

Классификация систем искусственного интеллекта

Кукшев Вячеслав Иванович — директор центра международных информационных стандартов Международного научно-исследовательского института проблем управления, кандидат технических наук.

Vyacheslav I. Kukshev — International Research Institute for Advanced Systems.

Классификация систем и технологий искусственного интеллекта (ИИ) крайне важна для понимания роли и места последнего в жизни общества, а также для решения практических задач анализа и синтеза систем ИИ.

Классификация помогает понять взаимодействие ИИ с такими фундаментальными направлениями технологического развития, как цифровая экономика, кибернетика, нейронные технологии, технологии знаний, киберфизические системы, многоагентные системы, промышленный Интернет вещей и др.

Большое значение классификация имеет также в процессе стандартизации систем, основанных на знаниях.

В статье рассмотрен подход к классификации систем ИИ на базе широкого круга оснований, главными из которых являются следующие:

- 1) система ИИ основана на знаниях;
- 2) система ИИ имеет функциональность кибернетической системы.



УДК 004.8

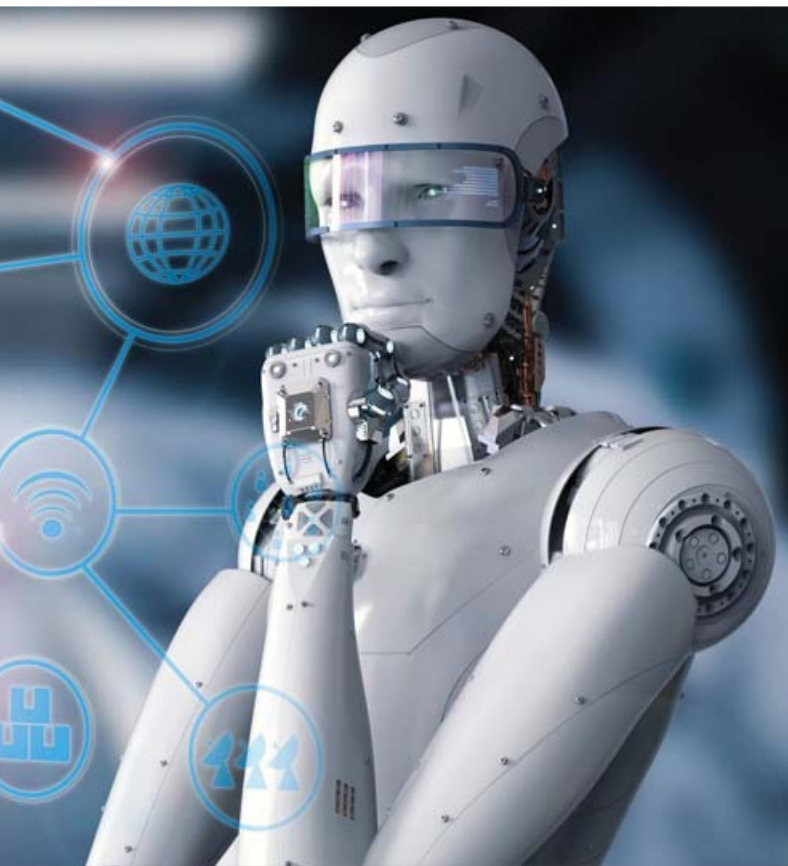
DOI: 10.33917/es-6.172.2020.58-67

В статье рассмотрена классификация систем искусственного интеллекта (ИИ). Роль ИИ существенно возросла в последнее время во всех сферах жизни. Применение ИИ в государственном управлении, производстве, медицине, военном деле, в социальной и иных сферах, обусловило ряд вопросов, связанных с определением понятия ИИ и классификацией систем ИИ. Такая классификация необходима для понимания роли ИИ в цифровой экономике. Большое значение классификация приобретает в условиях интенсивного развития международных стандартов систем ИИ и систем, построенных на знаниях (экспертных, нейронных, многоагентных, киберфизических систем и систем на основе промышленного Интернета).

Ключевые слова

Искусственный интеллект, классификация, знания, цифровая экономика, международные информационные стандарты.

➤ Классификация помогает понять взаимодействие ИИ с такими фундаментальными направлениями технологического развития, как цифровая экономика, кибернетика, нейронные технологии, технологии знаний и др.



Классификация имеет открытую структуру и может детализироваться и дополняться в ходе развития технологий искусственного интеллекта.

Определения

Определение понятий «система ИИ» или «дисциплина ИИ» обычно помогает концептуально определить набор базовых оснований для классификации.

Однако в настоящее время нет общепризнанного определения понятия «искусственный интеллект». Существуют несколько подходов к такому определению. Базовые постулаты определений связаны с рассмотрением (1) ИИ как системы на основе обработки знаний и (2) ИИ как кибернетической системы.

Эти подходы исторически тесно связаны, так как на разных этапах технологического развития система могла признаваться в качестве системы ИИ, а впоследствии ее функциональность представлялась как функциональность обычной кибернетической системы. Таким образом, формировались поколения систем ИИ. Исследования этих поколений еще впереди.

Пока же рассмотрим наиболее распространенные определения ИИ.

Кибернетическая система

Термин «кибернетика» ввел в научный оборот Андре-Мари Ампер, который в своем фундаментальном труде «Опыт о философии наук, или Аналитическое изложение естественной классификации всех человеческих знаний» (первая часть вышла в свет в 1834 г., вторая — в 1843 г.) определил кибернетику как науку об управлении

Classification of Artificial Intelligence Systems

The article considers the classification of Artificial Intelligence (AI) systems. The role of AI has increased significantly recently in all areas of life. The use of AI in public administration, in production, in medicine, in the military, in the social sphere, etc., raised a number of questions related to the definition of AI and classification of AI systems. Classification of AI is necessary to understand the role of AI in the digital economy. Classification becomes important in the context of intensive development of international standards for AI systems and knowledge-based systems (expert, neural, multi-agent, cyber-physical systems and systems based on the industrial Internet)

Keywords

Artificial intelligence, classification, knowledge, digital economy, international information standards.

➤ В настоящее время нет общепризнанного определения понятия «искусственный интеллект».

государством, которая должна обеспечить гражданам разнообразные блага.

В современном понимании — как наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе — термин впервые был предложен Норбертом Винером в 1948 г. [1].

Кибернетика включает изучение обратной связи черных ящиков и производных концептов, таких как управление и коммуникация в живых организмах, машинах и организациях. Она фокусирует внимание на том, как что-либо (цифровое, механическое или биологическое) обрабатывает информацию, реагирует на нее и изменяется или может быть изменено, чтобы лучше выполнять первые две задачи.

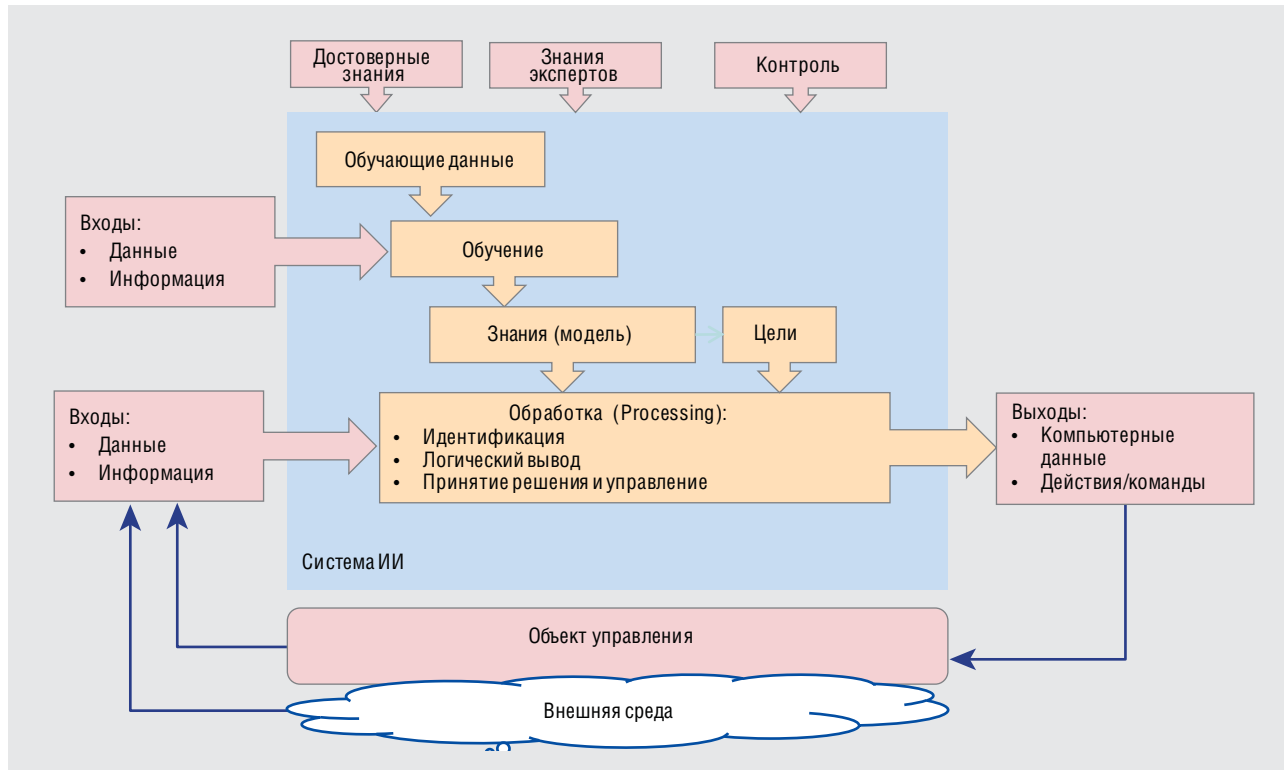
В советское время определение кибернетической системы дал академик В.М. Глушков [2]: «Кибернетическая система — множество взаимосвязанных объектов, называемых элементами системы, способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться информацией».

Искусственный интеллект

В настоящее время нет общепринятого определения понятия «искусственный интеллект». Синтез такого определения интенсивно осуществляется многими экспертами, в том числе представителями международных организаций по стандартизации.

Ниже проведены некоторые характерные определения ИИ с различными концептуальными подходами:

- ИИ есть способность проектируемой системы приобретать, обрабатывать, применять и адаптировать знания для достижения конкретных целей системы;
- ИИ есть способность инженерной системы обработки информации приобретать, обрабатывать и применять знания, хранящиеся в виде модели, для выполнения одной или нескольких заданных задач;
- искусственный интеллект: комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайда) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (в том числе то, в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных, анализу и синтезу решений [3];
- система искусственного интеллекта — это машинная система, которая может по заданной человеком группе целей формировать прогнозы, рекомендации или решения, реально или виртуально влияющие на окружающую среду [4];
- системы искусственного интеллекта — это программные (а возможно, и аппаратные) системы, разработанные людьми, которые учатся выполнять сложную цель, действуют в физическом или цифровом измерении, воспринимают окружающую среду посредством сбора данных, интерпретируют собранные структурированные или неструктурированные данные, рассуждают



на основе знаний или обрабатывают информацию, полученную из этих данных, и принимают решение о наилучших действиях для достижения данной цели;

• ИИ — это не только одна технология, а широкая программно-аппаратная платформа, включающая технологии (машинное обучение, глубокое обучение, представление знаний), которые могут быть применимы в разных областях в потенциально неограниченном числе приложений почти в каждой отрасли промышленности [5] (ANSI, *American National Standards Institute*).

Как научная дисциплина (по мнению экспертов Европейской комиссии) ИИ включает в себя несколько подходов и методов, таких как:

- машинное обучение (глубокое обучение и обучение с подкреплением конкретными примерами);
- машинное мышление (которое включает в себя прогнозирование, планирование, представление знаний и рассуждение, поиск и оптимизацию);
- робототехника/киберсистема, которая включает в себя управление, восприятие, датчики и исполнительные механизмы;

- интеграция всех других методов и подсистем в киберфизические системы.

Функциональная структура ИИ

Функциональный взгляд на систему искусственного интеллекта, который включает приобретение и применение знаний, показан на рис. 1.

Основными функциональными особенностями систем ИИ являются:

- обработка знаний (приобретение, обучение, структурирование, формирование модели знаний);
- интеллектуальная поддержка функционирования контура управления объектами реального и виртуального миров.

Функциональная структура дает общее представление о том, как системы искусственного интеллекта функционируют в замкнутом контуре управления.

ИИ-системы учатся на знаниях, используют обучение для решения следующих функциональных задач:

- обработка текущих измерений;

- приобретение новых знаний;
- поддержка жизненного цикла системы;
- идентификация состояния объекта управления и внешней среды (включая обработку изображений);
- поддержка принятия решений, включая прогнозы;
- выполнение действий, основанных на принятых решениях;
- оценка вероятности достижения поставленных целей и рисков.

Современные системы искусственного интеллекта имеют ряд отличительных особенностей по сравнению с обычными кибернетическими системами.

Отличительные особенности современных систем ИИ

Современные системы ИИ обладают рядом существенных особенностей.

1. Технологии обработки знаний:

- совершенствование методов приобретения и обработки знаний на всех этапах жизненного цикла систем ИИ;
- новые технологии представления и использования знаний в приложениях ИИ, особенно в инженерных системах (расширяемые знания и стандарты) [6];
- расширение базы знаний с «бесшовным» подключением новых доменов знаний [7].

2. Технологии ИИ как кибернетической системы:

- новые технологии измерений, идентификации, моделирования (обработка изображений, нейронные технологии, *Big Data*, IoT);
- иерархическое перестроение целей — формирование целеуказаний (в рамках, одобренных человеком);
- поддержка принятия решений в сложной многоконтурной системе управления;
- формирование/корректировка контура управления (синтез нового контура управления с набором объектов, процессов, ресурсов, информационных потоков и моделей обработки знаний);
- оценка вероятности достижения поставленных целей;
- оценка внутреннего состояния системы (контроль, диагностика, идентификация, оценка соответствия требованиям);
- поддержка интероперабельности систем на основе моделей знаний;
- поддержка взаимодействия в многоагентных системах и киберфизических системах, системах *Big Data* и IoT.

➤ Представленная классификация систем искусственного интеллекта будет, несомненно, детализироваться, развиваться и уточняться по мере развития технологии искусственного интеллекта.

Это далеко не полный перечень требований к системам ИИ. Наиболее сложные требования в настоящее время предъявляются к моделям знаний и интероперабельности для поддержки инженерных разработок по жизненному циклу изделий (оценка целей, проектирование, разработка, закупки, эксплуатация, вывод из эксплуатации) [8].

Информационные стандарты представления знаний и интероперабельности для систем ИИ будут находиться в центре внимания в ближайшем будущем [7].

При этом классификация систем ИИ имеет большое значение для оценки сложности и трудоемкости разработки систем интеллектуальной поддержки инженерных разработок по жизненному циклу.

Принципы классификации систем искусственного интеллекта

Искусственный интеллект как область знаний охватывает все области человеческой деятельности, включая информатику, математику, философию, психологию, термодинамику, лингвистику, здравоохранение, инженерию, экономику, когнитивные науки и др.

Эти знания используются в таких приложениях, как системы управления, системы принятия решений, многоагентные системы, системы обработки естественного языка, распознавание образов, распознавание речи, обработка знаний, интеллектуальный анализ данных, логистика и др.

Классификация должна отражать существенные (значимые) характеристики системы искусственного интеллекта (СИИ), включая особенности контура управления, в рамках которого используются СИИ и технологии построения и использования знаний.



В настоящей работе установлена схема классификации, отражающая основные особенности систем ИИ для решения прикладных задач и помогающая определить направления их стандартизации (рис. 2).

Схема классификации базируется на ключевых, с точки зрения стандартизации, основаниях классификации.

Каждое из рассматриваемых оснований представлено в виде нескольких классов верхнего уровня. В большинстве случаев более детальную иерархию классов или принципы классификации можно найти по ссылкам на соответствующие работы, стандарты или документы.

Базовые классы СИИ целесообразно группировать на основе следующих принципов:

- 1) по классам и категориям объектов, в управлении которыми участвует СИИ;
- 2) по технологиям построения, приобретения и использования знаний;
- 3) по функциям, которые выполняет СИИ в контуре управления;
- 4) по методам и технологиям, используемым в СИИ;

5) по методам и средствам взаимодействия СИИ с другими системами и человеком-оператором (интероперабельности).

Эти подходы к классификации являются основными. Каждый из них может иметь иерархическую структуру.

Дополнительные классификации могут быть связаны со специальными требованиями к объектам, процессам, контуру управления, архитектуре, ресурсам с учетом окружающей среды (интероперабельность, нормы регулирования, безопасность, действия стандартов, этические требования, надежность, отказоустойчивость, условия внешней среды и т.д.).

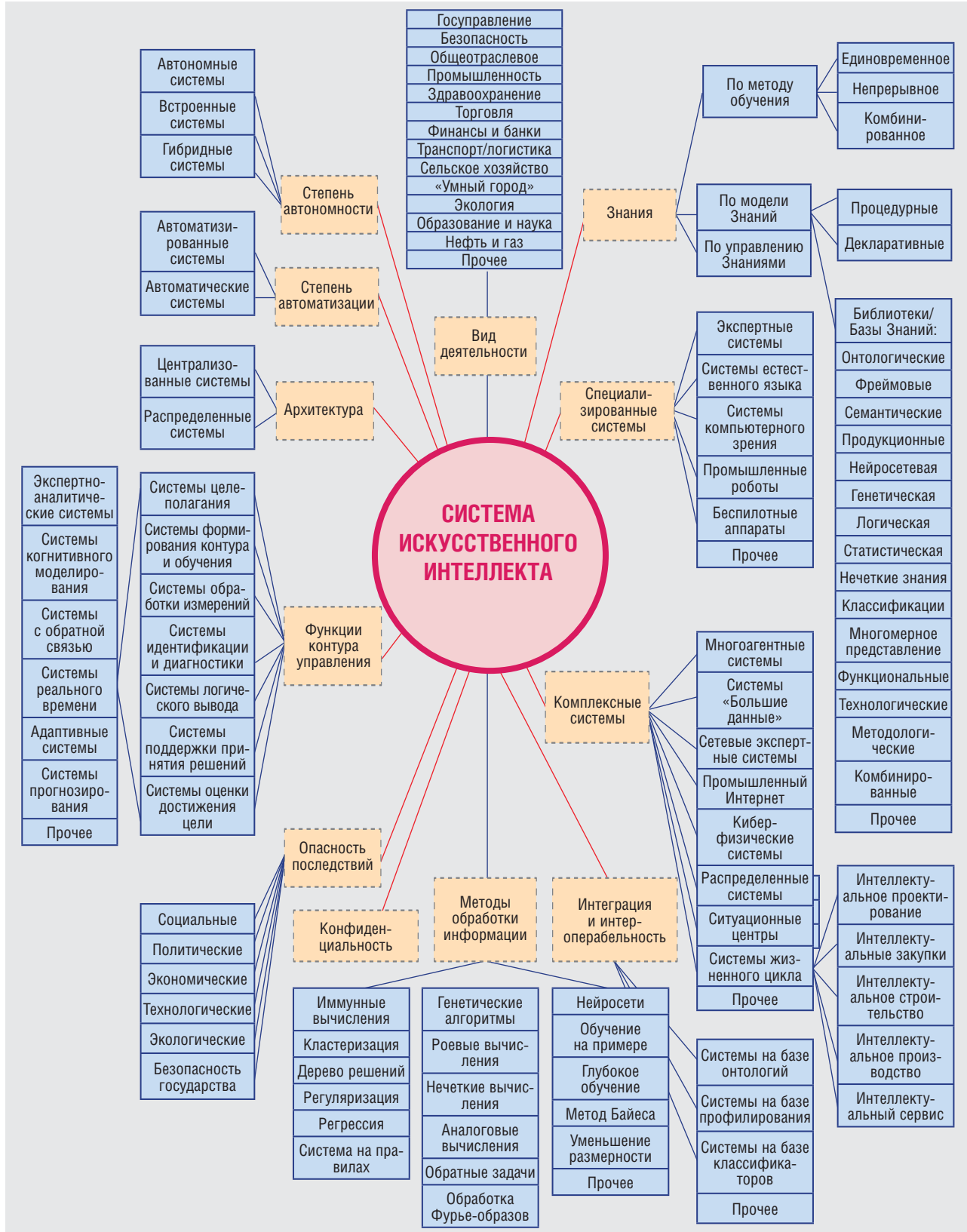
Классификация, связанная с описанием каждого класса, представляет собой перечень объектов, соответствующих данному классу.

Классы, к которым могут быть отнесены СИИ, не обязательно исключают друг друга. Для некоторых СИИ может быть применен только один из классов, а для других — несколько.

Каждая конкретная позиция классификации может быть детализирована как по уже суще-

Рисунок 2

Схема классификации СИИ



ствующим классификациям, так и по сложившейся практике.

В стандарте рассмотрены следующие основания для классификации:

- 1) по степени автономности;
- 2) по степени автоматизации;
- 3) по архитектурному принципу;
- 4) по структуре и процессам обработки знаний:
 - по модели знаний;
 - по управлению знаниями;
 - по методу обучения;
- 5) по специализации систем ИИ:
 - специализированные (используют единый домен знаний);
 - комплексные (используют множество доменов знаний);
- 6) по методам обработки информации;
- 7) по функциям в контуре управления;
- 8) по методам достижения интеграции и интероперабельности СИИ;
- 9) по опасности последствий;
- 10) по конфиденциальности;
- 11) по видам деятельности;

12) по взаимодействию с человеком-оператором.

Возможно расширение видов классификации систем ИИ (см. *таблицу*).

Возможно дополнение классификации СИИ как по новым основаниям, так и путем детализации классов (подклассов), например классификация, заданная в стандарте ОКВЭД.

Классы можно характеризовать различными аспектами или подклассами, например:

- наличием/отсутствием внешнего наблюдения, осуществляемого либо человеком-оператором, либо другой автоматизированной системой;
- степенью понимания системы;
- степенью реактивности/отзывчивости;
- уровнем устойчивости функционирования;
- степенью надежности и безопасности;
- видом аппаратной реализации;
- степенью приспособляемости к внутренним или внешним изменениям;
- способностью оценивать свою собственную работоспособность/пригодность;
- способностью принимать решения и планировать.

Схема классификации систем искусственного интеллекта

Основания для классификации	Классы
По степени автономности	Автономные системы
	Встроенные системы
	Гибридные системы
По степени автоматизации	Автоматизированные системы
	Автоматические системы
По архитектурному принципу	Централизованные системы
	Распределенные системы
По видам деятельности	Государственное управление
	Безопасность
	Общественное регулирование
	Промышленность
	Здравоохранение
	Торговля
	Финансы и банки
	Транспорт и логистика
	Сельское хозяйство
	«Умный город»
	Экология
	Образование и наука
	Нефть и газ
	Прочее
	По функциям контура управления
Системы реального времени	
Адаптивные системы	
Системы формирования цели (системы целеполагания)	
Системы формирования контура управления и обучения	
Системы обработки измерений	
Системы идентификации и диагностики	
Системы когнитивного моделирования	
Системы логического вывода	
Системы принятия (поддержки) решений	
Экспертно-аналитические системы	
Системы оценки достижения цели	
Ситуационные центры	
Системы прогнозирования	
Прочее	
По специализации систем	Экспертные системы (управление знаниями)
	Системы естественного языка
	Системы компьютерного зрения
	Промышленные роботы
	Беспилотные аппараты
По комплексности и сложности систем	Прочее
	Многоагентные системы
	Системы «Большие данные» (Big Data)
	Промышленный Интернет вещей
	Киберфизические системы
	Системы жизненного цикла
	Системы сетевой экспертизы
	Распределенные системы управления
	Система распределенных ситуационных центров
	Прочее

Примечания

¹ Классификация в соответствии с категорированием объектов критической информационной инфраструктуры: социальной значимости (здоровье и жизнь людей); политической значимости (причинение ущерба государству); экономической значимости (ущерб субъектам и/или бюджетам); экологической значимости (воздействие на окружающую среду); значимости для обороны/безопасности, правопорядка.

² Классификация соответствует следующим классам конфиденциальности: (0) открытая информация; (1) внутренняя информация; (2) конфиденциальная информация; (3) секретная информация.

Основания для классификации	Классы
По методам обработки информации	Нейросети
	Обучение на примере
	Эволюционные и генетические алгоритмы
	Муравьиные алгоритмы
	Иммунные вычисления
	Глубокое обучение
	Роевые вычисления
	Метод Байеса
	Уменьшение размерности
	Природные вычисления
	Мягкие вычисления
	Кластеризация
	Дерево решений
	Регуляризация
	Аналоговая обработка данных
	Обработка Фурье-образов
	Регрессия
	Решение обратных задач
	Система правил
Прочее	
По управлению знаниями, моделям и методам обучения	Процедурные
	Декларативные
	Онтологические
	Семантические
	Производные
	Фреймворки
	Нейросетевая
	Генетическая
	Логическая
	Статистическая
	Нечеткие знания
	Классификации
	Многомерное представление (3D, 4D)
	Функциональные
	Технологические
Методологические	
Комбинированное обучение	
Непрерывное обучение	
Единовременное обучение	
Прочее	
По методам достижения интеграции и интероперабельности	Системы с интеграцией на базе онтологий
	Системы на базе профилирования
	Системы, использующие классификаторы
	Прочее
По опасности последствий ¹	Социальная
	Политическая
	Экономическая
	Технологическая
	Техногенная
	Экологическая
	Безопасность государства
По конфиденциальности ²	Уровень конфиденциальности (0–3)

Классификация может быть дополнена классами, приведенными в системах стандартизации.

Выводы

Расширение взаимодействия всех видов знаний, искусственного интеллекта в рамках цифровой экономики, конечно же, потребует широкого развития классификации и стандартизации всех аспектов, связанных с системами ИИ.

Представленная классификация систем искусственного интеллекта будет, несомненно, детализироваться, развиваться и уточняться по мере развития технологии искусственного интеллекта. В первую очередь это коснется технологий приобретения, представления и применения знаний в системах управления практически для всех сфер деятельности человека [9].

ПЭС 20069 / 24.06.2020

Источники

1. Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Hermann & Cie Editeurs, Paris, The Technology Press, Cambridge, Mass., John Wiley & Sons Inc., New York, 1948.
2. Энциклопедия кибернетики: В 2 т. / Под ред. В.М. Глушкова. Т. 1. Киев, 1974.
3. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года») [Электронный ресурс] // Департамент информационных технологий и цифро-

вого развития Курганской области. URL: <https://it.kurganobl.ru/Указ%20Президента%20РФ%20от%2010.10.2019%20№%20490.pdf>.

4. *Artificial Intelligence in Society* [Электронный ресурс] // OECD. 2019. June, 11. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/eedfee77-en/index.html?itemId=/content/publication/eedfee77-en>.

5. American National Standards Institute [Сайт]. URL: <https://www.ansi.org>.

6. Кукшев В. Международные стандарты цифровой экономики (ISO/IEC). Российский опыт [Электронный ресурс] // XIV Международная конференция «Нефтегаз-стандарт-2018». Екатеринбург, 2018. URL: https://238923.selcdn.ru/tm_production/media/files/events/extra_data/153/presentation/3_Kukshev_VI.pdf.

7. Кукшев В. Цифровые стандарты и международная практика каталогизации [Электронный ресурс]. Доклад на заседании Комитета по техническому регулированию, стандартизации и качеству Санкт-Петербургской торгово-промышленной палаты. Санкт-Петербург, 2019. URL: https://238923.selcdn.ru/tm_production/activities/Vf8JIAml2ZPizh2faQGWgCe8IGZUWv58Y3ixHeAb.

8. Кукшев В. Эффективная информационная стратегия и международные стандарты [Электронный ресурс] // VI Международная конференция «ИТ-Стандарт». М.: МИРЭА, 2015. URL: <http://www.itstandard.ru/151/Кукшев.pdf>.

9. Коды ОКВЭД. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (утв. приказом Росстандарта от 31 января 2014 г. № 14-ст (ред. от 12 февраля 2020 г.)) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/

References

1. Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Hermann & Cie Editeurs, Paris, The Technology Press, Cambridge, Mass., John Wiley & Sons Inc., New York, 1948.
2. *Entsiklopediya kibernetiki* [Encyclopedia of Cybernetics]. V 2 t. Pod red. V.M. Glushkova, vol. 1, Kiev, 1974.
3. *Ukaz Prezidenta RF ot 10 oktyabrya 2019 g. N 490 "O razvitiu iskusstvennogo intellekta v Rossiiskoi Federatsii" (vmeste s "Natsional'noi strategiei razvitiya iskusstvennogo intellekta na period do 2030 goda")* [Decree of the RF President of October 10, 2019 No. 490 "On the Development of Artificial Intelligence in the Russian Federation" (together with the "National Strategy for the Development of Artificial Intelligence (NSDAI) for the period until 2030"). Department informatsionnykh tekhnologii i tsifrovogo razvitiya Kurganskoi oblasti, available at: <https://it.kurganobl.ru/Указ%20Президента%20РФ%20от%2010.10.2019%20№%20490.pdf>.
4. *Artificial Intelligence in Society*. OECD, 2019, June, 11, available at: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/eedfee77-en/index.html?itemId=/content/publication/eedfee77-en>.
5. American National Standards Institute, available at: <https://www.ansi.org>.
6. Kukshev V. *Mezhdunarodnye standarty tsifrovoy ekonomiki (ISO/IEC). Rossiiskii opyt. XIV Mezhdunarodnaya konferentsiya «Neftegazstandart-2018». Ekaterinburg, 2018* [International Standards for the Digital Economy (ISO/IEC). Russian Experience: XIV International Conference "Neftegazstandart-2018". Yekaterinburg, 2018], available at: https://238923.selcdn.ru/tm_production/media/files/events/extra_data/153/presentation/3_Kukshev_VI.pdf.
7. Kukshev V. *Tsifrovye standarty i mezhdunarodnaya praktika katalogizatsii: Doklad na zasedanii Komiteta po tekhnicheskomu regulirovaniyu, standartizatsii i kachestvu Sankt-Peterburgskoi torгово-promyshlennoi palaty. Sankt-Peterburg, 2019* [Digital Standards and International Practice of Cataloging: Report Before the Committee for Technical Regulation, Standardization and Quality of the St. Petersburg Chamber of Commerce and Industry. Saint Petersburg, 2019], available at: https://238923.selcdn.ru/tm_production/activities/Vf8JIAml2ZPizh2faQGWgCe8IGZUWv58Y3ixHeAb.
8. Kukshev V. *Effektivnaya informatsionnaya strategiya i mezhdunarodnye standarty: VI Mezhdunarodnaya konferentsiya "IT-Standard"* [Effective Information Strategy and International Standards: "IT-Standard", VI International Conference]. Moscow, MIREA, 2015, available at: <http://www.itstandard.ru/151/Kukshev.pdf>.
9. *Kody OKVED. Obshcherossiiskii klassifikator vidov ekonomicheskoi deyateli'nosti (utv. Prikazom Rosstandarta ot 31 yanvarya 2014 g. N 14-st (red. ot 12 fevralya 2020 g.))* [OKVED Codes. All-Russian Classifier of Types of Economic Activity (Approved by Order of Rosstandart Dated January 31, 2014 No. 14-st (as Amended on February 12, 2020))]. Konsul'tantPlyus, available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/