

# Искусственный интеллект: применение и перспективы развития на примере ракетно-космического приборостроения

## Artificial Intelligence: Application and Development Prospects on the Example of Rocket and Space Instrumentation

DOI 10.12737/2306-627X-2022-11-2-54-59

Получено: 30 апреля 2022 г. / Одобрено: 10 мая 2022 г. / Опубликовано: 27 июня 2022 г.

**Ядова Н.Е.**

Канд. экон. наук, доцент кафедры ИБМ-1, факультет «Инженерный бизнес и менеджмент», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

**Yadova N.E.**

Candidate of Economic Sciences, Professor, Department «Economy and Business», Bauman Moscow State Technical University, Moscow

**Осико С.М.**

Специалист, Кафедра СМ-8 «Стартовые ракетные комплексы», Приборостроительный факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

**Osiko S.M.**

Specialist, Department of Launch Missile Systems, Faculty of Instrumentation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

**Аннотация**

В статье рассмотрены вопросы внедрения технологий искусственного интеллекта в приборостроительной отрасли. Проведен анализ статистики использования и проблем, связанных с нормативно-правовым регулированием систем с элементами искусственного интеллекта в РФ. В этой связи целью работы является, с одной стороны, представить обзор состояния интеллектуальных систем в российском ракетно-космическом приборостроении, а с другой — выявить в данной области наиболее перспективные направления развития.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, интеллектуальные системы, приборостроение, ракетно-космическая техника, промышленные предприятия, перспективы развития.

**Abstract**

The presented article deals with the implementation of artificial intelligence technologies in the instrument-making industry. The statistics of the use of systems with elements of artificial intelligence are analyzed. It presents the problems of legal regulation of artificial intelligence systems in the Russian Federation. In this regard, the purpose of the article is, on the one hand, to give the reader some information on state of intelligent systems in rocket and space instrumentation in the Russian Federation, and on the other hand, to identify the most promising areas of development in this area.

**Keywords:** artificial intelligence, intelligent systems, instrumentation, rocket and space technology, industrial enterprises, development prospects.

### 1. Введение

Идея цифровизации человеческого разума зародилась достаточно давно: сквозь легенды древних цивилизаций о вселении человеческой души в рукотворный сосуд, сквозь книги фантастов и первые попытки написания программ, имитирующих процесс мышления человека, красной нитью проходит история развития такого многообещающего направления современной науки, как искусственный интеллект (ИИ). Тем не менее, ИИ — направление в науке достаточно молодое. Оно окончательно сформировалось лишь к середине прошлого столетия, когда развитие технологий достигло соответствующего уровня.

Существует множество определений ИИ, которые, как следствие «молодости» направления, достаточно размыты. Одно из возможных определений: искусственный интеллект — это направление современной науки, в рамках которого создаются и применяются компьютерные системы, способные к решению задач, обычно требующих человеческого участия и интеллекта [6]. Поскольку единого опреде-

ления не существует, не существует и окончательного ответа на вопрос, чем же занимается искусственный интеллект. Вероятно, этот вопрос будет закрыт тогда же, когда придет понимание, в чем смысл человеческой жизни.

Применяемость ИИ в разных сферах для решения большого круга задач породила разнообразие подходов и направлений. Основными подходами к разработке ИИ считаются машинный интеллект и искусственный разум [7]. Машинный интеллект основывается на использовании законов формальной логики и дискретных вычислениях для создания экспертных систем, баз знаний и систем, способных имитировать такие высокоуровневые психические процессы, как рассуждение, мышление, речь. Искусственный разум базируется на биологических элементах и исследовании деятельности нервной системы для создания нейроподобных или просто нейронных сетей и эволюционных вычислений. Помимо вышеперечисленных подходов существуют и другие, в том числе гибридный подход, являющийся симбиозом двух предыдущих. Такой подход предполагает

использование и нейронных, и символьных моделей. Считается, что гибридные системы имеют большие перспективы по сравнению с системами, основанными на отдельных концепциях.

К основным технологиям и системам, развиваемым в рамках ИИ, можно отнести следующие.

- Экспертные системы — программные комплексы, позволяющие частично или полностью заменить эксперта в какой-либо области с помощью прогнозирования событий на базе эмпирических данных [13].
- Нейронные сети — программы, функционирующие которых построено по принципу работы биологических нейронных сетей; способны выполнять обобщения и обучаться, предназначены для решения нечетких и сложных задач.
- Эволюционные вычисления (алгоритмы) — системы, использующие и моделирующие процессы естественного отбора; применяются для решения задач комбинаторной оптимизации.
- Интеллектуальный анализ данных (Data mining) — использование ИС для обработки больших объемов данных и извлечения из них новых знаний.
- Технологии «роевого интеллекта» — децентрализованные самоорганизующиеся системы, состоящие из множества агентов — отдельных ИИ программ, способных взаимодействовать между собой и с окружающей средой и выполнять различные задачи [9].
- Другие ИИ технологии.

Внедрение ИИ во все сферы деятельности человека приняло глобальный характер на фоне не только теоретических достижений, но и доступности данных, усовершенствования средств их хранения и увеличения вычислительных мощностей. На сегодняшний день существует достаточно много разнообразных систем с элементами ИИ или интеллектуальных систем (ИС), но они имеют узкие области применения. Так, например, программа для распознавания изображений не ответит на вопросы, а программа, имитирующая реальное общение, не распознает изображения.

Однако сфера использования ИИ постоянно расширяется, названия привычных программных комплексов дополняются отметкой об их «интеллектуальности». При этом особенность задач, успешно решаемых интеллектуальными системами (ИС), заключается в отсутствии предопределенного алгоритма решения и в выборе между множеством возможных вариантов в условиях неопределенности, что выгодно отличает ИС от других систем.

Последние достижения науки в области ИИ при использовании систем роботизированного произ-

водства позволяют вывести процессы автоматизации промышленности на качественно новый уровень. Вследствие этого в последние годы наблюдается огромный интерес к использованию методов искусственного интеллекта — особенно алгоритмов машинного обучения — в производстве. Это также оказывает большое влияние на приборостроение в целом и на его ракетно-космическое направление в частности, и исследования в этой области быстро развиваются. Это связано с необходимостью автоматизации информационного сопровождения производства, обеспечения автоматического управления оборудованием при изготовлении изделия и мониторинга его состояния в процессе эксплуатации [8].

Обычно применение ИС в автоматизированном производстве приборов и устройств целесообразно как с технологической точки зрения, так и с экономической. С другой стороны, эта автоматизация достаточно дорогостоящая, так что эффективность внедрения той или иной ИС требует изучения и обоснования. Поэтому имеется ряд условий, с помощью которых определяется целесообразность применения технологий ИИ. Решение необходимых задач должно сопровождаться:

- более высокими показателями качества и меньшим затраченным временем по сравнению с классическими методами и технологиями;
- использованием допустимых объемов ресурсов;
- высоким уровнем автономности производства.

Соответственно, сейчас в промышленности применяются ИС автоматизированного проектирования, программирования, системы ИИ для распознавания речи и изображений, системы ИИ для диагностики оборудования. Это целесообразное применение технологий ИИ. Например, для прогнозирования теплообмена в каналах охлаждения ракетных двигателей во время испытаний используются нейронные сети. С их помощью производится оценка усталостной долговечности, осуществляются автоматическое обнаружение предвестников нестабильности сгорания и обеспечение оптимального управления двигателями [2]. Примером нецелесообразного использования технологий ИИ может служить попытка использования машинного обучения в условиях недостаточного объема тренировочных данных или при отсутствии их изначальной классификации, в результате чего компьютерный алгоритм не сможет найти необходимые закономерности и может быть допущена дорогостоящая ошибка.

## 2. Методы исследования

Объектом исследования являются технологии ИИ. Предмет исследования — использование ИИ в ракетно-космическом приборостроении и пер-

спективы экономического развития. Эмпирическую основу исследования в данной работе составляют статистические данные Института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ, а также аналитических агентств TAdviser и CNews Analytics. Методологическая база основана на теоретических методах (анализ, синтез, классификация, обобщение). Таким образом, были проведены анализ и обобщение специальной литературы и публикаций, связанных с исследуемой темой (метод синтеза). Проведено сравнение состояния искусственного интеллекта в Российской Федерации и США (комплексный и сравнительно-аналитический методы) на основании статистики, а также материалов, полученных из информационных ресурсов и иных источников информации, в том числе нормативно-правовых актов (формально-юридический метод).

### 3. Результаты

К перспективным направлениям развития технологий ИИ в ракетно-космическом приборостроении можно отнести следующие.

- Обслуживание, диагностика и ремонт космических аппаратов (КА) на орбите.

Так, согласно Стратегии развития космической деятельности России до 2030 г. и на дальнейшую перспективу, предусматривается переход к использованию бортовых систем для обеспечения возможности обслуживания и ремонта КА, находящегося на орбите [1]. На данный момент обычно эти задачи решаются не на борту КА, а на Земле, и отправка необходимых команд обратно на борт КА занимает время (например, время, за которое радиосигнал с Марса достигает Земли, может занимать 20 минут и более).

- Контроль двигателей в процессе эксплуатации.

Рациональное управление двигателем и контроль его состояния могут значительно увеличить срок его службы и, таким образом, внести существенный вклад в экономичную эксплуатацию. Данные с датчиков могут быть практически мгновенно обработаны с помощью систем машинного обучения, после чего будет произведена оценка текущего состояния и поданы необходимые сигналы.

- Обработка спутниковой информации.

Передача информации, в том числе изображений, со спутника занимает много времени не только по причине долгой передачи сигнала, но и из-за большого объема различная передаваемой информации. В данном случае можно применять интеллектуальный анализ данных (Data mining) и нейросети для извлечения, обработки и отправки новой информации, полученной из базы данных.

- Управление группировками спутников.

Вследствие развития многоспутниковых орбитальных группировок особый интерес представляют ИС, способные решать задачи автономного управления и мониторинга технического состояния всех КА. Согласно данным холдинга «Российские космические системы» (РКС), входящего в госкорпорацию «Роскосмос», в России для управления многоспутниковыми орбитальными группировками будет разработана ИС, основанная на методе согласованной самоорганизации, что позволит избежать точечного управления отдельными КА в условиях увеличения их количества [4].

- Автономная навигация.

Функция автономной навигации, основанная на нейронной сети, позволит избежать больших задержек связи между Землей и КА. В результате КА сможет принимать больше решений, чем при управлении исключительно командой с Земли, и будет ограничен по большей части скоростью своего технического оборудования.

- Исследование дальнего космоса с помощью КА.

Использование в дальних космических миссиях систем, способных автономно и быстро принимать необходимые решения в условиях неопределенности и задержек связи с Землей, является крайне актуальным.

- Исследование планет с помощью планетоходов.

Исследование планет часто осуществляется с помощью отправки на них планетоходов. При этом анализ осуществляется с помощью отправки полученных изображений и прочих данных на Землю, что сопровождается значительными задержками вследствие больших объемов данных и возможных избыточных данных. Процесс отправки данных может быть усовершенствован в случае использования систем с элементами ИИ, способных анализировать и классифицировать данные по их значимости. Например, для обнаружения кратеров используются метод опорных векторов (SVM) и шаблонные модели с непрерывным масштабированием (CSTM) [11]. При этом ИС должны функционировать в условиях ограниченной памяти. Обученные алгоритмы тестируются на изображениях Марса, сделанных орбитальным аппаратом «Викинг». Подход SVM оказался наиболее эффективным, поскольку он так же точен, как и люди, классифицирующие фотографии.

В результате внедрения интеллектуальных систем созданная научно-техническая база позволит поднять на качественно новый уровень исследование космоса и применение КА разного назначения. Дальнейшее развитие получит исследование других планет с помощью как КА, так и вездеходов,

что логически должно завершиться пилотируемыми экспедициями [5]. В связи с этим использование ИС является крайне перспективной областью развития. Однако, согласно данным Института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ, в 2020 г. использование технологий ИИ российскими организациями достигло лишь 5,4% против 18% в США [3, 12]. Это может объясняться незначительными размерами рынка ИИ-решений для производства в России. Это, в свою очередь, обусловлено сложным процессом разработки программного обеспечения (ПО) — одного из наиболее важных и дорогостоящих компонентов ИС, требующих участия большого числа алгоритмистов и программистов.

США традиционно считаются одной из ведущих стран в разработке, изучении, внедрении и использовании ИИ, поскольку являются лидером по уровню развития технологий искусственного интеллекта. Это связано с тем, что Национальная стратегия развития ИИ США имеет хорошо проработанную систему государственной поддержки для инициатив ИИ. Важно отметить, что она не только формально закреплена законодательно, но и эффективно функционирует. Известно, что в 2021 г. США выделили 1,5 млрд долл. на развитие технологий ИИ [3]. В США ИИ позиционируется в качестве ключевой стратегии, и планируется ежегодно увеличивать расходы на его развитие и внедрение. Так, предполагаемые расходы на развитие технологий ИИ к 2025 г. составляют 8 млрд долл. Сейчас за первенство в области ИИ борются США и Китай. Общее финансирование ИИ в России, США и Китае представлено на рисунке. Россия обладает большим потенциалом для развития ИИ, но вряд ли станет одним из мировых лидеров в краткосрочной и среднесрочной перспективе. Для сравнения: в 2020 г. расходы на развитие ИИ в России составили около

3 млрд руб., что в пересчете дает около 50 млн долл., тогда как в США в 2020 г. вложения в ИИ составили около 6 млрд долл. [3].

В условиях ограниченного доступа и даже невозможности использования продукции иностранных разработчиков ИИ-систем (IBM, Automation Anywhere, Google, Microsoft и др.) формируется запрос на ИС отечественного производства, что приведет к активному развитию отрасли в случае устойчивого финансирования. Сейчас Россия активно принимает меры, направленные на разработку и внедрение ИИ. Так, для выполнения этих задач были разработаны национальная программа «Цифровая экономика» и федеральный проект «Искусственный интеллект». В рамках реализации мероприятий федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика» был разработан документ по развитию технологий ИИ в России, согласно которому предполагалось, что российский рынок решений в сфере технологий ИИ вырастет с 3 млрд руб. в 2020 г. до 160,1 млрд руб. в 2024 г. [10]. Однако в 2022 г. точная реализация данного прогноза представляется крайне маловероятной по причине кризисных условий, падения доходов, дефицита бюджета и неблагоприятного инвестиционного климата. Также ситуация осложняется недостаточным международным сотрудничеством в сфере ИИ, в том числе из-за тенденции к изоляции России в различных сферах, например, таких как экономическая и технологическая.

Поскольку развивать ИИ без поддержки государства практически невозможно, в том числе необходимо принятие регулирующих законов: без четких правовых норм развитие отрасли невозможно. В России отсутствует полноценное законодательное регулирование ИИ. С июля 2020 г. действует Федеральный закон № 123-ФЗ, согласно которому на территории Москвы введен экспериментальный правовой



Рис. Финансирование ИИ в России, США и Китае [3]

режим для создания необходимых условий разработки и внедрения технологий ИИ. [14] Таким образом, компании, реализующие проекты с применением технологий ИИ, могут подать заявку, чтобы попасть в реестр и получить специальное правовое регулирование, но только на территории Москвы и только на срок эксперимента. Законодательно-нормативная база в области регулирования ИИ в России должна претерпеть множество изменений, прежде чем широкое использование и разработка технологий ИИ российскими компаниями станут возможными.

Тем не менее, в России существуют определенные области разработки и применения ИИ, в которых уже удалось добиться прогресса. Так, в конце 2018 г. в Сколковском институте науки и технологий (Сколтех) был запущен первый энергоэффективный суперкомпьютер Zhores с петафлопсной производительностью. Он специально разработан для решения задач машинного обучения и моделирования на основе данных. Ожидается, что в ближайшем будущем его производительность увеличится до 2–3 петафлопс в секунду, что поставит его в один ряд с 500 лучшими суперкомпьютерами мира. Также в России неплохо обстоят дела с информационным образованием, в том числе с машинным обучением. Шестнадцать российских вузов, предлагающих эту специальность, вошли в список 684 лучших учебных заведений мира по версии World University Rankings 2019. Два российских вуза — МГУ и Санкт-Петербургский ИТМО — попали в первую сотню.

Кроме того, уже много лет локомотивами развития российской техники являются военная наука и оборонная промышленность. Достаточно сложно оценить масштабы использования ИИ в военном секторе по причине засекреченного характера таких проектов. Несмотря на это, публичные заявления представителей российского правительства позволяют сделать выводы, что российские Вооруженные Силы имеют в арсенале вооружение на основе ИИ беспилотные летательные аппараты, истребители и подводные роботы. Таким образом, военный сектор — один из самых сильных с точки зрения развития российских технологий искусственного интеллекта. Военная деятельность традиционно включает и космическую сферу. Так, многие разработки в ракетно-космическом приборостроении имели военное назначение, уже после разрабатывались их гражданские варианты, в том числе имеют место изделия двойного назначения. Следовательно, с развитием военных космических программ, связанных с применением ИИ, получают большее развитие и гражданские космические программы.

Последнее время российские технологии искусственного интеллекта развивались ускоренными темпами, во многом благодаря большому вниманию, которое уделяется этому сектору, так что у России есть возможность значительно улучшить свои позиции в гонке ИИ.

#### 4. Обсуждение и заключение

На сегодняшний день Россию, в отличие от США и Китая, нельзя назвать одним из лидеров в гонке ИИ. Тем не менее разумное инвестирование и использование конкурентных преимуществ страны, таких как высококвалифицированные специалисты и крупные отечественные ИТ-компании, могут дать результаты в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Позиции России традиционно сильны в военном секторе, но возможно и успешное развитие других секторов, связанных с ИИ. При благоприятных условиях Россия вполне способна стать серьезным игроком и даже локальным лидером в отдельных сферах. Также, несмотря на предстоящий долгий путь по совершенствованию законодательного регулирования ИИ и улучшения инвестиционного климата, применение технологий ИИ в области ракетно-космического приборостроения имеет смысл и позволит вывести российскую космическую деятельность на качественно новый уровень. В частности, к наиболее перспективным областям развития технологий ИИ в ракетно-космическом приборостроении можно отнести:

- ИС, обеспечивающие контроль и диагностику технического состояния аппаратуры космического назначения на различных этапах жизненного цикла;
- экспертные и прочие ИС реального времени, предназначенные для автономного функционирования и управления приборами и КА;
- нейросетевые и прочие ИС, позволяющие эффективно обрабатывать большие объемы данных, в том числе на борту КА;
- ИС, основанные на методе согласованной самоорганизации и обеспечивающие управление многоспутниковыми группировками.

Применение технологий ИИ в области ракетно-космической техники позволит разрабатывать более совершенные космические аппараты и системы. Соответственно качественному внедрению ИС будет меняться и направление их практического применения, открывая для человечества новые горизонты в исследовании космоса, и, хотя выполненная работа отражает впечатляющий потенциал применения ИС в космическом приборостроении, она представляет собой лишь малую часть возможных будущих сфер применения технологий ИИ.

## Литература

1. Основные положения Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу (утв. Президентом РФ от 19.04.2013 № Пр-906).
2. Günther Waxenegger-Wilfing, Kai Dresia, Jan Deeken and Michael Oschwald // Machine Learning Methods for the Design and Operation of Liquid Rocket Engines Research Activities at the DLR Institute of Space Propulsion. Virtual Conference, 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/2102.07109.pdf> (дата обращения: 05.05.2022).
3. TAdviser Government. Business. Technology. Artificial Intelligence in the United States. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://tadviser.com/index.php/Article:Artificial\\_Intelligence\\_in\\_the\\_United\\_States](https://tadviser.com/index.php/Article:Artificial_Intelligence_in_the_United_States) (дата обращения: 05.05.2022).
4. Yairi T. et al. A Data-Driven Health Monitoring Method for Satellite Housekeeping Data Based on Probabilistic Clustering and Dimensionality Reduction, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS. 2017. Vol. 53. №3. P.P. 1384–1401.
5. Аверьянов А.П., Азаренко Л.Г., Вокин Г.Г., Кащеев Н.А., Мачнева Л.А., Чаплинский В.С. и др. Введение в ракетно-космическую технику. Том 1: Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 380 с.
6. Балухто А.Н., Романов А.А. Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2019. Том 6, выпуск 1. С. 65–75.
7. Боровская Е.В., Давыдова Н.А. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие. 4-е изд., Электрон. М.: Лаборатория знаний. 2020. 130 с.
8. Валетов В.А., Орлова А.А., Третьяков С.Д. Интеллектуальные технологии производства приборов и систем. Учебное пособие. СПб.: СПб ГУИТМО. 2008. 134 с.
9. Водлазский И.А., Егоров А.С., Краснов А.В. Роевой интеллект и его наиболее распространенные методы реализации // Молодой ученый. 2017. № 4 (138). С. 147–153.
10. Официальный сайт «CNews» [Электронный ресурс]. URL: <https://cna.cnews.ru/> (дата обращения: 20.05.2022).
11. Официальный сайт «Российские космические системы» [Электронный ресурс]. URL: <https://russianspacesystems.ru/> (дата обращения: 05.05.2022).
12. Официальный сайт ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. «Использование технологий искусственного интеллекта в России» [Электронный ресурс]. URL: <http://issek.hse.ru> (дата обращения: 19.04.2022).
13. Соколов М.Д., Носов Н.Ю. Экспертные системы. // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/68338> (дата обращения: 28.04.2022).
14. Федеральный закон «О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в субъекте Российской Федерации городе федерального значения Москве и внесении изменений в статьи 6 и 10 Федерального закона «О персональных данных»» от 24.04.2020 № 123-ФЗ.

## References

1. «*Osnovnye polozheniya Osnov gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti kosmicheskoy deyatel'nosti na period do 2030 goda i dal'neyshuyu perspektivu*» (utv. Prezidentom RF ot 19.04.2013 № Pr-906) [“Basic provisions of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the field of space activities for the period up to 2030 and beyond” (approved by the President of the Russian Federation of April 19, 2013 N Pr-906)].
2. Günther Waxenegger-Wilfing, Kai Dresia, Jan Deeken and Michael Oschwald // Machine Learning Methods for the Design and Operation of Liquid Rocket Engines — Research Activities at the DLR Institute of Space Propulsion. Virtual Conference, 2021. [Elektronnyy resurs]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2102.07109.pdf> (accessed 05 May 2022).
3. TAdviser — Government. Business. Technology. Artificial Intelligence in the United States. [Elektronnyy resurs]. Available at: [https://tadviser.com/index.php/Article:Artificial\\_Intelligence\\_in\\_the\\_United\\_States](https://tadviser.com/index.php/Article:Artificial_Intelligence_in_the_United_States) (accessed 05 May 2022).
4. Yairi, T. et Al., A Data-Driven Health Monitoring Method for Satellite Housekeeping Data Based on Probabilistic Clustering and Dimensionality Reduction, IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS. — 2017. — V. 53. I. 3. — Pp. 1384–1401.
5. Aver'yanov A.P., Azarenko L.G., Vokin G.G., Kashcheev N.A., Machneva L.A., Chaplinskiy V.S. *Vvedenie v raketno-kosmicheskuyu tekhniku* [Introduction to rocket and space technology]. Moscow: Infra-Inzheneriya Publ. 2018, V. 1. 380 p.
6. Balukhto A.N., Romanov A.A. *Iskusstvennyy intellekt v kosmicheskoy tekhnike: sostoyanie, perspektivy razvitiya* [Artificial intelligence in space technology: state, development prospects]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-space instrumentation and information systems]. 2019, V. 6, I. 1, pp. 65–75.
7. Borovskaya E.V., Davydova N.A. *Osnovy iskusstvennogo intellekta* [Fundamentals of artificial intelligence]. Moscow: Laboratoriya znaniy Publ. 2020. 130 p.
8. Valetov V.A., Orlova A.A., Tret'yakov S.D. *Intellektual'nye tekhnologii proizvodstva priborov i sistem* [Intelligent technologies for the production of devices and systems]. St. Petersburg: SPB GUITMO Publ. 2008. 134 p.
9. Vodolazskiy I.A., Egorov A.S., Krasnov A.V. *Roevoy intellekt i ego naibolee rasprostranennyye metody realizatsii* [Swarm intelligence and its most common implementation methods]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2017, I. 4 (138), pp. 147–153.
10. *Ofitsial'nyy sayt «CNews»* [Official site “CNews”]. Available at: <https://cna.cnews.ru/> (accessed 20 May 2022).
11. *Ofitsial'nyy sayt «Rossiyskie kosmicheskije sistemy»* [Official site “Russian space systems”]. Available at: <https://russian-spacesystems.ru/> (accessed 05 May 2022).
12. *Ofitsial'nyy sayt ISIEZ NIU VShE. «Ispol'zovanie tekhnologii iskusstvennogo intellekta v Rossii»* [Official website of ISSEK NRU HSE. “The use of artificial intelligence technologies in Russia”]. Available at: <http://issek.hse.ru> (accessed 19 April 2022).
13. Sokolov M.D., Nosov N.Yu. *Ekspertnye sistemy* [Expert systems]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovation]. 2016, I. 5. Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/68338> (accessed 28 April 2022).
14. *Federal'nyy zakon «O provedenii eksperimeta po ustanovleniyu spetsial'nogo regulirovaniya v tselyakh sozdaniya neobkhodimyykh usloviy dlya razrabotki i vnedreniya tekhnologii iskusstvennogo intellekta v sub'ekte Rossiyskoy Federatsii — gorode federal'nogo znacheniya Moskve i vnesenii izmeneniy v stat'i 6 i 10 Federal'nogo zakona «O personal'nykh dannykh» ot 24.04.2020 № 123-FZ* [Federal Law “On conducting an experiment to establish special regulation in order to create the necessary conditions for the development and implementation of artificial intelligence technologies in the subject of the Russian Federation — the city of federal significance Moscow and amending Articles 6 and 10 of the Federal Law “On Personal Data” dated April 24, 2020 № 123-FZ].