

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

Обзорная статья

УДК 004.8

ББК 32.813

С 37

DOI: 10.53598/2410-3225-2023-1-316-21-30

Методологические основы системного интеллекта

(Рецензирована)

Владимир Сергеевич Симанков¹, Стефан Владимирович Онищенко²

¹ Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия, vs@simankov.ru

² Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия, osv@adygnet.ru

Аннотация. В настоящее время понятие искусственного интеллекта (ИИ) получает все более широкое распространение и развитие, но возникает сложность в точном определении данного понятия. Обобщенно искусственный интеллект подразделяют на две больших категории: «слабый ИИ», подразумевающий создание экспертных систем, систем поддержки принятия решений, баз знаний, а также систем распознавания образов. Другой – «сильный ИИ», направленный на создание систем, ориентированных не просто на обработку входной информации, но и обладающих частью когнитивных свойств, присущих человеческому мозгу, в результате чего система не только оперирует данными, но и частично понимает их смысл. Параллельно данным формулировкам возникает определение гибридных интеллектуальных систем, которые могут интерпретироваться с двух позиций: как системы, основанные на комбинации более двух методов искусственного интеллекта, и как системы, основанные на синтезе методов искусственного интеллекта и естественного интеллекта человека. В связи с этим в данной работе предлагается произвести классификацию подходов организации искусственного интеллекта, рассмотреть этапы развития парадигмы принятия решений и сформулировать определение системного интеллекта, позволяющего объединить разнообразные структуры организации вычислительных систем с использованием различных интеллектуальных агентов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, гибридный интеллект, гибридные интеллектуальные системы, системный интеллект

Review Article

Methodological foundations system intelligence

Vladimir S. Simankov¹, Stefan V. Onishchenko²

¹ Kuban State University of Technology, Krasnodar, Adyghe State University, Maikop, Russia, vs@simankov.ru

² Adyghe State University, Maikop, Russia, osv@adygnet.ru

Abstract. Currently, the concept of artificial intelligence is becoming more widespread and developed, but there is a difficulty in accurately defining this concept. In general, artificial intelligence is divided into two large categories: “weak AI”, which implies the creation of expert systems, decision support systems, knowledge bases, as well as image recognition systems, and “strong AI”, aimed at creating systems focused not just on processing input information, but also having part of the cognitive properties inherent in human the brain, as a result of which the system not only operates with data, but also partially understands their meaning (as an example, natural language processing systems can be cited, which can determine not only the meaning of the text but also form a

review of its emotional coloring). In parallel with these formulations, there is a definition of hybrid intelligent systems that can be interpreted from two positions: as systems based on a combination of more than two artificial intelligence methods and as systems based on the synthesis of artificial intelligence and human natural intelligence methods. In this regard, in this paper it is proposed to classify the approaches of the organization of artificial intelligence, consider the stages of development of the decision-making paradigm and formulate a definition of system intelligence, which allows combining various structures of the organization of computing systems using various intelligent agents.

Keywords: *artificial intelligence, hybrid intelligence, hybrid intelligent systems, system intelligence*

Введение

Поскольку в настоящее время сфера информационных технологий является крайне востребованной областью научных исследований, то ее основные положения и терминология зачастую реализуются в содержании государственных стандартов. Не стала исключением и область, связанная с использованием и разработкой систем на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ). Так, в 2019 году был издан указ Президента РФ «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [1], согласно которому была принята национальная стратегия по развитию технологий ИИ в России до 2030 года. Она направлена на развитие технологий и методов ИИ, необходимых для обеспечения национальных интересов и реализации стратегических приоритетов. Программа развития ИИ подчеркивает необходимость развития комплексных подходов к организации систем ИИ, разработку новых видов и алгоритмов, лежащих в основе функционирования интеллектуальных систем различных типов.

В 2020 году, в рамках реализации стратегии развития технологий искусственного интеллекта, в Российской Федерации был впервые принят ГОСТ, классифицирующий системы ИИ (ГОСТ Р 59277-2020) [2]. Согласно данному положению, была введена классификация систем искусственного интеллекта, согласно которой выделяется множество видов информационных систем, базирующихся на технологиях искусственного интеллекта.

Еще одним стандартом, принятым в том же году, является ГОСТ Р 59276-2020 [3], который закрепляет определения сильного и слабого искусственных интеллектов, лежащих в основе любой интеллектуальной системы.

ГОСТ Р 59385–2021 [4] рассматривает ряд определений, связанных с системами ситуационной видеоаналитики, основанных на использовании технологий искусственного интеллекта, и является еще одним нормативным актом, разработанным в ходе реализации стратегической программы по развитию ИИ.

Из рассмотренных государственных актов можно выделить следующие главные определения в области искусственного интеллекта:

– искусственный интеллект – комплекс технологических решений, способных осуществить имитацию когнитивных функций человека и получать при выполнении результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека [1];

– сильный (общий) искусственный интеллект – способность системы подобно человеку мыслить, взаимодействовать, адаптироваться к изменению условий и решать прочие задачи из области обработки информации, ассоциирующиеся с естественным интеллектом человека [3];

– слабый (узкий) искусственный интеллект – способность информационной системы частично имитировать человеческое сознание, в результате чего удается достичь автоматизации определенных трудоемких технологических задач;

– технологии искусственного интеллекта – технологии, основанные на использовании искусственного интеллекта (компьютерное зрение, обработка естественного язы-

ка, распознавание и синтез речи, интеллектуальная поддержка принятия решений, перспективные методы искусственного интеллекта) [1, 2].

Несмотря на то, что данные стандарты охватывают широкий спектр различных видов интеллектуальных систем, в настоящее время они не вводят четкого определения гибридных систем и гибридного подхода к организации искусственного интеллекта, являющихся последним достижением в данной области знания.

Однако отдельно определено понятие экспертных систем, использующих в своем составе наборы правил, направленных на решение слабо формализуемых задач, при тесном взаимодействии с внешними интеллектуальными агентами (экспертами) [5]. Количество данных агентов может быть различным, что в конечном итоге может привести к возникновению коллективного интеллекта [6]. В таком случае возникающий коллективный интеллект получает новые свойства, характерные для адаптивного поведения, такие как сотрудничество, конкуренция и достижение определенного консенсуса.

Продолжением развития экспертных систем могут стать гибридные интеллектуальные системы, сочетающие несколько различных интеллектов, в связи с чем в данной работе предлагается рассмотреть основные термины в области гибридных интеллектуальных систем и определить понятие системного интеллекта, в перспективе позволяющего оценить мощность каждого из интеллектов в системе и осуществить его формализацию и оптимизацию.

Материалы и методы

В настоящий момент системы на основе гибридного интеллекта являются перспективными методами искусственного интеллекта, которые могут стать следующим витком развития интеллектуальных систем за счет совместного использования экспертных систем и коллективного разума интеллектуальных агентов с привлечением механизмов принятия решений в условиях высокой неопределенности и высокой динамики работы системы.

В связи с этим предлагается рассмотреть существующие работы по направлению развития гибридных интеллектуальных систем и обозначить основные определения данного термина.

Существует два основных подхода в определении гибридных интеллектуальных систем:

1. Гибридные интеллектуальные системы как объединение нескольких методов искусственного интеллекта [7, 8];
2. Гибридный интеллект как синтез естественного интеллекта человека и искусственного интеллекта информационной системы [9, 10].

Термин «гибридные интеллектуальные системы» (ГиИС) появился в 1992 году, и он подразумевал под собой совместное использование различных методов, таких как: экспертные системы, нейронные сети, нечеткая логика и эволюционные алгоритмы [11]. Существует ряд работ [12–15], где авторы говорят о создании ГиИС именно с позиции этой концепции.

Авторы этих работ приводят следующую классификацию ГиИС:

- однокомпонентные системы, использующие одно из средств искусственного интеллекта;
- многокомпонентные системы, использующие совокупность средств искусственного интеллекта, объединенных в единую вычислительную модель.

При этом сами ГиИС в зависимости от архитектуры разделяют на: комбинированные, интегрированные, объединенные и ассоциативные (см. рис. 1 [16]).

Согласно второму определению гибридной интеллектуальной системы, в ее ос-

нове находится гибридный интеллект, основанный на концепции синтеза методов взаимодействия искусственного и естественного интеллектов [9, 10], а также синтеза эффективных компьютеризированных систем адаптивного взаимодействия людей не только между собой, но и с вычислительным устройством [17].

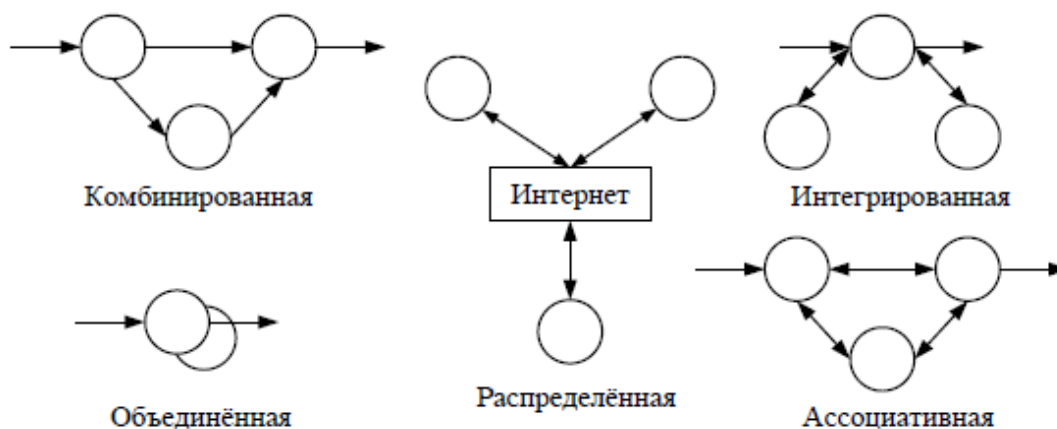


Рис. 1. Архитектуры гибридных интеллектуальных систем

Fig. 1. Architectures of hybrid intelligent systems

Авторы, придерживающиеся данной концепции, утверждают, что оптимальным вариантом развития вычислительных средств является создание и проектирование человеко-машинных вычислительных систем (ЧСВМ) с применением принципов самоорганизации с учетом опыта и эволюции естественного интеллекта с использованием принципа взаимной адаптации, являющейся одним из признаков гибридного интеллекта.

Два этих различных определения являются корректными и могут совместно существовать и использоваться, но при этом гибридная интеллектуальная система как синтез искусственных и естественных интеллектов является наиболее перспективным и интересным направлением в развитии информационных систем.

На основе того, что информационная система может содержать несколько видов интеллектуальных агентов, отличающихся между собой внутренней архитектурой и даже природой, можно ввести понятие системного интеллекта, позволяющее объединить в единое целое различные виды интеллектов, используемых в системе.

Таким образом, системный интеллект может быть определен как объединение искусственного и естественного интеллектов, которыми обладает система для снижения неопределенности и принятия решений. При этом использование такого интеллекта в рамках информационной системы позволит реализовать наиболее подходящую конфигурацию сочетаний различных методов искусственного интеллекта и различных категорий экспертов, в результате чего можно достичь наиболее оптимального режима функционирования системы в рамках конкретного класса решаемых задач.

Возвращаясь к различным типам гибридных интеллектуальных систем, справедливо отметить, что системный интеллект может быть определен и для систем, основанных на взаимном использовании нескольких видов искусственного интеллекта, а не только на механизме синтеза ИИ и естественного интеллекта человека. В результате его оптимизации по типу решаемой задачи можно добиться снижения уровня неопределенности в рамках вычислительной системы большой сложности, что благоприятно влияет на процесс формирования верного решения.

Существует исследование [18], авторы которого создают метрику для определения системного интеллекта. Однако их задача связана только с рассмотрением возможностей оптимизации некоторой системы (в частности, системы массового обслужива-

ния) посредством вознаграждений и штрафов. В результате появляется потенциал для улучшения производительности системы, что позволяет оптимизировать «системный» интеллект. Авторы работы смогли определить мощность интеллектуальной составляющей системы для определения наивысшего возможного уровня «системного интеллекта», что несколько отличается от введенного нами определения, несмотря на то, что в данном цикле принимает участие человек. В представленном исследовании человек выступает лишь в роли активного пользователя системы, но никак ни эксперта, находящегося в постоянном и тесном взаимодействии с самой системой.

Поскольку подобное объединение интеллектов может подразумевать синтез естественного интеллекта человека и искусственного интеллекта системы, необходимо рассмотреть основные различия между этими явлениями.

Для определения различий между понятиями естественного и искусственного интеллекта необходимо рассмотреть перечни свойств, предложенные автором работы [19] для естественного интеллекта, и свойств, сформулированных для искусственного интеллекта.

Свойства естественного интеллекта:

1. Имеется способность к рассуждению и проведению рефлексии;
2. Существует способность к усвоению внеличных знаний;
3. Имеется способность к генерации личностных знаний и накопленного за период жизни опыта;
4. Способность оценки ситуации с точки зрения так называемых «духовных и нравственных» ценностей;
5. Наблюдается способность к самоорганизации своих собственных знаний на основе фальсификации и верификации;
6. Имеется познавательное любопытство, выражающееся в постановке вопросов для теоретического уменьшения неопределенности в знаниях;
7. Способность к комплексному рассмотрению ситуации;
8. Способность к интуиции.

Свойства, присущие искусственному интеллекту:

1. Способность действовать автоматически, а также способность осуществления имитации психологии оценки и понимания протекающей ситуации;
2. Способность имитации механизмов так называемого «нечеткого мышления»;
3. Имитировать модельное восприятие и модельно-целостное понимание структур, объектов процессов и явлений;
4. Строить цепочки решений и планы поведения в имитирующем временном пространстве;
5. Имитировать понятийное и образное мышление человека, учитывая четкие и нечеткие варианты;
6. Иметь способность к трансформации и упорядочиванию данных из внешних сред, извлекать целевую информацию, опираясь на статистическое программирование эмпирических данных.

Таким образом, формируется два основных концепта, состоящих из таких понятий, как искусственный и естественный интеллект, первый из которых имеет имитационную сущность [20].

Поскольку неотъемлемой частью гибридной интеллектуальной системы на основе системного интеллекта является процесс принятия решений, рассмотрим парадигму принятия решений, которая может быть разбита на 5 этапов, представленных на рисунке 2.

Наибольший интерес представляет гибридная система, основанная на синтезе искусственного и естественного интеллектов, где роль искусственного интеллекта за-

ключается в обработке больших массивов входной информации и построении некоторых выводов и рекомендаций, поступающих следующему уровню интеллектуальных агентов – экспертам-аналитикам. В результате этого человек или группа людей могут провести оценку полученных результатов, рассмотрев их точность и корректность, после чего должна быть организована обратная связь с интеллектуальной системой, чтобы была возможность произвести коррекцию результатов, необходимую для улучшения следующих выводов результатов.

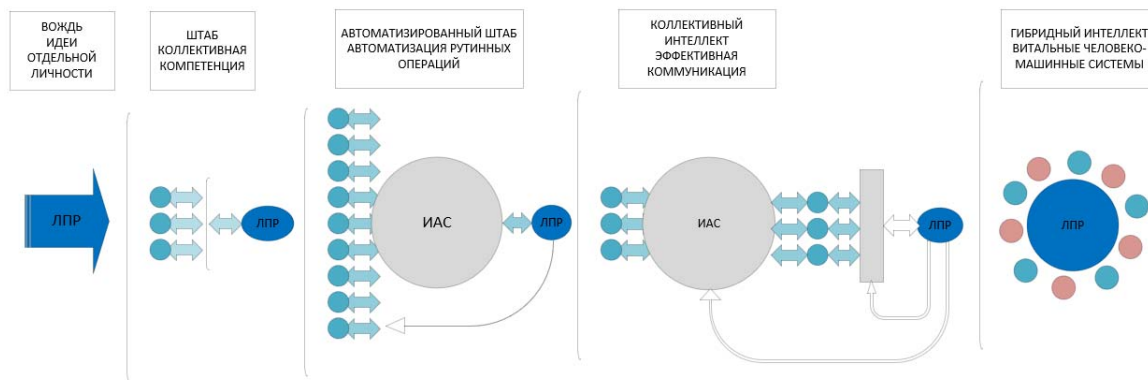


Рис. 2. Эволюция парадигм принятия решений

Fig. 2. Evolution of decision making paradigms

При организации такого подхода удастся объединить возможности вычислительного устройства, обладающего высокой производительностью и скоростью обработки данных, возможности человеческого разума по формированию конкретных решений, в том числе и на основе интуитивного подхода, который может оказаться более результативным в условиях жесткого ограничения времени и неопределенности интерпретируемых результатов, получаемых с выхода вычислительной системы. При этом важным моментом является то, что суммарная интеллектуальная мощность не будет определена как простая аддитивная сумма мощностей всех интеллектуальных агентов. При подобном синтезированном взаимодействии возникнет синергетический эффект [21], в результате которого общая мощность, а как следствие и эффективность функционирования системы, может увеличиться в разы.

Возникает задача оценки мер используемых интеллектов, которая является нетривиальной. При этом следует отметить, что мощность искусственного интеллекта можно измерить, используя два подхода, основанных на:

- оценке результативности решения узких и хорошо определенных задач (таких как распознавание изображений);
- оценке способности системы к генерализации и обобщению.

Первый подход является более простым в реализации, однако его невозможно применить к подобной синтезированной системе, поскольку его суть заключается в некотором «сопоставлении» двух систем, решающих схожие задачи.

Второй подход является более сложным, поскольку он основывается на психометрии, изучающей теорию и методики психологических измерений, в том числе измерение знаний и способностей личности. Использование подходов психометрии позволяет не только оценить навыки решения конкретных задач, но и произвести оценку широких когнитивных способностей.

Франсуа Шолле вводит подход и формулу для оценки интеллекта системы, базируясь на алгоритмической теории информации, используя для оценки такие понятия, как опыт, сложность генерализации и априорные предпосылки [22].

Описанный автором подход позволяет оценить мощность интеллектуальной системы с учетом неопределенности входной информации на основе разнообразных семантических правил и различных уровней обобщения.

Еще одной работой, посвященной определению мощности интеллектуальной части вычислительной системы, является исследование [23], в котором авторы поднимают вопрос об измерении интеллекта систем в рамках конкретных структур. Для характеристики интеллекта рассматриваемой структуры предлагается использовать два показателя, а именно – функциональное разнообразие структуры и способность функционирования в конкретных условиях. Предложена мера степени интеллекта, с помощью которой вычисляется степень интеллекта нескольких базовых структур.

Аналогично предыдущим работам в работе авторов [18] описан подход к определению интеллектуальной мощности системы на основе ИИ, согласно которому предлагается новая метрика для измерения уровней интеллекта динамических систем с участием человека в цикле, определяемая как максимальное среднее вознаграждение, получаемое за активное обслуживание запросов пользователей при условии ограничения ресурсов.

Подобная метрика отражает два важных элемента «интеллектуальности», то есть способность определения того, чего хотят пользователи, и реализация возможности их заблаговременного обслуживания, а также достижения надлежащего управления имеющимися ресурсами.

При этом более сложной является процедура определения мощности интеллекта людей, выступающих в качестве экспертов, которая может быть построена только на использовании правил и законов психометрии и психологии принятия решений.

Заключение

Таким образом, в данной работе представлены ключевые понятия из области искусственного интеллекта, отраженные в государственных стандартах, рассмотрено определение естественного и искусственного интеллектов, определены основные различия между ними.

В настоящее время наиболее перспективным направлением является разработка гибридных систем, основанных на синтезе методов искусственного и естественного интеллектов, которые позволят решать слабоформализованные задачи, характерной особенностью которых является высокая неопределенность входной информации. На основе этого было сформулировано определение системного интеллекта, позволяющего объединить в единую систему оценки все интеллекты.

Формирование подобной конфигурации интеллектуальных агентов в рамках информационной системы позволит реализовать наиболее подходящую совокупность сочетаний разнообразных методов искусственного интеллекта и различных категорий экспертов. В результате этого можно достичь оптимального режима функционирования системы в рамках определенного класса решаемых задач.

Возвращаясь к различным типам гибридных интеллектуальных систем, отметим, что системный интеллект может быть определен и для систем, основанных на взаимном использовании нескольких видов искусственного интеллекта, а не только на механизме синтеза ИИ и естественного интеллекта человека. Важным моментом при таком подходе будет определение синергетического эффекта, возникающего в результате подобного синтеза, для чего необходимо определять мощность каждого из интеллектуальных элементов системы. После определения общей мощности подобной системы можно будет приступить к процессу оптимизации системного интеллекта, необходимой для решения конкретных прикладных задач в зависимости от уровня имеющейся неопределенности, сложности системы и ее динамики.

В результате этого может быть получена оптимальная информационная система, сочетающая в себе необходимые методы искусственного интеллекта, с привлечением группы экспертов, что в значительной степени позволит улучшить общую эффективность взаимодействия всех элементов системы и повысить итоговую производительность в рамках решаемого класса задач.

Примечания

1. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации: указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731>
2. ГОСТ Р 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177292>
3. ГОСТ Р 59276-2020. Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177291>
4. ГОСТ Р 59385-2021. Информационные технологии. Искусственный интеллект. Ситуационная видеоаналитика. Термины и определения. URL: https://allgosts.ru/35/240/gost_r_59385-2021.pdf
5. The application of expert system: A review of research and applications / Tan Chee Fai, L.S. Wahidin, Khalil Siti Nurhaida, Tamaldin Noreffendy, Hu Jun, Rauterberg Matthias. 2016. No. 11. P. 2448–2453.
6. All Intelligence is Collective Intelligence / Falandays J. Ben, Kaaronen Roope, Moser Cody, Rorot Wiktor, Tan Joshua, Varma Vishwanath, Williams Tevin, Youngblood Mason. 2022. 17 p. DOI: 10.31234/osf.io/jhrp6.
7. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 164 с.
8. Гибридная интеллектуальная система поддержки принятия решений для диагностики заболеваний легких / Н.С. Безруков, Е.Л. Еремин, Е.В. Ермакова, Ю.М. Перельман // Информатика и системы управления. 2008. № 2 (16). С. 65–67.
9. Карякин В.В. Гибридные интеллектуальные системы как симбиоз естественного и искусственного интеллектов // Россия: тенденции и перспективы развития. 2022. № 17-1. С. 652–655 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-intellektualnye-sistemy-kak-simbioz-estestvennogo-i-iskusstvennogo-intellektov> (дата обращения: 28.11.2022).
10. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта. Эволюция, психология, информатика. Москва: Машиностроение, 1990. 448 с
11. Горожанина Е.И. Нейронные сети: учеб. пособие. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. 84 с. // IPR SMART: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/75391.html> (дата обращения: 23.10.2022).
12. Fuzzy and neural hybrid expert systems: Synergetic AI / M. Funabashi, A. Maeda, Y. Morooka, K. Mori // IEEE Expert-Intelligent Systems and their Applications. 1995. No. 10 (4). P. 32–40. DOI: 10.1109/64.403949
13. Jacobsen H.A. A generic architecture for hybrid intelligent systems // IEEE Fuzzy Systems. Alaska: Ancourage, 1998. 32 p.
14. Лаврик С.А., Логинов Д.В. Построение гибридной нейроэкспертной системы определения информативных сейсмических атрибутов // Новые технологии. 2007. № 4. С. 25–28.
15. Шпаков В.К. Гибридная интеллектуальная система управления мобильным роботом (ГИСУМР) // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2019. № 2 (95). С. 28–34. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-28-34
16. Игнатьев В.В. Адаптивные гибридные интеллектуальные системы управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 12 (113). С. 89–94.
17. Сеченов М.Д. Гибридные интеллектуальные человеко-машинные вычислительные системы и когнитивные процессы // Известия ЮФУ. Технические науки. 1998. № 2. С. 220–225. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-intellektualnye-cheloveko-mashinnye-vychislitelnye-sistemy-i-kognitivnye-protsessy> (дата обращения: 23.10.2022).
18. Longbo Huang. System intelligence: model, bounds and algorithms // Proceedings of the 17th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'16). New York: Association for Computing Machinery, 2016. P. 171–180. URL: <https://doi.org/10.1145/2942358.2942387>
19. Финн В.К. Искусственный интеллект: методология, применения, философия. Моск-

ва: КРАСАНД, 2011. 436 с.

20. Ковалев М.А. От гибридных интеллектуальных систем к гибридному интеллекту // Искусственные общества. 2020. Т. 15, № 2. С. 8. DOI: 10.18254/S207751800009722-3

21. Белокопытов Ю.Н., Панасенко Г.В. Сознание за гранью искусственного интеллекта в условиях криминологической неопределенности // Профессиональное образование в современном мире. 2021. Т. 11, № 3. С. 195–205. DOI: <https://doi.org/10.20913/2224-1841-2021-3-19>

22. Chollet Francois. The Measure of Intelligence. 2019. 27 p.

23. Su W. An Entropy-based Measure of Intelligence Degree of System Structures. 2022. 11 p. DOI: 10.48550/arXiv.2208.10266

References

1. On the development of artificial intelligence in the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation dated October 10, 2019 No. 490. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731>

2. GOST R 59277-2020. Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177292>

3. GOST R 59276-2020. Artificial intelligence systems. Ways to ensure trust. General provisions. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177291>

4. GOST R 59385-2021. Information technologies. Artificial intelligence. Situational video analytics. Terms and Definitions. URL: https://allgosts.ru/35/240/gost_r_59385-2021.pdf

5. The application of expert system: A review of research and applications / Tan Chee Fai, L.S. Wahidin, Khalil Siti Nurhaida, Tamaldin Noreffendy, Hu Jun, Rauterberg Matthias. 2016. No. 11. P. 2448–2453.

6. All Intelligence is Collective Intelligence / Falandays J. Ben, Kaaronen Roope, Moser Cody, Rorot Wiktor, Tan Joshua, Varma Vishwanath, Williams Tevin, Youngblood Mason. 2022. 17 p. DOI: 10.31234/osf.io/jhrp6.

7. Gavrilov A.V. Hybrid intelligent systems. Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2003. 164 p.

8. Hybrid intelligent decision support system for the diagnosis of lung diseases / N.S. Bezrukov, E.L. Eremin, E.V. Ermakova, Yu.M. Perelman // Informatics and Control Systems. 2008. No. 2 (16). P. 65–67.

9. Karyakin V.V. Hybrid intelligent systems as a symbiosis of natural and artificial intelligence // Russia: Trends and Prospects of Development. 2022. No. 17-1. P. 652–655. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-intellektualnye-sistemy-kak-simbioz-estestvennogo-i-iskusstvennogo-intellektov> (access date: 28/11/2022).

10. Venda V.F. Systems of hybrid intelligence. Evolution, psychology, computer science. Moscow: Mechanical Engineering, 1990. 448 p.

11. Gorozhanina E.I. Neural networks: a textbook. Samara: Volga State University of Telecommunications and Informatics, 2017. 84 p. // IPR SMART: [site]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/75391.html> (access date: 23/10/2022).

12. Fuzzy and neural hybrid expert systems: Synergetic AI / M. Funabashi, A. Maeda, Y. Morooka, K. Mori // IEEE Expert-Intelligent Systems and their Applications. 1995. No. 10 (4). P. 32–40. DOI: 10.1109/64.403949

13. Jacobsen H.A. A generic architecture for hybrid intelligent systems // IEEE Fuzzy Systems. Alaska: Ancourage, 1998. 32 p.

14. Lavrik S.A., Loginov D.V. Construction of a hybrid neuroexpert system for determining informative seismic attributes // New Technologies. 2007. No. 4. P. 25–28.

15. Shpakov V.K. Hybrid intelligent control system of a mobile robot (GISUMR) // Collection of scientific papers of Novosibirsk State Technical University. 2019. No. 2 (95). P. 28–34. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-28-34

16. Ignatyev V.V. Adaptive hybrid intelligent control systems // News of the Southern Federal University. Technical Sciences. 2010. No. 12 (113). P. 89–94.

17. Sechenov M.D. Hybrid intelligent human-machine computing systems and cognitive processes // News of the Southern Federal University. Technical Sciences. 1998. No. 2. P. 220–225. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-intellektualnye-cheloveko-mashinnye-vychislitelnye-sistemy-i-kognitivnye-protsessy> (access date: 23/10/2022).

18. Longbo Huang. System intelligence: model, bounds and algorithms // Proceedings of the 17th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'16). New York: Association for Computing Machinery, 2016. P. 171–180. URL: <https://doi.org/10.1145/2942358.2942387>

19. Finn V.K. Artificial intelligence: Methodology, applications, philosophy. Moscow: KRA-SAND, 2011. 436 p.
20. Kovalev M.A. From hybrid intelligent systems to hybrid intelligence // Artificial Societies. 2020. Vol. 15, No. 2. P. 8. DOI: 10.18254/S207751800009722-3
21. Belokopytov Yu.N., Panasenko G.V. Consciousness beyond artificial intelligence in conditions of criminological uncertainty // Vocational Education in the Modern World. 2021. Vol. 11, No. 3. P. 195–205. DOI: <https://doi.org/10.20913/2224-1841-2021-3-19>
22. Chollet Francois. The Measure of Intelligence. 2019. 27 p.
23. Su W. An Entropy-based Measure of Intelligence Degree of System Structures. 2022. 11 p. DOI: 10.48550/arXiv.2208.10266

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.02.2023; одобрена после рецензирования 14.03.2023; принята к публикации 15.03.2023.

The article was submitted 28.02.2023; approved after reviewing 14.03.2023; accepted for publication 15.03.2023.

© В.С. Симанков, С.В. Онищенко, 2023