексте наук биологического и психологического направлений (справа) и его связь с вычислительным интеллектом (слева) (первоисточник – работа [2], рисунок переработан)

К полярной (по отношению к наукам биологического кластера) области ИИ как научного направления в информатике следует отнести вычислительный интеллект [3], который очень далёк от когнитивных моделей и который акцентирует внимание на эффективной реализации вычислительных моделей ИИ с помощью программно-аппаратных реализаций и суперкомпьютеров. На рис. 3 этот аспект ИИ позиционируется в левой части. Действительно, использование высокоскоростных компьютеров и параллельных программно-аппаратных реализаций ИИ предоставляет новые технологические возможности по сравнению с вариантами программной реализации моделей ИИ на обычных компьютерах. Хорошо известно, что победы, одержанные шахматными программами и программами игры в Го над профессионалами, были бы невозможны без использования суперкомпьютеров. А эти достижения принято относить к достижениям ИИ.

Однако, основная область задач, моделей методов, алгоритмов, инструментов и технологий современного ИИ как раздела информатики находится между двумя названными выше компонентами ИИ (рис. 3). Системы ИИ, которые относятся к этой области и которые охватывают большую часть того, что в информатике принято называть методами ИИ, часто называют также системами, основанными на знаниях. В среде специалистов уже относительно давно оба эти названия отождествляют, а сам термин *знания* литературе по ИИ используется чаще других.

**Знания как объект исследований и разработок в ИИ<sup>1</sup>.** Знания как объект исследований, разработок и использования всегда присутствуют в прикладных системах и технологиях ИИ, в отличие от систем и технологий других типов. При этом *знания* составляют ядро любой интеллектуальной системы, и именно знания (их объем, корректность, полнота и др.) и используемые методы работы с ними определяют потенциальные возможности конкретной интеллектуальной системы. С другой стороны, термин «знания» является ключевым словом и при описании интеллекта человека. В работе [8] один из её авторов, Д. А. Поспелов, наиболее авторитетный

<sup>1</sup> В этом разделе используются некоторые материалы работы [2].

специалист ИИ в СССР и России, в разделе «Становление информатики в России», рассматривает ИИ как раздел информатики и характеризует его как «представление знаний, вывод на знаниях, обучение, экспертные системы и т. п.» (стр. 8), а ИИ – как «технологии решения задач, опирающиеся на идею использования знаний о предметной области» (стр. 37). По существу, Д. А. Поспелов, во-первых, однозначно выделяет знания как объект исследований в ИИ и, во-вторых, рассматривает различные задачи работы со знаниями как основные направления исследований в этой науке.

Ключевая роль знаний в информационных технологиях ИИ состоит в том, что именно благодаря их использованию стало возможным эффективное решение многих вычислительных задач, которые являются задачами экспоненциальной сложности. Знания – это ключевое понятие ИИ, и работа со знаниями является отличительной чертой системы ИИ по отношению к компьютерным системам других классов. Именно *знания* являются основным *объектом исследований* в ИИ.

Анализ научной литературы в области ИИ показывает, что основные исследования и разработки в ИИ концентрируются вокруг трёх проблем работы со знаниями, а именно:

- получение знаний,
- представление и преобразование знаний и
- использование знаний.

Далее обсуждается содержание и состояние исследований и разработок по этим проблемам в *настоящее* время.

**Современное состояние исследований и разработок в ИИ.** Перечисленные направления исследований в области ИИ охватывают практически все задачи ИИ. Рассмотрим кратко их научное содержание и современное состояние исследований и разработок в них.

**Получение знаний.** Существуют различные и разнообразные *источники знаний*, которые привлекаются при решении задач получения знаний (рис. 4). К ним, в первую очередь относятся эксперты. На рис. 4 типы экспертных источников знаний отображены в нижней его части. Весьма продуктивными источниками знаний являются также данные, в особенности, большие данные.

Для получения знаний из названных источников привлекаются разнообразные методы, алгоритмы и программные инструменты, известные из математики и математической статистики. Исследователями в области ИИ созданы также свои специфические методы, алгоритмы и инструменты для решения задач извлечения знаний. Методы извлечения и структурирования *знаний экспертов* обычно относят к области *инженерии знаний* [9]. Для получения знаний из данных, кроме стандартных методов математической статистики, разработано огромное множество подходов, алгоритмов и инструментов, которые можно разделить на несколько групп, а именно (1) обнаружение связей и зависимостей в данных без акцента на их будущее использование (англ. *Data Mining*); (2) машинное обучение (англ. *Machine Learning*), которое реализуется в контексте конкретного приложения; (3) эволюционное машинное обучение с подкреплением – класс методов управляемого случайного поиска (англ. *Reinforcement Learning*), (4) эвристические методы оптимизации с использованием биоинспирированных и других мета эвристик (генетические алгоритмы случайного поиска, муравьиные алгоритмы и т. п.). Если коннекционизм и нейросетевые модели принятия решений относить к направлению ИИ<sup>1</sup>, то в качестве ещё одного класса методов, алгоритмов, технологий и инструментов извлечения знаний из данных следует назвать (5) современные методы, структуры и технологии глубокого обучения (англ. *Deep Learning*).

Можно утверждать, что чисто технические аспекты получения знаний с использованием перечисленных источников и с применением пяти указанных классов методов к настоящему времени решены и решены успешно. Однако главный тренд в этой области – это извлечение *семантики* знаний и технологии её практического использования в рамках концепции семантических моделей знаний и семантических вычислений. Этот тренд формулирует новые задачи для каждой из трёх базовых проблем ИИ как раздела ИТ. Поэтому на этапе получения знаний важным направлением исследований становится поиск и формирование источников семантической информации.

<sup>1</sup> Имеются и противники такого мнения

Термины *семантические модели* и *семантика знаний* стали активно использоваться в научной литературе по ИИ примерно 30 лет тому назад, когда были опубликованы первые работы, в которых было введено понятие *онтологии* как базовой модели концептуализации и *формализации семантики* данных и знаний, предложена её структура и уточнена роль в системах представления и обработки данных и знаний в системах ИИ [10].

Если говорить совсем кратко, то семантические модели, семантические технологии – это достаточно общие термины, которые применяют к программному обеспечению, которое имеет некоторый, иногда даже совсем минимальный уровень «человеческого» понимания смысла информации, с которой программа имеет дело. По аналогии с семантикой естественного языка, в ИИ термин *понимание* неявно трактуется как аналог понимания смысла информации, данных и знаний человеком. Например, о семантической модели данных можно говорить уже в том случае, когда с поисковым запросом, в котором имеется ключевое слово *птица*, программа поиска возвращает текст, содержащий слово *орёл*. Можно сказать, что переход к использованию семантических моделей означает, что текст, представляющий, например, данные становится не только *машиночитаемым*, но также и *машинопонимаемым*.

Рис. 4 иллюстрирует базовые источники знаний о семантике понятий и текстов, а также инструменты, которые в настоящее время доступны специалистам для решения задач инженерии знаний. Исторически первым таким источником стали онтологии и хранилища данных *Семантического веба* в терминах триплетов «*субъект – предикат – объект*» [11, 12]. Эта концепция была впервые опубликована в 1998 г. и в настоящее время она реализована в международном проекте Веб связанных данных (англ. *Linked Data Web*) и широко используется в индустрии. Его инструменты, доступные в настоящее время для получения знаний, включают широкий спектр средств, объединённых на рис. 4 в блок *Инструменты извлечения знаний и их семантики*.

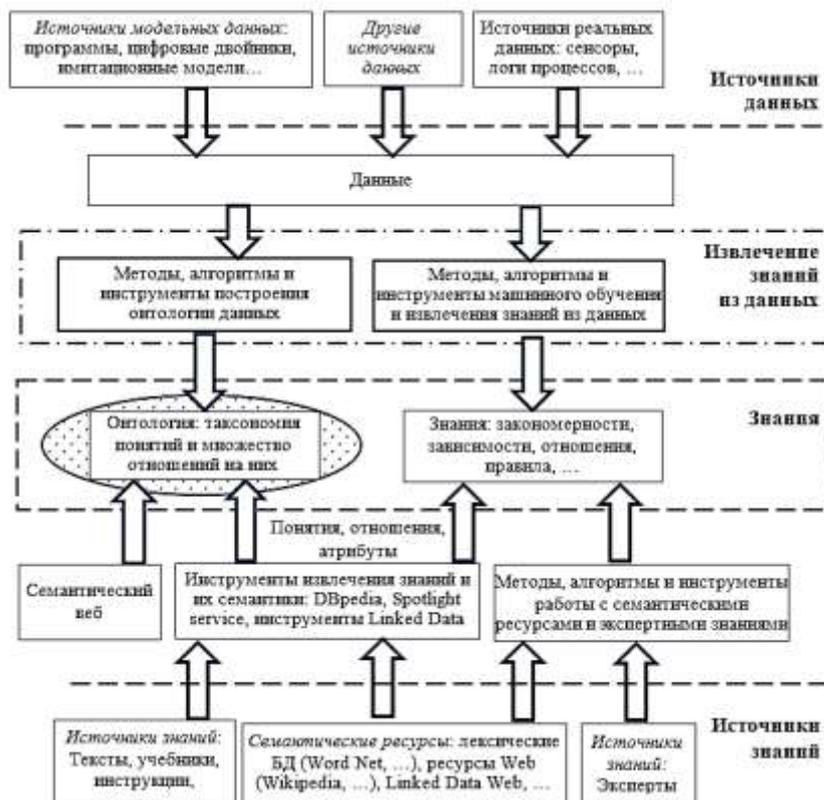


Рис. 4. Источники данных и знаний, доступные для построения онтологий и других компонент знаний, группы методов и инструментов автоматизации процессов конструирования баз знаний и данных (рисунок заимствован из работы [2] с частичной его переработкой)

**Представление и преобразование знаний и данных.** Концептуальная модель знаний не может быть использована компьютером напрямую, поскольку машинный язык – это язык бинарных последовательностей. Описание знаний концептуального уровня на некотором формаль-

ном языке, которое может быть далее формально преобразовано в машиночитаемую форму – это и есть задача *представления знаний*. Другими словами, под представлением знаний понимается их спецификация в терминах конкретных структур, представленных на формальном языке, тексты которого могут быть транслированы автоматически в машиночитаемую форму, а при использовании онтологий – и в машинопонимаемую форму. Несколько упрощая, можно сказать, что задача данного этапа – это преобразование знаний из формального представления, понятного человеку, в форму, читаемую и понимаемую компьютером.

История развития моделей представления знаний в ИИ достаточно богатая. На этом пути было предложено много моделей. Развитие начиналось с моделей семантических сетей, и, пройдя примерно тридцатилетнюю историю развития, которая в значительной мере является историей проб и ошибок, остановилась на той же самой модели семантической сети. Сейчас её принято называть онтологией.

Эта модель в настоящее время имеет два основных варианта структур представления. Один из них – это представление знаний и данных в хранилищах RDF-триплетов с моделью онтологии на мета уровне и её описанием на одном из языков группы RDF, RDF-Schema и OWL [11, 12]. Второй вариант представления – это структуры типа *LPG, Labelled Property Graph* (на русском языке – *граф разметки свойств*). LPG-структуры онтологии представляются в современных СУБД, которые называют *графовыми базами данных*. Таких СУБД в настоящее время насчитывается более десятка, среди которых наиболее зрелыми и мощными являются СУБД с открытым кодом Neo4j и ORIENT DB. Эти СУБД способны реализовывать онтологии со встроенной семантикой.

В основу современного формального описания онтологии в настоящее время положен специально сконструированный разрешимый фрагмент логики предикатов первого порядка, а иногда – и его расширения с помощью модальных операторов. Соответствующее семейство логических формализмов для описания знаний, представленных онтологиями, называют *дескриптивными логиками* (ДЛ) [13, 14]. В этих логиках используются только одноместные предикаты, называемые *концептами*, и двухместные предикаты, называемые *ролями*, и эти ограничения делают дескриптивные логики разрешимыми. Содержательно, концепты ставятся в соответствие понятиям онтологии, а роли – бинарным отношениям на множестве этих понятий.

База знаний, формализованная на языке ДЛ, состоит из двух компонент, *Tbox* и *Abox*. Компонента *Tbox* (терминология) называется *схемой* базы знаний (рис. 5). Она содержит множества атомарных концептов  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , атомарных ролей  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  и ряд правил стандартного синтаксиса исчисления предикатов, которые позволяют задавать другие концепты (понятия) и роли (отношения) базы знаний. Компонента *Abox* базы знаний, представленной онтологией, – это знания о множестве *экземпляров* понятий и ролей, называемых также *фактами*. Синтаксис *Abox* включает в себя утверждения двух видов: *a: A* (“*a* является экземпляром понятия *A*”), и *aRb* (“экземпляры понятий *a* и *b* связаны ролью *R*”). Базой знаний называют пару

$$Kb = \langle T, C \rangle, \quad (1)$$

где *T* – произвольный *Tbox*, *C* – произвольный *Abox*.

Можно утверждать, что онтологии и описанные языки и инструменты представления знаний и данных, описанные выше, отражают современный уровень представления знаний в ИИ.



Рис. 5. Формальная модель онтологии

Отметим, что в нейросетевых моделях знания представляются в синтаксической форме в виде чёрного ящика активных знаний (англ. *actionable knowledge*), которые являются уже готовыми структурами принятия решений.

**Использование знаний.** Обратимся к задаче использования знаний, т. е. к *технологиям* работы со знаниями, принятым в различных прикладных интеллектуальных системах. *Использование знаний* в ИИ – это применение конкретных технологий ИИ для разработки приложений и инструментальных средств их программной поддержки. Технологии ИИ – это, например, многоагентные

технологии, распределённые технологии, самоорганизующиеся технологии, технологии планирования, сетевые технологии, технологии семантического веба, технологии Интернета вещей,

технологии киберфизических систем и цифровых двойников, технологии периферийных вычислений т. д. Эти технологии обычно соотносятся с некоторыми классами приложений. Если вспомнить Национальную стратегию ИИ [1], то она сформулирована именно на этом уровне как разработка «комплекса технологических решений» для конкретного множества классов приложений. Поэтому задачи, явно прописанные в НС в качестве «комплекса технологических решений в [1], а именно компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальная поддержка процессов принятия решений относятся именно к использованию знаний.

Не менее важными, однако, являются и некоторые другие технологии, не вошедшие в список НС, в частности, семантические технологии и семантические вычисления, автономная робототехника, групповое и сценарное управление, интеллектуальные цифровые двойники и киберфизические системы, технологии Интернета вещей и технологии распределённого искусственного интеллекта, и т.д.

Современный уровень исследований и разработок в области использования знаний для конкретных технологий ИИ наглядно демонстрируется кривой зрелости технологий консалтинговой компании Gartner по состоянию на конец 2019 года. Она представлена на рис. 6.

**Искусственный интеллект завтра: Основные направления дорожной карты.** Индустрия полна оптимизма по части индустриального использования технологий ИИ. Этот оптимизм только возрастает вот уже в течение более 60 лет. Но если смотреть правде в глаза, то до настоящего времени индустриальные применения ИИ чрезвычайно редки, если вообще они существуют. Последнее утверждение чётко отражается на кривой зрелости технологий компании Gartner (рис. 6).



Рис. 6. Кривая зрелости технологий ИИ по версии компании Gartner на август 2019 г.

Если доверять информации, представленной на этой кривой, то имеется всего 3 технологии, которые могут выйти на плато продуктивной работы (в правой части кривой) в течение ближайших двух лет (до конца 2021 года). Это речевые технологии, роботизированное программное обеспечение для автоматизации процессов (проще – массовое роботизированное исполнение рутинных операций) и универсальные интеллектуальные ускорители вычислений, построенные на основе FPGA (от англ. *Field-Programmable Gate Array*) – программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Всем остальным технологиям до выхода на это плато потребуются 5–8 лет, а в настоящее время они все ещё находятся «на пути» к «впадине разочарования».

Однако эта кривая касается прогнозов технологий. Что касается основных трендов и актуальных направлений научного плана, то они, конечно, зависят от технологических потребностей, но не всегда ими определяются. Представленная выше факторизация базовых задач ИИ на задачи получения, представления и использования знаний позволяет систематизировать акту-

альные научные проблемы ИИ, от успешного решения которых зависят и технологические возможности ИИ в ближайшем будущем, в то числе, на горизонте НС. Эти проблемы для среднесрочной перспективы рассматриваются далее.

**Получение знаний.** В настоящее время новые проблемы и задачи получения знаний концентрируются вокруг проблем обработки больших данных с целью получения знаний. В этом направлении, судя по научной литературе и прогнозам специалистов актуальны следующие научные проблемы среднесрочной перспективы:

1. Робастные и вычислительно эффективные методы снижения размерности пространств представления больших данных, управляемые целями их обработки.

2. Робастные и вычислительно эффективные методы обработки больших сырых данных.

3. Методы противодействия злонамеренному воздействию на данные и на инструменты машинного обучения (англ. *Adversary Learning*).

4. Развитие русскоязычных семантических ресурсов и разработка семантических методов и инструментов обнаружения закономерностей и машинного обучения.

5. Обнаружение причинно-следственных зависимостей в данных и «объяснимый» ИИ.

6. Автоматическая разметка данных для их последующего использования в процессах обнаружения закономерностей и машинного обучения.

7. Моделирование данных – генерация данных с помощью компьютерных моделей.

8. Создание и развитие семантических моделей глубокого обучения (создание гибридных нейросетей).

9. Распределённые методы обнаружения закономерностей и машинного обучения с сохранением конфиденциальности данных в системах Интернета вещей.

10. Новые методы сбора и обработки экспертной информации для построения самоорганизующихся цифровых двойников в биологических и других плохо формализуемых предметных областях (например, цифровые двойники развития сельскохозяйственных культур).

Существуют и другие острые проблемы, актуальные для развития ИИ в ближайшем будущем. В приведённом списке не указан обширный спектр задач обнаружения знаний в системах, функционирование которых описывается многомерными временными рядами. Это особый и очень трудный класс задач, для которых эффективные методы извлечения знаний ещё предстоит создать. Задачи этого класса намного сложнее тех, с которыми работает сообщество специалистов в области получения знаний в настоящее время. К числу перспективных методов в этой области относят группу методов, которая объединяется общим названием *Модель латентных переменных для Гауссовских процессов* (англ. *Gaussian Process Latent Variable Model, GPLVM*). Это направление относительно молодое – считается, что эта модель предложена около 2009 года. Он активно разрабатывается в настоящее время.

**Представление знаний.** В области представления знаний вот уже в течение более 20 лет основной тренд определяется моделями Семантического веба – представлением знаний и данных в хранилищах RDF-триплетов с моделью онтологии на мета уровне. Как было отмечено ранее, этот вариант представления знаний имеет в настоящее время сильного конкурента в форме LPG-структур, которые положены в основу современных графовых СУБД. Весьма вероятно, что уже в среднесрочной перспективе (3–6 лет) графовые базы данных вытеснят RDF-системы, которые опираются на хранилища триплетов, поскольку графовые базы данных сейчас активно развиваются, причём в концепции программного обеспечения с открытым кодом, благодаря чему их развитие происходит достаточно быстро и даже с ускорением.

Однако в соперничестве RDF-моделей семантического веба и графовых баз данных не все так однозначно в настоящее время. Использование RDF-концепции имеет ряд несомненных преимуществ, среди которых следует, прежде всего, упомянуть простоту самой концепции и её понятность для сообщества разработчиков, возможность её простой интеграции с уже существующими базами знаний и данных, описанными на языке RDF и в реляционных структурах. Кроме того, её достоинство в том, что модель данных RDF может интегрировать в себе практически неограниченные семантические ресурсы Linked data web, которые содержат в большом количестве стандартные онтологии по огромному числу предметных областей и огромные базы данных триплетов. Но эта модель плохо работает с развивающимися базами знаний приложения. Языки RDF, RDF-Schema и OWL не предусматривают возможность отслеживания истории изменений описаний объектов или схемы, не удовлетворяют другим требованиям современных

индустриальных приложений. Кроме того, использование дескриптивной логики в сложных случаях не может гарантировать не только получение результата за заданное время, но и вообще получение результата, особенно при использовании версии *OWL Full*. Если же триплеты хранятся в реляционных таблицах, например, с двумя столбцами для каждого из отношений, то реакция на SPARQL-запросы может быть чрезвычайно медленной, если шаблон запроса включает в себя несколько типов отношений [15]. В этих структурах имеются и другие проблемы, например, относительно низкие выразительные возможности языков описания знаний.

Что касается аналогичной характеристики достоинств и недостатков LPG-структур (графовой модели баз данных), то по этому поводу нужно отметить следующее [15]. К числу их достоинств относятся, прежде всего, богатые выразительные способности благодаря возможности введения практически неограниченного числа атрибутов-свойств вершин и дуг размеченного графа свойств, притом, что эти атрибуты могут быть описаны практически любыми структурами данных. Структура данных, свободная от индексов, обеспечивает естественность структуры хранения и высокую скорость обработки запросов для баз данных больших объемов.

В работе [15] отмечаются и другие положительные стороны LPG-модели сильно связанных данных:

- возможность задание динамики модели описания и представления знаний и данных – описание эволюционирующих свойств и отношений в динамике развития объектов системы;
- поддержка многоаспектности модели описания и представления знаний об объекте – поддержание различных точек зрения на неё со стороны приложений;
- единая графовая модель представления знаний и данных, их аспектов и свойств, в которой имплементация случаев использования знаний и данных сводится к поиску на мета графе;
- множественность возможных таксономий объектов, заданных моделью графа знаний;
- многообразие типов и структур данных, которые могут быть представлены в графе при описании свойств объектов, представленных в системе. Они могут быть описаны атрибутами любых типов, включая слабо структурированные (xml, json и т. п.) и неструктурированные данные, например, CAD-модели, PDF-файлы, текстовые описания, изображения, ссылки на другие объекты и их свойства и т. п.
- версионность модели знаний и данных: возможность хранения истории всех изменений всех версий сущностей графовой модели знаний, которые происходили на всех этапах жизненного цикла этих сущностей.

В Gartner прогнозируют, что в ближайшие несколько лет масштаб применения графовых баз данных и соответствующих средств обработки информации будет удваиваться каждый год.

Однако в среднесрочной перспективе основная тенденция современного представления знаний и данных – это их представление в *едином семантическом пространстве*. В основу методов создания такого пространства могут быть положены идеи виртуализации знаний, которые аналогичные методам виртуализации данных [16]. Таким образом, разработка концепции, алгоритмов и программных средств реализации сервера виртуализации знаний, который обеспечивает единый унифицированный взгляд на данные и знания со стороны всех приложений системы является важнейшей задачей представления знаний в ИИ ближайшего будущего. Теоретически это вполне реализуемо и уже имеются отдельные частные случаи интеграции RDF- и LPG-структур знаний и данных в единое семантическое пространство.

**Использование знаний.** В части использования знаний перспективные задачи достаточно подробно перечислены на кривой зрелости технологий (рис. 6). Часть этих актуальных технологических разработок указана в НС [1]. Напомним, к ним относятся технологии компьютерного зрения, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальная поддержка процессов принятия решений. Однако большинство других задач и технологий использования знаний, которые были перечислены при характеристике современного состояния разработок, также подлежат дальнейшему развитию. Говоря кратко, задачи, которые в этом разделе упомянуты как актуальные задачи ближайшей и среднесрочной перспективы, формируют и актуальный список технологических проблем дорожной карты реализации НС.

Однако особое внимание следует обратить на развитие инфраструктурных компонент систем. Действительно, проблемы использования знаний во многом определяются новыми приложениями, в частности, приложениями класса Интернета вещей и кибер-физических систем.

Будущее этих систем принято связывать с их реализацией с использованием экосистем умных сервисов. Центральной компонентой таких реализаций является программно-коммуникационная инфраструктура – распределённая цифровая платформа, которая играет роль системной компоненты, трансформирующей множество её компонент, например, распределённых приложений, сенсоров, облачных ресурсов и сервисов, разделяемых ресурсов и сервисов, которые реализуются цифровой платформой и т. д. в единую «систему систем».

Кратко задачи экосистемы умных сервисов, интеллектуального ядра процессов координации и управления, должны состоять в том, чтобы (рис. 7):

- «погрузить» все компоненты в единое коммуникационное, информационное и семантическое пространство знаний и данных и обеспечить интерфейсы доступа к ним со стороны программ и пользователей;
- обеспечить совместимость компонент экосистемы по форматам данных и знаний при решении задач кооперации и координации поведения;
- поддерживать решение задач распределения, планирования, и оперативного управления общими ресурсами экосистемы в реальном времени;
- обеспечить узлы сети компонент экосистемы онлайн-доступом к облачным ресурсам и сервисам и к внешним источникам информации и
- обеспечить накопление и хранение данных, генерируемых приложениями, для машинного обучения с целью повышения качества их работы.

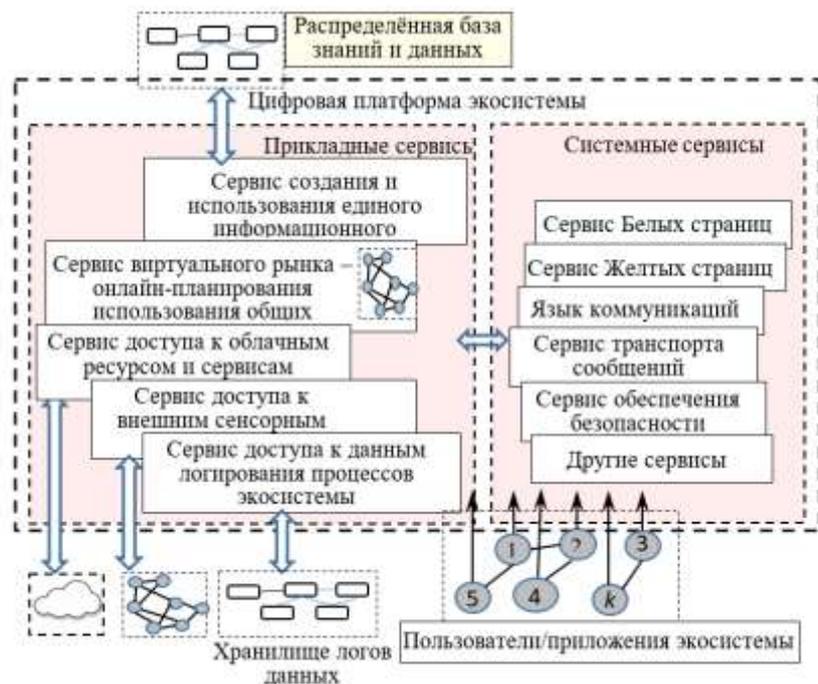


Рис. 7. Цифровая платформа экосистемы («системы систем») умных сервисов

**Заключение.** Искусственный интеллект в данной работе, как и в работе [2], рассматривается как наука из кластера наук, объединяемых общим названием «Информатика». В этом контексте ИИ трактуется авторами как раздел информатики, в котором принятие решений основывается на знаниях, а его научное содержание определяется методологиями, методами и алгоритмами работы со знаниями, а именно методами и алгоритмами получения, компьютерного представления и практического использования знаний в прикладных системах принятия решений. В работе проведён краткий анализ состояние исследований и разработок в области искусственного интеллекта на современном этапе в рамках базовых проблем в области ИИ, а именно в рамках проблем получения, компьютерного представления и практического использования знаний в прикладных системах принятия решений.

В одной работе трудно очертить даже рамки дорожной карты развития ИИ на среднесрочную перспективу. Эта наука является чрезвычайно многоаспектной, о чем свидетельствуют его обширные и разнообразные связи с другими науками, представленные на рис. 1, 2. Исследова-

ния и разработки в области проблем ИИ всегда будут носить междисциплинарный характер. Кроме того, разработка дорожной карты принципиально невозможна одним коллективом исследователей, сфера компетенций которого всегда будет охватывать небольшое число проблем ИИ, используемых методов и алгоритмов, а также будет ограничена по части опыта работы с приложениями. Разработка дорожной карты – это тема отдельного проекта, к выполнению которого нужно несколько опытных коллективов с обеспечением необходимого разнообразия по специализации. привлекать

По этой причине при анализе перспективных направления развития ИИ на среднесрочную перспективу для каждого из трёх крупных базовых разделов ИИ, а именно получение, представление и использование знаний, указано практически только по одной актуальной проблеме. Для раздела «получение знаний» указана группа задач, которая объединяется в одну крупную проблему, которую можно назвать «робастные методы обработки больших данных для получения знаний. Для раздела представление знаний в качестве актуальной указана проблема создания единого семантического пространства знаний и данных для сложных крупномасштабных систем. В области использования знаний такой проблемой по мнению авторов является создание инфраструктур как экосистем предметно независимого и специального назначения.

К сожалению, в НС рассмотрены лишь частные проблемы прикладного уровня.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» от 10 октября 2019 г. № 490. <http://www.kremlin.ru/acts/news/61785>. (дата обращения 24.07.2020)
2. **Городецкий В.И., Юсупов Р.М.** Искусственный интеллект: метафора, наука и информационная технология. *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2020;21(5):282–294. <https://doi.org/10.17587/mau.21.282-293>.
3. **Каляев И., Заборовский В.** Искусственный интеллект. От метафоры к техническим решениям. *Control Engineering*, Россия. Октябрь 2019. С. 78–83.
4. Искусственный интеллект. Википедия. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный\\_интеллект](https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный_интеллект) (дата обращения 24.07.2020)
5. **Новиков Д.А.** Кибернетика 2.0. // Проблемы управления, № 1, 2016, стр. 73–81.
6. **Юсупов Р.М.** К семидесятилетию отечественной информатики // Труды СПИИРАН, т. 18, № 1, 2019, стр. 5–29.
7. **Станкевич Л.А.** Когнитивные системы и роботы. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2019, 630 стр.
8. Очерки истории информатики в России. Редакторы-составители Д.А. Поспелов, Я.И. Фет. Научно-издательский центр ОИГМ СО РАН 1998.
9. **Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.** Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. СПб: Издательство «Лань», 2016. 324 с.
10. **Gruber T.R.** A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*. 5(2):199–220. Academic Press. 1993.
11. Среда описания Ресурса (RDF): Понятия и Абстрактный Синтаксис. W3C Рекомендация от 10 Февраля 2004. [https://www.w3.org/2007/03/rdf\\_concepts\\_ru/](https://www.w3.org/2007/03/rdf_concepts_ru/)
12. OWL, язык веб-онтологий. Руководство. Рекомендация W3C 10 февраля 2004.
13. **Baader F., Calvanese D., McGuinness D.L., Nardi D., Patel-Schneider P.F.** (Eds.). *The Description Logic Handbook Theory, Implementation and Applications*, 2d Edition, Cambridge University Press 2010. 624 p.
14. **Золин Е.** Дескрипционная логика (лекции). <http://pcs.math.msu.su/~zolin/dl/>
15. **Тушканова О.Н., Самойлов В.В.** Knowledge Net: модель и система накопления, представления и использования знаний и данных // Онтология проектирования, том 9, №1(31), 2019, С. 117–131.
16. **Van der Lans R.F.** *Data Virtualization: Selected Writings*. Lulu Press Inc., 2019.

V.I. Gorodetsky (Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg),

R.M. Yusupov (Saint Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

#### **Artificial Intelligence as a Science and Information Technology: Present and Future**

Artificial Intelligence is a particular science that is a part of informatics and computer science which main research subject is knowledge, and main research directions are methodologies, methods and algorithms for knowledge acquisition, knowledge representations and knowledge usage. The paper describes the core scientific content of these directions, outlines their present state-of-the arts and analyzes briefly new trend and hot topics of this science future research and developments that form the milestones of the roadmap for the forthcoming years.