

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА¹

Ромашкина Н.П.²

Цель статьи: выявить актуальные на текущем этапе возможности применения искусственного интеллекта в космической индустрии для выработки предложений по расширению потенциала использования искусственного интеллекта в освоении ближнего космоса, околоземной орбиты для обеспечения экономического, научно-технологического развития и безопасности России.

Метод исследования: анализ данных о применении искусственного интеллекта в космической индустрии, синтез и научное прогнозирование, экспертная оценка, фактологический анализ в рамках системного подхода, междисциплинарный подход.

Полученный результат: представлен анализ текущей космической обстановки и применения технологий искусственного интеллекта в космической сфере, в том числе, в системах управления искусственных спутников Земли и многоспутниковых группировок. Приведены ключевые факторы, определяющие целесообразность применения искусственного интеллекта, а также основные направления его использования в космической индустрии. Выявлены перспективные технологии искусственного интеллекта в космических робототехнических средствах, исследовании дальнего космоса, контроле, диагностике и управлении техническим состоянием спутников, управлении многоспутниковой группировкой, обработке спутниковых изображений. Сформулированы проблемы влияния состояния спутниковой группировки на уровень стратегической стабильности, национальной и международной безопасности; значения искусственного интеллекта для развития космических технологий; подготовки кадров для космической отрасли на основе междисциплинарного научного подхода. Доказывается, что количественные и качественные характеристики спутниковой группировки являются сегодня одним из важнейших показателей влияния и потенциала государства в мире.

Практическая ценность: выработаны предложения по расширению потенциала использования искусственного интеллекта в освоении ближнего космоса, околоземной орбиты для обеспечения экономического, научно-технологического развития и безопасности России.

Ключевые слова: космическая индустрия, космическая обстановка, искусственный спутник Земли (ИСЗ), искусственный интеллект, орбитальная группировка, спутниковая система управления, многоспутниковая группировка, космический потенциал России, междисциплинарный научный подход.

DOI: 10.21681/2311-3456-2023-6-128-137

Введение

По данным Управления ООН по вопросам космического пространства (*United Nations Office for Outer Space*

Affairs (UNOOSA))³, 1 ноября 2023 г. в космосе насчитывалось 16864 объекта искусственного происхождения

3 United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) // <https://www.unoosa.org/> (дата обращения 29.10.2023).

1 Статья опубликована в рамках проекта «Посткризисное мироустройство: вызовы и технологии, конкуренция и сотрудничество» по гранту Министерства науки и высшего образования РФ на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (Соглашение № 075-15-2020-783).

2 Ромашкина Наталия Петровна, кандидат политических наук, руководитель подразделения проблем информационной безопасности Национального исследовательского института мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия. E-mail: Romachkinan@yandex.ru

(космических аппаратов, а также ступеней ракетополетов, их частей и другого космического мусора)⁴.

В период с 1 января по 1 ноября 2023 г. было запущено 2253 космических аппарата (КА)⁵ (табл. 1). Только за октябрь 2023 г. на орбиты отправлены 115 искусственных спутников Земли (ИСЗ)⁶, 112 из которых принадлежат США и 3 – Китаю.⁷ Следовательно, риск столкновений между объектами в космосе будет возрастать [1, 2].

В спутниковой индустрии в топ-10 ведущих стран входят США, Китай, Россия, Великобритания, Япония, Индия, Франция, Канада, Германия и Люксембург⁸. По данным ООН в настоящее время в космосе находится более 8000 ИСЗ, но многие из них неактивны. Среди активных на различных орбитах около 67% принадлежит США, около 9% принадлежит КНР, России – около 3%, 21% – всем другим странам (рис. 1), в число которых входит большое количество государств – союзников и партнеров США⁹. Таким образом, важнейшей характеристикой текущего этапа является существенная диспропорция в обладании странами искусственными спутниками Земли [3-6].

На рис. 1 также представлено функциональное распределение ИСЗ по классификации США. Именно в число коммерческих ИСЗ, которые составляют более 88%, входит масштабная группировка *Starlink* американской компании *SpaceX*, которая сегодня активно используется вооруженными силами Украины (ВСУ). Эти факты добавляют риски национальной и междуна-

родной безопасности, а также снижают уровень стратегической стабильности [7-9].

Одним из инструментов снижения рисков сегодня является искусственный интеллект (ИИ) – область исследований, в рамках которой разрабатываются модели, системы и устройства, имитирующие интеллектуальную деятельность человека (восприятие различной информации и логическое мышление), а также практическое применение их результатов.

Таблица 1

Количество запущенных КА по странам (период с 01.01.2023 по 01.11.2023)¹⁰

№	Государство	Количество КА
1	Бразилия	2
2	Бельгия	1
3	Великобритания	138
4	Дания	2
5	Израиль	1
6	Индия	6
7	Индонезия	1
8	Иран	1
9	КНР	107
10	Люксембург	10
11	Малайзия	1
12	Объединенные Арабские Эмираты	2
13	Республика Корея	8
14	Россия	58
15	США	1823
16	Турция	4
17	Уругвай	6
18	Финляндия	3
19	ЮАР	1
20	Япония	6
21	Другие*	72

* Принадлежность государству не определена, получена Управлением ООН по вопросам космического пространства из других источников и не была официально передана Организации Объединенных Наций // https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id=, (дата обращения 29.10.2023).

4 Космический объект – тело, которое находится в космическом пространстве. Различают естественные (звезды, планеты, астероиды, кометы и др.) и искусственные (КА, последние ступени РН и их части) космические объекты. В международном праве термин «космический объект» используется только для обозначения объектов искусственного происхождения, а естественные носят название небесных тел // <https://dictionary.mil.ru/folder/123087/item/130225/>, (дата обращения 15.08.2023).

5 Космический аппарат (КА) – общее название различных технических устройств, предназначенных для выполнения целевых задач в космосе. КА разделяют на две основные группы: околоземные орбитальные КА, движущиеся по геоцентрическим орбитам, не выходя за пределы сферы действия гравитационного поля Земли – искусственные спутники Земли и межпланетные КА // <https://dictionary.mil.ru/folder/123087/item/130225/>, (дата обращения 15.09.2023).

6 Искусственный спутник Земли (ИСЗ) – космический летательный аппарат (КА), совершающий свободный полет по геоцентрическим орбитам вокруг Земли (не менее одного оборота) и выводятся на орбиту ракетами-носителями. В соответствии с международной договоренностью космический аппарат называется спутником, если он совершает не менее одного оборота вокруг Земли. При несоблюдении этого условия он считается ракетным зондом, проводящим измерения вдоль баллистической траектории, и не регистрируется как спутник // <https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details.htm?id=5270@morfDictionary>, (дата обращения 23.09.2023).

7 Online Index of Objects Launched into Outer Space. United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) // https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id=, (дата обращения 29.10.2023).

8 How Many Satellites are Orbiting Around Earth in 2022 // <https://www.geospatialworld.net/prime/business-and-industry-trends/how-many-satellites-orbiting-earth/>, (дата обращения 23.07.2023).

9 UCS Satellite Database. Union of Concerned Scientists (UCS) // <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>, (дата обращения 27.09.2023).

10 Таблица построена автором на основе: Online Index of Objects Launched into Outer Space. United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) // https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id= (дата обращения 29.10.2023).

Искусственный интеллект для космоса и в космосе

Технологии искусственного интеллекта в космической области к настоящему времени приобретают статус стратегических, поскольку потенциально способны оказывать огромное влияние на различные сферы деятельности человека. Логично прогнозировать рост такого влияния в дальнейшем.

Основные факторы, определяющие целесообразность применения технологий ИИ в космической сфере:

- потенциальное обеспечение решения прикладных задач с более высоким выходным качеством и оперативностью (по сравнению с традиционными технологиями) при необходимых вычислительных и других ресурсах;
- обеспечение более высокого уровня автономности КА и (или) орбитальной группировки, в том числе, в условиях существенной априорной неопределенности относительно условий их функционирования, без ущерба эффективности их целевого применения.

Основные направления применения ИИ в космической технике:

- робототехнические средства;
- исследование дальнего космоса и реализация дальних космических миссий;
- контроль, диагностика и управление техническим состоянием КА;
- бортовая обработка целевой информации;
- тематическая обработка спутниковых изображений;
- управление многоспутниковыми орбитальными группировками;
- интеллектуальные системы поддержки проектных решений;
- обработка больших массивов разнородной спутниковой информации;

Рассмотрим более подробно некоторые из них [10].

Робототехнические средства (РБС) уже являются традиционной областью применения ИИ. Применительно к космической технике можно выделить следующие основные направления применения РБС:

- орбитальное обслуживание КА (ремонт, заправка, сборка, увод с орбиты);
- космические зонды (по существу, они сами представляют собой автономные или полуавтономные РБС, способные в условиях априорной неопределенности относительно условий их функционирования самостоятельно принимать необходимые решения по осуществлению возложенных на них миссий);

- робототехнические линии сборки, обеспечивающие массовое серийное производство КА нового поколения в интересах создания многоспутниковых систем;
- автономное выполнение опасных работ, например, заправка ракеты-носителя.

Системы с поддержкой ИИ в робототехнике используются, чтобы упростить и ускорить процесс производства и улучшить его продуктивность, а также проводят регулярное оценивание эффективности операций, результаты которого помогают их оптимизировать. Используемые на сборочных конвейерах коллаборативные роботы – коботы¹¹ принимают на себя наиболее трудоёмкие и подверженные ошибкам операции. В настоящее время космические агентства и промышленность работают над технологией *human-robot collaboration (HCR)* – новый вид робототехники, основанный на взаимодействии человеческого интеллекта и робота уже внедряется в космической сфере. Крупные космические агентства проводят исследования и эксперименты и прогнозируют значительно более активное внедрение коботов уже в ближайшие годы [11].

ИИ используются в космических зондах, исследующих дальний космос. Так, специализированные алгоритмы обрабатывают огромные массивы данных, изучая характеристики других планет, сравнивая их с запрограммированными показателями потенциально пригодного для жизни космического объекта, чтобы определить вероятность обитаемости планеты. Кроме того, возрастает роль ИИ для принятия автономных решений, например, для изменения траектории движения или поиска образцов пород местности, а также для сортировки данных с целью выбора только полезной информации для передачи в центры мониторинга. ИИ также используют для навигации КА и марсоходов.¹²

Искусственный интеллект для спутников и спутниковых систем

Большое внимание в последние годы уделяется применению технологий ИИ в бортовых системах

¹¹ Коллаборативные роботы или коботы – роботы нового поколения, которые разработаны специально для работы рядом и вместе с людьми. Это автоматические устройства, которые могут работать совместно с человеком для создания или производства различных продуктов. Как и промышленные роботы, коботы состоят из манипулятора и перепрограммируемого устройства управления, которое формирует управляющие воздействия, задающие требуемые движения исполнительных органов манипулятора. Применяются в решении задач, которые нельзя полностью автоматизировать.

¹² AI Today Podcast #109: Live at Amazon Re: MARS – Interview with Tom Soderstrom, Jet Propulsion Laboratory (JPL) // <https://www.aidatatoday.com/ai-today-podcast-107-live-at-amazon-remars-interview-with-tom-soderstrom-jet-propulsion-laboratory-jpl/>, (дата обращения 23.07.2023).

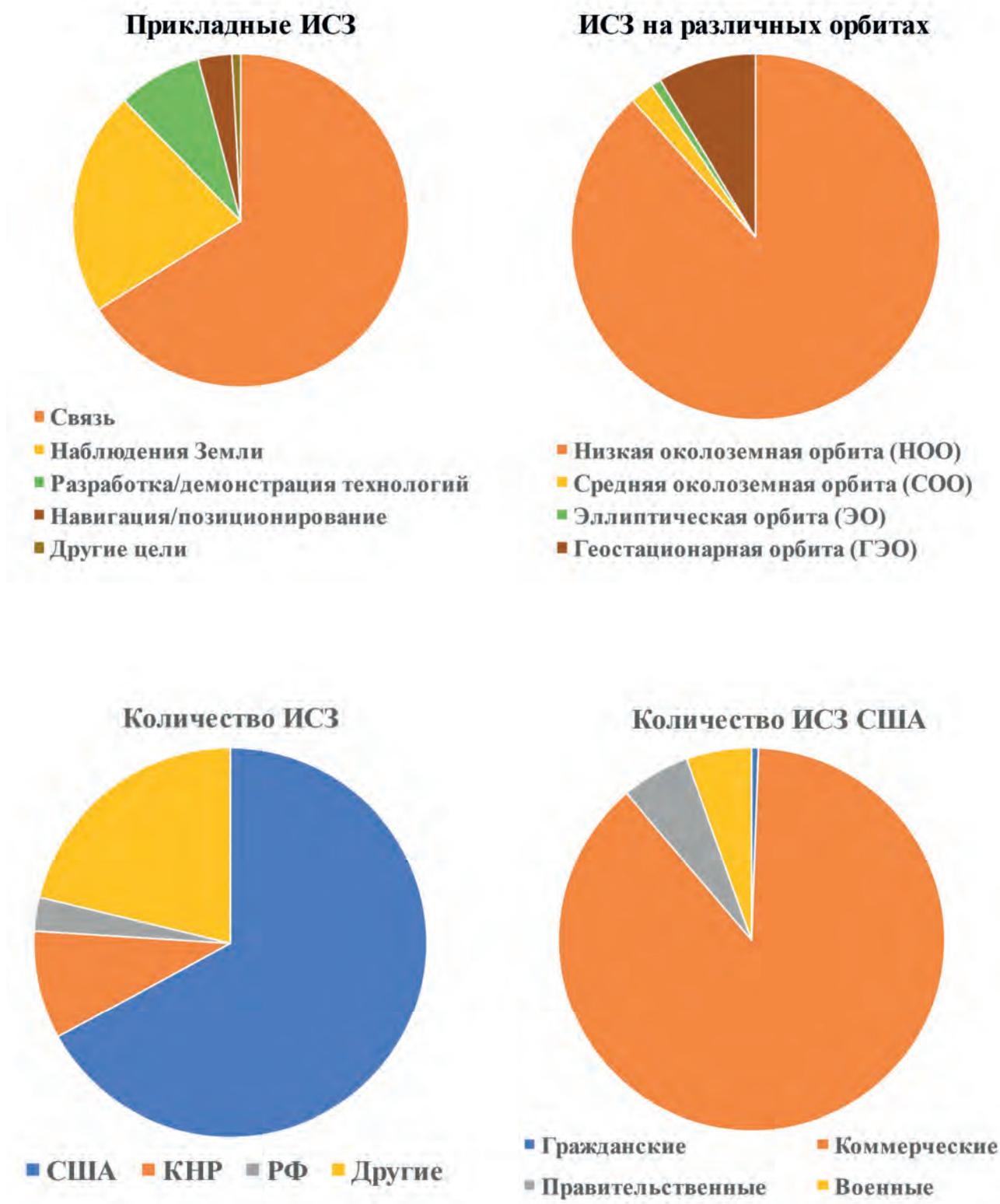


Рис. 1. Данные об ИСЗ на орбитах в 2023 г.*

* Рисунок построен автором на основе данных: https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id=; <https://www.geospatialworld.net/prime/business-and-industry-trends/how-many-satellites-orbiting-earth/> (дата обращения 23.07.2023).

контроля, диагностики и управления техническим состоянием (СКДУ) ИСЗ. Это обосновано, так как решаемые ими задачи по уровню сложности (прежде всего в силу сложности формального описания самого объекта контроля и управления) могут быть отнесены к классу трудноформализуемых задач. Кроме того, интерес обусловлен потенциальной возможностью существенного повышения уровня автономности КА. В настоящее время на борту спутников осуществляется в основном контроль технического состояния, а диагностирование и управление техническим состоянием проводится наземными комплексами управления.

В ряде российских ИСЗ связи уже более двадцати лет применяются бортовые программные комплексы автономного контроля, диагностики и управления, построенные по принципу динамических экспертных систем. В КА NASA в качестве аналога российских СКДУ выступают системы управления живучестью *ISHM (Integrated Systems Health Management)*, которые используют нейросетевые методы для решения задачи прогнозирования технического состояния аппарата.

Программы ИИ для контроля состояния ИСЗ постоянно совершенствуются, исходя из постоянного расширения списка как потенциально предсказуемых, так и маловероятных рисков: это огромное количество вариантов от рядовых неисправностей до столкновения с другими космическими объектами. Используются ИИ, непрерывно отслеживающие показатели большого количества сенсоров, которые могут не только оповещать людей о проблемах, но и самостоятельно их решать. Так, компания SpaceX уже установила на свои ИСЗ системы сенсоров и механизмов, которые могут отслеживать положение аппарата и корректировать его для исключения столкновения с другими объектами¹³.

Поскольку контроль, диагностика и управление техническим состоянием бортовых систем ИСЗ должны осуществляться непрерывно, то, по мнению специалистов, среди всех технологий ИИ для решения этих задач наиболее целесообразно использовать так называемые динамические экспертные системы, которые способны в реальном масштабе времени по результатам измерения различных параметров бортовых систем ИСЗ и их обработки с использованием базы знаний (в

общем случае динамически развивающейся) осуществлять управление их техническим состоянием.

Помимо контроля и управления спутниками, алгоритмы ИИ также необходимы для поддержания стабильной связи и преодоления практически любых проблем [12, 13]. На качество соединения может влиять близость других аппаратов, солнечный ветер, возмущения в атмосфере Земли и т.д. ИИ на борту постоянно определяет мощность и частоты, необходимые для передачи данных на Землю или на другие ИСЗ.

Тематическая обработка спутниковых изображений сегодня является одной из ставших уже традиционными областей применения технологий ИИ, позволяющим улучшить качество съемки поверхности Земли и других объектов. Спутники и космические телескопы каждую минуту генерируют миллионы снимков, ежедневно обрабатываются сотни терабайтов данных для передачи на Землю информации о наземных объектах, погодных условиях, состоянии лесов и морей, формирования актуальных онлайн-карт и т.д. Спутниковые изображения используются сегодня практически во всех отраслях деятельности – геологии и гидрологии, лесоводстве, охране окружающей среды, сельском хозяйстве, планировке территорий, в образовательных, разведывательных и военных целях.

Наибольшее распространены в этой области стали нейросетевые технологии, которые получили интенсивное развитие после появления впечатляющих результатов их применения в области обработки изображений с применением так называемых методов глубокого обучения, например, сверхточные нейронные сети [14-16]. В настоящее время нейросетевые методы обработки спутниковых изображений реализованы в ряде различных программных инструментов, например, *ENVI, ScanEx Image Processor, ArcSDM* (модуль в составе *ArcView*) и др., которые достаточно активно используются на практике.

Искусственный интеллект в наземных центрах управления спутниками

В настоящее время управление спутниками осуществляется удаленно с наземных центров, где оператор может одновременно контролировать и вмешиваться в работу каждого отдельного спутника или группы ИСЗ, установленной в многоспутниковых системах, когда оператор вручную выбирает данные из настроек подсистем каждого спутника в группировке и переключается между различными связанными интерфейсами. Приоритеты вмешательства должны оце-

13 Passant Rabie. SpaceX Starlink Satellites Have to Dodge Objects in Orbit Nearly 140 Times Every Day, July 10, 2023, // <https://gizmodo.com/spacex-starlink-satellites-dodge-137-objects-daily-1850616506>, (дата обращения 27.07.2023).

ниваться оператором с учетом потенциальных последствий в случае непринятия корректирующих действий. Поэтому, независимо от уровня автономности отдельных спутников в многоспутниковых системах мониторинг деятельности требует управления все большим объемом информации в сложных сценариях эксплуатации. ИИ «предлагает» спутник, в работу которого должен вмешаться оператор, а также тип вмешательства, которое должно быть реализовано в соответствии с анализом данных в реальном времени и конкретными условиями и потребностями. Таким образом, это может снизить неопределенность и сложность информации, которой нужно управлять, а также определить приоритетность данных, подлежащих обработке, что, в итоге, сделает процесс принятия решений более эффективным.

Так, входящий в госкорпорацию «Роскосмос» холдинг «Российские космические системы» (РКС) разрабатывает саморегулируемую технологию управления многоспутниковыми орбитальными группировками с элементами ИИ и минимальным участием человека, которая позволит в будущем автоматизировать управление спутниковыми группировками из тысяч КА. Особенностью новой технологии является переход от применяемого сегодня точечного управления отдельными КА к управлению системным эффектом всей орбитальной группировки. Специалисты РКС используют методы согласованной самоорганизации (гомеостаза), который позволит эффективно управлять орбитальной структурой, ее численностью, ресурсами системы, сетью передачи данных и орбитальной вычислительной сетью. При существующей сегодня в России космической группировке, состоящей из более чем 150 спутников, наземный автоматизированный комплекс ежедневно проводит до 2 тысяч сеансов управления.¹⁴ Применяемая до этого традиционная технология, предполагающая обслуживание каждого КА в отдельности, отслеживая его работоспособность и орбитальную позицию, парируя отклонения или угрозы, имеет свои лимиты: дальнейший рост группировки с учетом ограничений по наращиванию ресурсов управления создают вероятность коллапса. Новая же саморегулируемая технология с ИИ позволит реализовать отечественные проекты многоспутниковых мультисервисных орбитальных группировок численностью от нескольких сотен до

тысяч КА для обеспечения навигации, связи, дистанционного зондирования Земли и других функций.

Для новой системы управления разработчики предлагают иерархическую структуру. На верхних ее уровнях будут вводиться новые задачи управления в соответствии с системным и целевым эффектами. Система управления самостоятельно определит КА для формирования орбитальных структур для реализации различных целевых эффектов — проведения космической съемки поверхности, передачи информации или навигационного сигнала и др. Для этого она будет оценивать орбитальные позиции каждого спутника, их техническое состояние, наличие энергоресурса и запасы рабочего тела. Для дальнейшего увеличения возможностей саморегулируемой системы для многоспутниковых орбитальных группировок предполагается использовать технологию GRID-систем путем создания глобального «виртуального суперкомпьютера» — объединения в единую сеть вычислительных мощностей автоматизированных систем управления и самих космических аппаратов.

Человек для космического искусственного интеллекта

Помимо алгоритмов анализа данных ИСЗ и определения приоритетов, для интеграции ИИ в процессы управления спутниками необходимы интуитивно понятные и «легкие для чтения» интерфейсы. Это задача, которая требует активного включения человеческого фактора. Основная цель интеллектуальных интерфейсов – улучшить взаимодействие пользователя с машиной и, следовательно, повысить производительность оператора. В этой области исследования сосредоточены на так называемых адаптивных интерфейсах, которые предназначены для адаптации к когнитивной структуре пользователя (т.е. его образу мышления), его психическому и эмоциональному состоянию. Для приложений с небольшим количеством данных и сценариев управления разработка адаптивных интерфейсов относительно проста. Но если сложность возрастает, как в случае управления несколькими спутниками, объем информации также увеличивается. Таким образом, интерфейсы должны быть способны представлять все эти данные пользователям в понятной форме, чтобы избежать стрессовой нагрузки и снижения внимания человека. При этом создание адаптивных интерфейсов связаны с целой группой возникающих при взаимодействии человека с элементами системы проблем, решение которых необходимо для удобства человека и производительности самой системы. В

¹⁴ Перспективная технология управления многоспутниковой орбитальной группировкой // <https://www.roscosmos.ru/29579/>, (дата обращения 23.07.2023).

частности, это проблема рисков лишения оператора возможности прогнозировать поведение системы в определенных условиях при воздействии ИИ, в том числе, в случае необходимости управления несколькими операторами, каждый из которых обладает естественными когнитивными отличиями. Следовательно, разработка и реализация адаптивной автоматизации представляют собой сложную задачу для исследований, но эти инновационные интерфейсы имеют много преимуществ, а их значение в космической индустрии будет ускоренно возрастать уже в ближайшей перспективе.

Таким образом, мы выходим на ключевую проблему в области космонавтики, а именно на вопросы подготовки кадров – учёных, конструкторов, инженеров, специалистов среднего звена для космической отрасли. Максимально актуальны сегодня конкурентные решения, направленные на совершенствование всех уровней образования, в том числе, с учётом появления принципиально новых профессий и технологических направлений. Необходима активизация деятельности научного и экспертного сообщества, направленной на решение проблемы междисциплинарной подготовки специалистов космической индустрии с привлечением результатов из различных наук и научных направлений (кроме обязательных точных наук, в частности, это максимально широкое развитие знаний и навыков в различных областях программирования (в том числе, ИИ), политологии, психологии, международных отношений и др.).

Заключение

Представленный в статье анализ космической обстановки, российских и иностранных разработок в сфере применения ИИ в космической сфере позволяет сделать вывод о важной роли ИИ в развитии современных космических технологий, влиянии состояния спутниковой группировки на уровень стратегической стабильности, национальной и международной безопасности, что доказывает значимость количественных и качественных характеристик спутниковой группировки в качестве одного из важнейших показателей авторитета и потенциала государства в мире.

Для обеспечения экономического, научно-технологического развития и безопасности России целесообразно:

- расширить потенциал использования ближнего космоса, околоземной орбиты на основе российских и совместных международных разработок;

- совершенствовать механизмы обеспечения безопасности КА;
- увеличить количественный и качественный потенциал спутниковой группировки РФ, обеспечить создание и эксплуатацию российских многоспутниковых группировок;
- использовать новейшие технологии, в том числе, ИИ для обеспечения безопасной космической обстановки как совокупности космических объектов, факторов и условий космического пространства, влияющих на подготовку, ход и исход операций и процессов в космическом пространстве;
- использовать и развивать возможности ИИ для расширения доступности ключевых космических сервисов и транспортно-логистических коридоров, в том числе Северного морского пути;
- расширить применение космических услуг, в том числе, с использованием ИИ для развития потенциала перспективных секторов экономики;
- расширить применение ИИ для обеспечения безопасности критической военной технологии, направленной на решение принципиально новых военно-технических задач;
- совершенствовать процессы обеспечения благоприятных условий для недопущения завоевания противником превосходства в стратегической космической зоне, для чего необходим комплекс мероприятий, проводимых в космическом пространстве и на территории России, в том числе, новых проектов в сфере ИИ;
- обеспечить условия для разработки инновационного национального российского проекта в области спутниковых технологий с привлечением внебюджетных средств в космическую сферу¹⁵;
- разработать механизмы использования ИИ для решения задач, поставленных Президентом РФ В.В. Путиным на Совещании по вопросам развития космической отрасли от 26 октября 2023 г.:
- налаживание серийного производства космических аппаратов, переход к конвейерной сборке;
- радикальное снижение стоимости доставки КА на околоземную орбиту, создание необходимой инфраструктуры для массовых запусков спутни-

15 Совещание по вопросам развития космической отрасли // <http://www.kremlin.ru/events/president/news/72606>, (дата обращения 26.10.2023).

- ков, включая малые КА, и обеспечить доступ к ней для частных технологических компаний;
- развитие экспорта российских космических продуктов и услуг;
- при подготовке и развитии кадрового потенциала в сфере космической индустрии применять междисциплинарный научный подход, включающий возможность взаимодействия двух или

- более научных дисциплин и выявление новых областей знания, которые не исследуются существующими дисциплинами;
- для обеспечения безопасности и устойчивости глобальной информационной инфраструктуры расширить международное сотрудничество в сфере ИИ, в первую очередь, в рамках СНГ, Евразэс, ШОС, БРИКС и ОДКБ.

Литература

1. Datta A. How many satellites orbit Earth and why space traffic management is crucial, 08.23.2020. // <https://www.geospatialworld.net/blogs/how-many-satellites-orbit-earth-and-why-space-traffic-management-is-crucial/>, (дата обращения 23.08.2023).
2. Artificial Intelligence for satellite management: the HMI challenge / Redazione, 28.03.2023. // <https://dblue.it/en/artificial-intelligence-for-satellite-management-the-hmi-challenge/>, (дата обращения 15.09.2023).
3. Ромашкина Н.П. Космос как часть глобального информационного пространства в период военных действий // Вопросы кибербезопасности. 2022. № 6 (52). С. 100-111, DOI 10.21681/2311-3456-2022-6-100-111.
4. Ромашкина Н.П. Космос как сфера конфронтации: спутники США в новых реалиях // Информационные войны. 2023. № 2 (66). С. 16-24.
5. Ромашкина Н.П., Марков А.С., Стефанович Д.В. Information Technologies and International Security : [electronic resource]. – Moscow : ИММО, 2023. – 111 p. – ISBN 978-5-9535-0613-7. – DOI 10.20542/978-5-9535-0613-7. // <https://www.imemo.ru/publications/info/information-technologies-and-international-security>.
6. Ромашкина Н.П. Международно-правовой режим контроля над кибероружием в будущем миропорядке: угрозы и перспективы // Дипломатическая служба. 2023. № 2. С. 150-161. DOI 10.33920/vne-01-2302-07. // <https://www.imemo.ru/files/File/ru/publ/2023/DipSluzhba-022023-Romashkina.pdf>, (дата обращения 23.09.2023).
7. Марков А.С., Шерemet И.А. Безопасность программного обеспечения в контексте стратегической стабильности // Вестник академии военных наук. 2019. № 2 (67). С. 82–90.
8. Ромашкина Н. П. Глобальные военно-политические проблемы международной информационной безопасности: тенденции, угрозы, перспективы // Вопросы кибербезопасности. 2019. №. 1 (29). С. 2–9, DOI: 10.21681/2311–3456-2019-1-2-9.
9. Ромашкина Н.П., Марков А.С., Стефанович Д.В. Международная безопасность, стратегическая стабильность и информационные технологии / отв. ред. А.В. Загорский, Н.П. Ромашкина. – М.: ИМЭМО РАН, 2020. – 98 с. DOI: 10.20542/978-5-9535-0581-9. // <https://www.imemo.ru/publications/info/romashkina-mp-markov-as-stefanovich-dv-mezhdunarodnaya-bezopasnosty-strategicheskaya-stabilnosty-i-informatsionnie-tehnologii-otv-red-av-zagorskiy-mp-romashkina-m-imemo-ran-2020-98-s>, (дата обращения 23.07.2023).
10. Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2019, том 6, выпуск 1, с. 65–75. DOI 10.30894/issn2409-0239.2019.6.1.65.75.
11. Frackiewicz M., The Role of Collaborative Robots (Cobots) in Space Exploration, May 15, 2023, // <https://ts2.space.ru/%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C-%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE-%D0%BA%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE-4/>, (дата обращения 23.09.2023).
12. Marrero L. M., Merlano-Duncan J. C., Querol J., Kumar S., Krivochiza J., Sharma S. K., Chatzinotas S., Camps A., and Ottersten B. Architectures and Synchronization Techniques for DistributedSatellite Systems: A Survey, IEEE Access, vol. 10, pp. 45 375–45 409,2022.
13. Homssi B. A., Dakic K., Wang K., Alpcan T., Allen B., Kan-deepan S., Al-Hourani A., and Saad W. Artificial Intelligence Tech-niques for Next-Generation Mega Satellite Networks. arXiv preprintarXiv:2207.00414, 2022.
14. Николенко С.И., Кадури А. А., Архангельская Е. О. Глубокое обучение. СПб: Питер, 2018. 480 с.
15. Городецкий В. И. Самоорганизующиеся сети агентов — базовая модель группового и кооперативного поведения автономных объектов // Сборник трудов научно-технической конференции Минобороны РФ «Искусственный интеллект: проблемы и пути решения», 14–15 марта 2018. С. 9–15.
16. Лихтенштейн В. Е., Коняевский В. А., Росс Г. В., Лось В. П. Мультиагентные системы. Самоорганизация и развитие. М.: Финансы и статистика, 2018. 264 с.

SATELLITE CONTROL SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE¹⁶

Romashkina N.P.¹⁷

Purpose: To identify the current opportunities for the use of artificial intelligence in the space industry based and to develop proposals that can expand the potential of using artificial intelligence in the exploration of near space, near-Earth orbit to ensure economic, scientific and technological development and security of Russia.

Research method: analysis of open data sources on the use of artificial intelligence in the space industry, synthesis and scientific forecasting, expert assessment, factological analysis within the framework of a systems approach, interdisciplinary approach.

Result: the article presents an analysis of the current space situation and the use of artificial intelligence technologies in the space sector, including in control systems of artificial Earth satellites and multi-satellite constellations. The article presents the key factors that determine the feasibility of using artificial intelligence, as well as the main directions of its use in the space industry. The article identifies promising artificial intelligence technologies in space robotics, deep space exploration, monitoring, diagnostics and management of the technical condition of satellites, management of a multi-satellite constellation, and processing of satellite images. The author poses the problems of the influence of the state of the satellite constellation on the level of strategic stability, national and international security; the importance of artificial intelligence for the development of space technologies; training personnel for the space industry based on an interdisciplinary scientific approach. The article proves that the quantitative and qualitative characteristics of a satellite constellation are today one of the most important indicators of the influence and potential of a state in the world.

Practical value: Proposals have been developed to expand the potential of using artificial intelligence in the exploration of near space, near-Earth orbit to ensure the economic, scientific and technological development and security of Russia.

Keywords: space industry, space situation, artificial Earth satellite (AES), artificial intelligence (AI), orbital constellation, satellite control system, multi-satellite constellation, Russian space potential, interdisciplinary scientific approach.

References

1. Datta A. How many satellites orbit Earth and why space traffic management is crucial, 08.23.2020. // <https://www.geospatialworld.net/blogs/how-many-satellites-orbit-earth-and-why-space-traffic-management-is-crucial/>, (accessed 23.08.2023).
2. Artificial Intelligence for satellite management: the HMI challenge / Redazione, 28.03.2023. // <https://dblue.it/en/artificial-intelligence-for-satellite-management-the-hmi-challenge/>, (accessed 15.09.2023).
3. Romashkina N.P. Kosmos kak chast' global'nogo informacionnogo prostranstva v period voennyh dejstvij // Voprosy kiberbezopasnosti. 2022. № 6 (52). S. 100-111, DOI 10.21681/2311-3456-2022-6-100-111.
4. Romashkina N.P. Kosmos kak sfera konfrontacii: sputniki SSHA v novyh realiyah // Informacionnye vojny. 2023. № 2 (66). S. 16-24.
5. Romashkina N.P., Markov A.S., Stefanovich D.V. Information Technologies and International Security : [electronic resource]. – Moscow: IMEMO, 2023. – 111 p. – ISBN 978-5-9535-0613-7. – DOI 10.20542/978-5-9535-0613-7. // <https://www.imemo.ru/publications/info/information-technologies-and-international-security>.
6. Romashkina N.P. Mezhdunarodno-pravovoj rezhim kontrolya nad kiberoruzhiem v budushchem miroporyadke: ugrozy i perspektivy // Diplomaticeskaya sluzhba. 2023. № 2. S. 150-161. DOI 10.33920/vne-01-2302-07. // <https://www.imemo.ru/files/File/ru/publ/2023/DipSluzhba-022023-Romashkina.pdf>, (accessed 23.09.2023).
7. Markov A.S., SHeremet I.A. Bezopasnost' programmnoho obespecheniya v kontekste strategicheskoy stabil'nosti // Vestnik akademii voennyh nauk. 2019. № 2 (67). P. 82–90.
8. Romashkina N. P. Global'nye voenno-politicheskie problemy mezhdunarodnoj informacionnoj bezopasnosti: tendencii, ugrozy, perspektivy // Voprosy kiberbezopasnosti. 2019. №. 1 (29). S. 2–9, DOI: 10.21681/2311–3456-2019-1-2-9.

16 The article was prepared within the project «Post-crisis world order: challenges and technologies, competition and cooperation» supported by the grant from Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation program for research projects in priority areas of scientific and technological development (Agreement № 075-15-2020-783).

17 Nataliya P. Romashkina, Ph.D. (Political Science), Head of the Informational Security Problems Group of the Primakov National Research Institute of World Economy and International Relations (IMEMO) of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: Romashkinan@yandex.ru.

9. Romashkina N.P., Markov A.S., Stefanovich D.V. *Mezhdunarodnaya bezopasnost', strategicheskaya stabil'nost' i informacionnye tekhnologii / otv. red. A.V. Zagorskiy, N.P. Romashkina.* – M.: IMEMO RAN, 2020. – 98 s. DOI: 10.20542/978-5-9535-0581-9. // <https://www.imemo.ru/publications/info/romashkina-np-markov-as-stefanovich-dv-mezhdunarodnaya-bezopasnosty-strategicheskaya-stabil'nosty-i-informatsionnye-tehnologii-otv-red-av-zagorskiy-np-romashkina-m-imemo-ran-2020-98-s>, (accessed 23.07.2023).
10. *Iskusstvennyj intellekt v kosmicheskoy tekhnike: sostoyanie, perspektivy razvitiya // Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informacionnye sistemy, 2019, tom 6, vypusk 1, c. 65–75.* DOI 10.30894/issn2409-0239.2019.6.1.65.75.
11. Frackiewicz M., *The Role of Collaborative Robots (Cobots) in Space Exploration*, May 15, 2023, <https://ts2.space.ru/роль-коллаборативных-роботов-кобото-4> (accessed 23.09.2023).
12. Marrero L. M., Merlano-Duncan J. C., Querol J., Kumar S., Krivochiza J., Sharma S. K., Chatzinotas S., Camps A., and Ottersten B. *Architectures and Synchronization Techniques for Distributed Satellite Systems: A Survey*, IEEE Access, vol. 10, pp. 45 375–45 409, 2022.
13. Homssi B. A., Dakic K., Wang K., Alpcan T., Allen B., Kan-deepan S., Al-Hourani A., and Saad W. *Artificial Intelligence Techniques for Next-Generation Mega Satellite Networks*. arXiv preprint arXiv:2207.00414, 2022.
14. Nikolenko S.I., Kadurin A. A., Arhangel'skaya E. O. *Glubokoe obuchenie*. SPb: Piter, 2018. 480 s.
15. Gorodeckij V. I. *Samoorganizuyushchiesya seti agentov – bazovaya model' gruppovogo i kooperativnogo povedeniya avtonomnyh ob'ektov // Sbornik trudov nauchno-tekhnicheskoy konferencii Minoborony RF «Iskusstvennyj intellekt: problemy i puti resheniya», 14–15 marta 2018. S. 9–15.*
16. Lihtenshtejn V. E., Konyavskij V. A., Ross G. V., Los' V. P. *Mul'tiagentnye sistemy. Samoorganizaciya i razvitie*. M.: Finansy i statistika, 2018. 264 s.

