

К вопросу развития систем мониторинга космического пространства с целью обеспечения безопасности и устойчивого развития космической деятельности

On the issue of deployment and enhancement of space surveillance systems in order to ensure safety and sustainable development of space activity

В работе рассмотрены риски реализации космических миссий в текущих условиях множащегося скопления техногенных объектов в околоземном космическом пространстве; выявлены тренды и прогноз развития сферы осуществления наблюдений и обеспечения информированности о ситуации в космической среде; подтверждена необходимость реализации систем мониторинга космического пространства и концептуально исследованы их функциональность, основы организационной структуры и возможные технологические составляющие; проведен обзор действующей отечественной гражданской системы мониторинга околоземного космического пространства АСПОС ОКП (Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве) и проекта ее преобразования в новую перспективную систему.

В работе использованы методы системного и сравнительного анализа, классификации, описания и формализации. Данная работа является первой частью исследования, посвященного анализу существующих систем мониторинга динамики космической обстановки, функционирующих с целью поддержки безопасности космической деятельности, и изучению возможных подходов к обеспечению сохранения экологии космического пространства при его эксплуатации.

The paper considers risks of implementing space missions in the current conditions of growing man-made objects accumulation in near-Earth space; trends and forecast in domain of space situational awareness are identified; the necessity to develop space monitoring systems is confirmed and their functionality, the basis of its organizational structure and possible technological components are conceptually investigated; there is a review of current domestic civil near-Earth space surveillance system ASPOS OKP and of the project of its transformation into a new advanced system.

System analysis, comparative analysis, description, classification and formalization are used as methods. This paper is the first part of the research devoted to the study of current space surveillance systems which aim to ensure safety of space activities and of possible approaches to maintain environmental ecology of outer space during its exploitation.

Ключевые слова: синдром Кesslera, космический мусор, системы мониторинга космического пространства, безопасность в космосе, АСПОС ОКП.

Keywords: Kessler syndrome, space debris, space surveillance systems, safety in outer space, ASPOS OKP.



ЛЕУС НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Главный эксперт Управления стратегического развития, АО «Организация «Агат»
 ORCID: 0009-0000-0712-4370
 E-mail: LeusNA@agat-roskosmos.ru

LEUS NIKOLAY

Senior Expert at Strategic Development Department, JSC "Organization "Agat"



МАКАРОВА ДАРЬЯ ЮРЬЕВНА

Специалист Управления стратегического развития, АО «Организация «Агат»
 ORCID: 0000-0002-4065-4602
 E-mail: MakarovaDY@agat-roskosmos.ru

MAKAROVA DARIA

Specialist at Strategic Development Department, JSC "Organization "Agat"

Введение

Засорение околоземного космического пространства (ОКП) представляет собой актуальную, насущную проблему, способную существенно подорвать безопасность и предсказуемость космической деятельности и, соответственно, ее устойчивое развитие.

На сегодняшний день в ОКП скопилось значительное количество объектов техногенного происхождения, среди которых как действующие космические аппараты (КА), так и «космический мусор» (КМ), составляющий около 92% от общего числа каталогизированных космических объектов (КО) [1]. К КМ относят завершившие свою миссию КА, ступени ракет-носителей (РН) и разгонные блоки, операционные элементы запусков, фрагменты разрушений объектов ракетно-космической техники и их частей, оставшиеся и циркулирующие на орбитах частицы техногенного вещества [2].

Получаемые различными аналитическими системами данные о количестве неуправляемых техногенных объектов в космосе различаются. Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства США (NASA) выявлено свыше 26 тыс. объектов КМ размером более 10 см, свыше 500 тыс. объектов КМ размером от 1 см и более 100 млн размером от 1 мм [3]. По данным Европейского космического агентства (ESA) количество неуправляемых КО размером от 10 см в 2022 г. достигло 36,5 тыс., увеличившись с 2015 г. более чем в 2 раза (рис. 1). При этом расчетное количество КО от 1 см до 10 см составляет около 1 млн,

а от 1 мм до 1 см – 130 млн [4]. Согласно оценкам NASA, на данный момент в ОКП находится более 9 метрических тонн КМ [5].

В современных условиях нарастающего скопления техногенных КО в ОКП существенно повышаются риски осуществления космических миссий и возникает необходимость в разработке технологических решений и реализации превентивных мер по предотвращению опасных ситуаций в космосе или минимизации их возможных последствий.

Причины, тенденции, угрозы засорения и роста загруженности ОКП

Появление КМ на орбите происходило в течение всей космической эры. Большое количество обломков КМ образовалось во время незапланированных взрывов двигательных установок в космосе на борту КА или в составе частей ракет. Данная причина составляет 36,6% от общего количества происшествий, связанных с образованием фрагментарного КМ (рис. 2). Вторая причина образования фрагментарного КМ, занимающая по доле примерно 26,7%, — намеренная ликвидация КА: государства уничтожали свои КА в случае их выхода из строя и после завершения миссии, а также проводили военные испытания, приводящие к образованию нового КМ. Также 15,6% происшествий невозможно отнести ни к одной конкретной категории причин ввиду отсутствия достаточных доказательств. Столкновения между КО составляют 8,8% от общего количества событий возник-

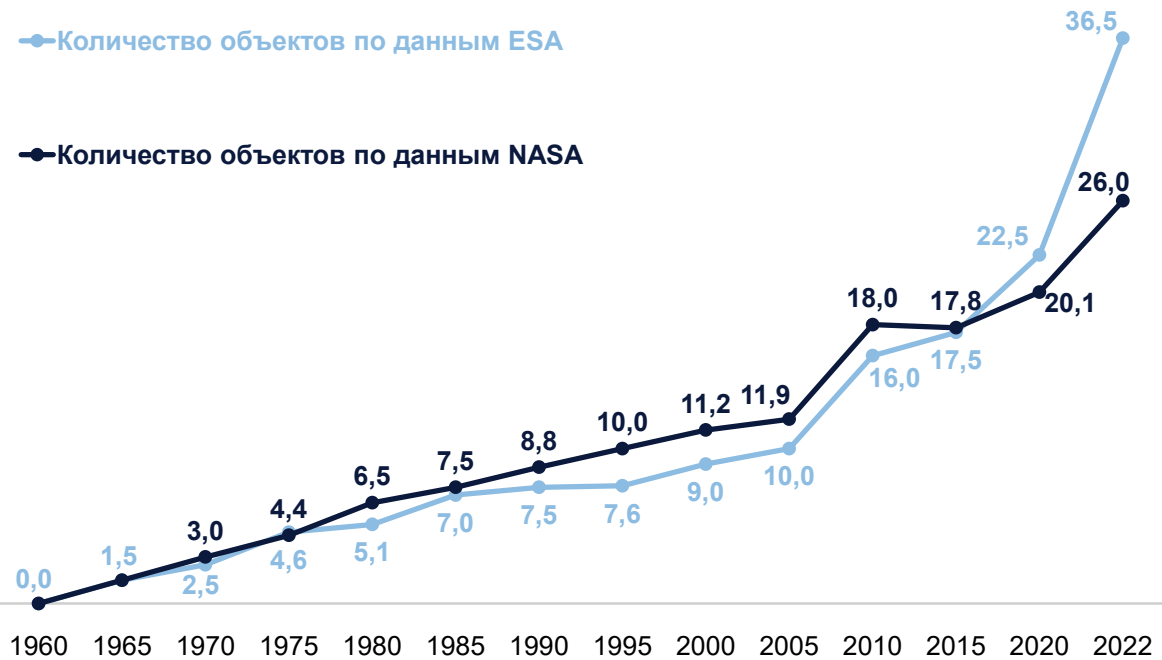


Рис. 1. Динамика увеличения объема КМ, тыс. объектов.
 Источник: составлено авторами на основе публикаций в зарубежных источниках [5;6]

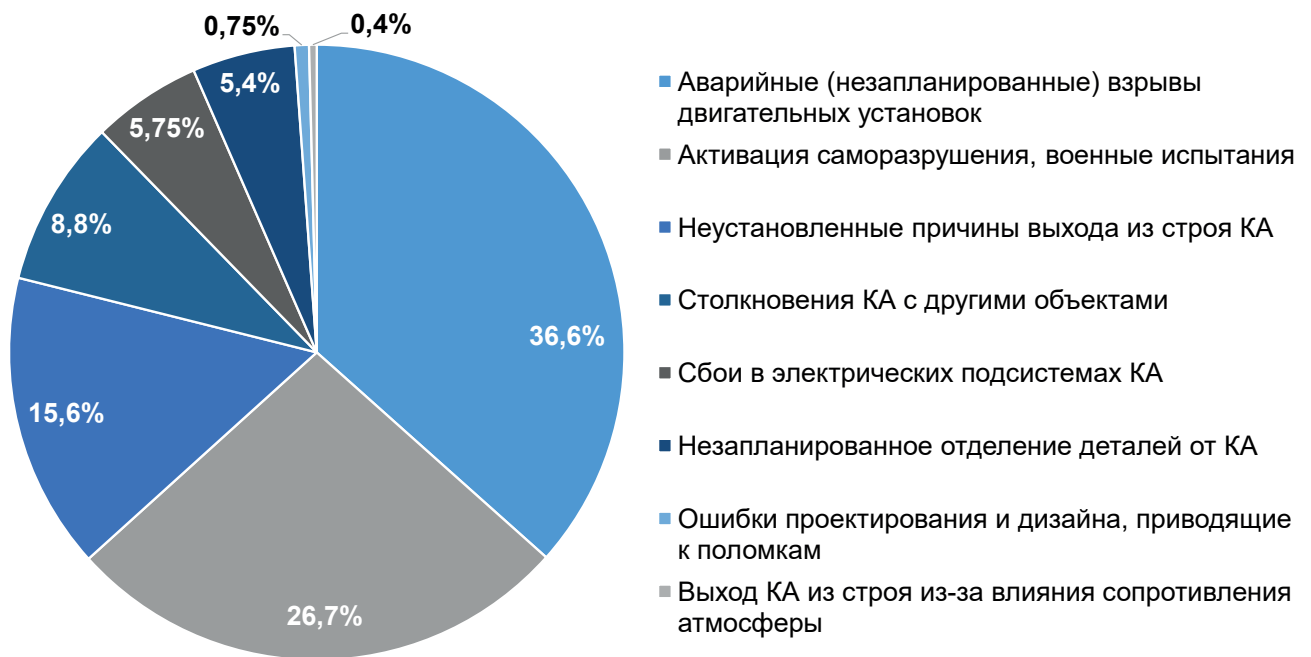


Рис. 2. Долевой состав неуправляемых и потенциально опасных КО в ОКП в соответствии с причиной их возникновения, %.
 Источник: составлено авторами на основе данных ESA [7]

новения КМ. Стоит отметить, что один подобный случай способен образовать более 2 тыс. только крупных фрагментов КМ. Категория событий, связанных со сбоями в электрических подсистемах, занимает долю в 5,75%

причин – в основном это взрывы перезаряженных батарей. КМ в виде деталей, незапланированно отделившихся от КА (например, изоляционный материал или солнечные панели), – это 5,4% причин образования

фрагментарного КМ. Самые незначительные причины – недоработки в конструкции, которые приводят к поломкам и авариям, и ситуации, когда атмосферное сопротивление приводит к «избыточному давлению» – составляют по доле около 0,75% и 0,4% от общего количества причин возникновения КМ соответственно [7].

Благодаря существующему уровню технологического развития и накопленным знаниям ожидается намного меньшее количество событий самовзрывов КА, однако растущая плотность космического трафика будет способствовать росту потенциального количества столкновений между КО [7].

На июль 2023 г. в ОКП находилось около 8 тыс. активных КА, причем более половины из них запущены в последние 3 года [4; 5; 8]. В 2022 г. на орбиту запущено 2 325 коммерческих КА, что на 35% больше, чем в 2021 г. [8]. И в последующие 10 лет данные темпы лишь ускорятся. По оценкам экспертов, в ближайшие 5-7 лет количество функционирующих КА увеличится до 40-70 тыс. [9; 10]. Согласно сценарию Ассоциации спутниковой индустрии (SIA) к 2030 г. возможна ситуация нахождения на орбитах уже около 100 тыс. коммерческих КА [5].

КМ распределен по орбитам неравномерно. Наибольшее его скопление отмечается на низкой околоземной орбите (НОО) и геосинхронной (ГСО), в частности, на геостационарной орбите из-за высокой популярности запусков на данные высоты.

НОО – орбитальная территория ниже 2 тыс. км над поверхностью Земли, самый близкий к Земле орбитальный сектор. Здесь расположена МКС, часто размещаются КА дистанционного зондирования и телекоммуникационные КА. Спутники на НОО совершают оборот вокруг Земли несколько раз в сутки. НОО является самой технически доступной для размещения КА орбитальной территорией, пользуется спросом у частных космических игроков.

Средняя околоземная орбита (СОО) – орбитальная территория, которая начинается на высоте приблизительно 2 тыс. км. Большинство КА на СОО находятся в области средневысоких орбит (СВО) на высотах 19-21 тыс. км, что обеспечивает период обращения вокруг Земли длительностью примерно 12 часов. Здесь обычно располагаются навигационные КА и КА научно-го исследования ОКП.

ГСО – орбитальная территория, на которой КА вращаются с той же скоростью, что и Земля, завершая орбиту 1 раз в звездные сутки. Чаще всего под ГСО подразумевается её частный случай – геостационарная орбита, лежащая в плоскости земного экватора с высотой 35 786 км, где КА как бы «висят» неподвижно над

определенной неизменной точкой на Земле. ГСО очень востребована, здесь расположены множество телекоммуникационных КА, КА связи, ретрансляции и наблюдения Земли.

Высокая эллиптическая орбита (ВЭО) – орбита, у которой высота в апогее во много раз превышает высоту в перигее. КА на ВЭО пересекают множество высот. ВЭО позволяет КА задерживаться в определенных точках длительное время, что создает преимущества для КА связи и других устройств, которым требуются длительные периоды видимости над землей (рис. 3).

В настоящее время в связи с развертыванием сверхбольших спутниковых группировок, состоящих из малоразмерных КА, и растущего количества операторов, готовых создать и запустить свою группировку, астрономически повышается риск выхода КА из строя из-за потенциальных столкновений с другими КО, особенно на НОО. Компания SpaceX в рамках своей разворачиваемой глобальной спутниковой системы для предоставления пользователям по всему миру широкополосного доступа в Интернет уже запустила на НОО более 5 тыс. КА Starlink, подав заявку в Федеральную комиссию связи США с запросом на разрешение увеличения системы до 30 тыс. КА. Как коммерческие игроки (OneWeb, Amazon, Telesat, Satellogic и др.), так и правительства (в частности, Китай с планируемой группировкой Guowang из более 13 тыс. КА) заявляют о своих планах по выводу в ОКП спутниковых мегагруппировок с сотнями и тысячами КА. Подобные современные тенденции развития космической деятельности означают вероятный существенный скачок в нарастании загруженности ОКП в обозримом будущем.

В 1978 г. сотрудником NASA Дональдом Дж. Кесслером был выдвинут сценарий появления цепной реакции каскадных столкновений КА и КМ, при котором ОКП может стать непригодным для практического использования, получивший название «Синдром

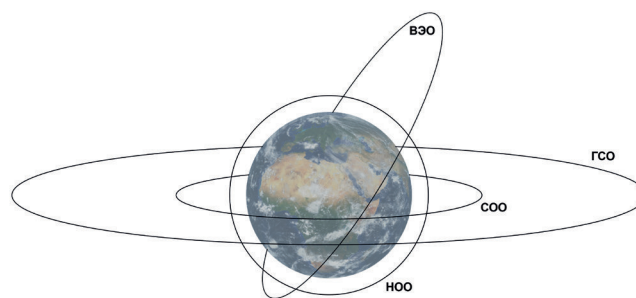


Рис. 3. Схематичное изображение основной классификации орбит.
 Источник: доклад «Управление космическим движением» Национальной академии государственного управления США [11]

(эффект) Кесслера». Синдром Кесслера подразумевает явление, при котором в ОКП находится так много КО, что их столкновение становится неизбежным. Разрушенные при столкновении на огромной скорости КО превращаются в бесполезный и опасный КМ в виде десятков, сотен, тысяч кусков и осколков, который, в свою очередь, усугубляет ситуацию и создает нарастающий цепной механизм дальнейших столкновений среди увеличивающегося количества КО. Кесслер высказывал предположение, согласно которому с течением времени НОО может стать настолько засоренной, что возникнут трудности доступа на нее и это также превратится в преграду к осуществлению пилотируемых космических полетов.

В космической среде объекты даже очень малого размера могут стать причиной разрушения ввиду скорости, с которой они движутся: частица размером чуть более крупинки соли способна, к примеру, оказать значительное негативное воздействие при проникновении в топливный резервуар или другую критическую инфраструктуру КА, повредить зеркальные поверхности/панели солнечных батарей, а в случае выхода человека в открытый космос – пробить скафандр [3]. Мусор в космосе может двигаться со скоростью 7-8 км в секунду, что во много раз превышает скорость пули. Ситуация усугубляется тем, что КМ не отслеживается «идентификационно» и не управляется, а также может постепенно менять свою траекторию. Классификация КМ и вероятные последствия столкновения КА с КМ представлены в табл. 1.

За последние 10 лет именно столкновения и уничтожения КО увеличили количество КМ более чем на 88% [13]. К слову, около 6 тысяч крупных КО (от 10 см) являются следствием проводимых США, Китаем, Индией и Россией военных испытаний в космосе. 1800 КО размером более 10 см появились вследствие столкновения в феврале 2009 г. КА Iridium 33 и вышедшего из строя КА «Космос-2251» на высоте около 800 км. В марте

2021 г. произошло столкновение китайского КА Yunhai 1-02 предположительно с обломком РН «Зенит-2», находившимся на орбите с 1996 г. По прогнозам, подобные столкновения, приводящие к появлению около 2-3 тысяч крупных и множества мелких КО, могут происходить все чаще [5].

Стремительный рост загруженности ОКП приводит к необходимости включения двигателей КА для выполнения маневров уклонения, что значительно влияет на срок их активного существования. Так, согласно поданному SpaceX отчету в Федеральную комиссию связи США в июне 2023 г. КА Starlink были вынуждены выполнить маневры уклонения более 25 тыс. раз в период с 1 декабря 2022 г. по 31 мая 2023 г., чтобы избежать опасных сближений с другими КА и орбитальным КМ. Это примерно вдвое превышает количество маневров уклонения, о которых сообщила SpaceX за предыдущий шестимесячный период с июня по ноябрь 2022 г. С момента запуска первого КА Starlink в 2019 г. спутники SpaceX были вынуждены менять направление более 50 тыс. раз, чтобы предотвратить потенциальные столкновения [14].

Распространение КМ и большого числа КА представляет угрозу не только космическим техногенным активам, но и человеческим жизням. В частности, за период с 2017 по 2021 г. было зафиксировано более 970 опасных сближений Международной космической станции (МКС) с объектами в ОКП. Наиболее опасные произошедшие инциденты с МКС в 2021 – 2022 гг. следующие:

- ноябрь 2021 г. – обломок КМ вынудил экипаж МКС перейти в посадочные модули, чтобы иметь возможность оперативно покинуть станцию;
- июнь 2022 г. – пристыкованный к МКС российский грузовой корабль «Прогресс МС-20» помог станции избежать столкновения с обломками КА «Космос-1408», скорректировав ее орбиту;
- 15 декабря 2022 г. – систему охлаждения корабля «Союз МС-22» пробил спорадическим метеороидом

Класс объектов КМ по размеру	I 0,1-1 см	II 1-10 см	III >10 см
Количество объектов на всех высотах	130 млн	1 млн	36 тыс.
Количество объектов на НОО	20 млн	500 тыс.	23 тыс.
Последствия столкновения с КА	Серьезное повреждение КА	Серьезное повреждение или уничтожение КА	Гарантированное уничтожение КА
Существующие методы защиты	Применение защитных экранов	Маневр уклонения	Маневр уклонения

Табл. 1. Классификация объектов КМ по их размеру и степени угрозы.

Источник: скорректировано авторами, составлено на основе публикации Шустова Б.М. «О роли науки в изучении и парировании космических угроз» в Вестнике Российской академии наук [12]

дом, в результате чего спуск экипажа на нем был отменен в связи с высокими рисками;

- 22 декабря 2022 г. – отложен выход космонавтов Фрэнка Рубио и Джоша Кассады в открытый космос по причине появившейся информации о возможном опасном сближении обломка российской разгонной ступени «Фрегат-СБ» с МКС и началом осуществления маневра уклонения от КМ.

Стремительный рост количества неуправляемых и потенциально опасных КО и количества активных КА в ОКП требует повышения качества мониторинга сближений КО, прогнозирования вероятности столкновений и выработки обоснованных и своевременных рекомендаций для реагирования на эти вызовы.

Системы мониторинга космического пространства: функции, возможности, организационная структура и элементный состав

В РФ, США, Европейском союзе, Китае и частично в других странах существуют системы мониторинга космического пространства (СМКП), занимающиеся наблюдением КО и предупреждением об опасных ситуациях: в России – система «АСПОС ОКП» и её формирующаяся преемница «Млечный путь»; в США – система Space Surveillance Network (SSN); в Европейском союзе – сегмент Space Surveillance and Tracking (SST) европейской совместной программы Space Situational Awareness (SSA); СМКП в Китае и Японии, не имеющие специальных названий; в Индии – Network for Space Objects Tracking and Analysis (NETRA). Благодаря данным службам многих аварий в космосе удается избежать.

При определении объектно-целевой предметной области СМКП возможно выделить её три следующих пересекающиеся сферы:

1. Планетарная оборона;
2. Защита находящихся на орбите людей и космической техники;
3. Безопасность космических полетов, координация движения в ОКП.

Эти сферы включают в себя наблюдение за природными и техногенными объектами и явлениями в космической среде, проведение анализа накопленных данных, прогнозирование будущего движения КО и принятие мер по предотвращению опасных ситуаций. Вместе они образуют единое поле задач СМКП, целью которой является обеспечение безопасности объектов при осуществлении космической деятельности [15].

СМКП способны находить, идентифицировать и осуществлять наблюдение объектов в космосе, устанавливать их орбиты и прогнозировать их будущее местоположение, а также выявлять техногенные и природные

угрозы их деятельности (рис. 4). К основным функциям СМКП относятся ведение каталога КО, картирование текущей позиции КО и их предполагаемых орбитальных траекторий, мониторинг опасных сближений КО и предотвращение столкновений, отслеживание рабочего состояния КА и диагностика неисправностей, расчет рисков окружающей среды и выдача предупреждений о потенциальных опасных ситуациях.

Чаще всего СМКП состоит из наземного сегмента в виде сети сенсорных станций, аналитических центров приема и обработки информации и может также включать орбитальный/морской сегмент при размещении технических средств мониторинга КО, соответственно, в космической среде/на морских судах (рис. 5).

СМКП используют для осуществления своих функций ряд технических средств, включая радары, оптические телескопы, радиочастотные сенсоры, лазерные установки и инфракрасные датчики:

- Радиолокационные станции (РЛС) предоставляют данные о КО в основном на НОО. Радар вычисляет положение цели относительно своего местоположения, излучая радиоволны на определенной частоте и определенной формы и анализируя сигнал, отраженный целью. РЛС могут точно измерять расстояние до КО, некоторые из них могут создавать представление об его форме. Радары обычно работают в статическом режиме с целью наблюдения, то есть направлены в фиксированном направлении и регистрируют все КО, проходящие в пределах луча радара. Тем не менее если у них есть достаточные возможности для подвижности, радары также могут отслеживать КО. РЛС с фазированной антенной решеткой способны отслеживать несколько или множество КО одновременно. Основными недостатками радаров являются их стоимость, размер и техническая сложность.
- Оптико-электронные комплексы также широко используются СМКП и являются основным источником измерительной информации по высокоорбитальным КО. Телескопы собирают свет и другое электромагнитное излучение, испускаемое или отражаемое КО в видимом спектре, и фокусируют его в изображение с помощью линз, зеркал или их комбинации. Основными преимуществами использования оптических телескопов для СМКП является их способность быстро охватывать большие площади и осуществлять наблюдение КО на высоте более 5 тыс. км. Некоторые телескопы могут создавать изображения КО с высоким разрешением. Разрешающая способность телескопа пропорциональна размеру его апертуры, для дости-

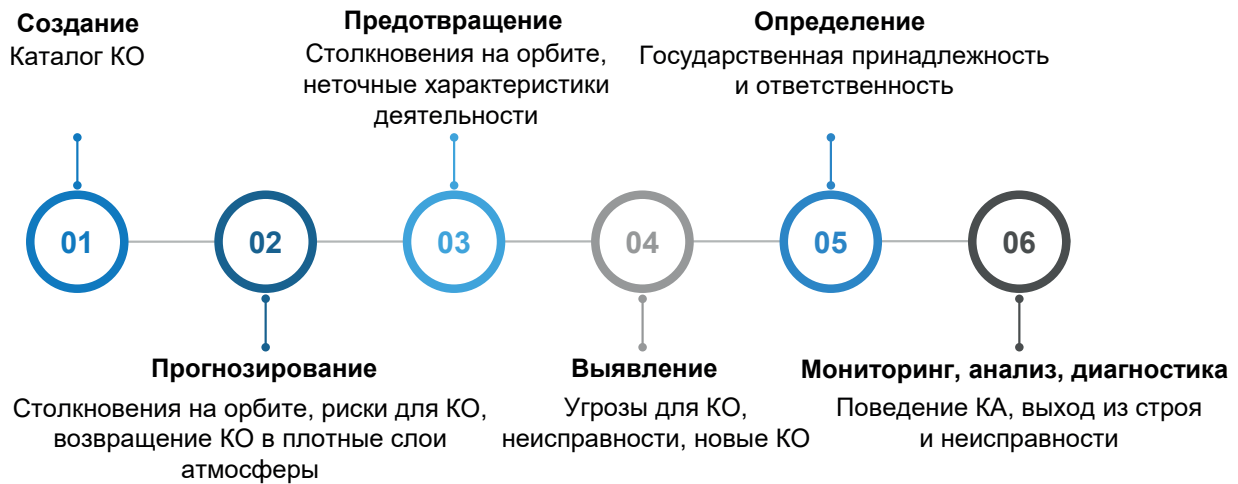


Рис. 4. Функционирование и возможности СМКП.

Источник: сборник-руководство «Информированность о ситуации в космическом пространстве. Состояние и знание космической среды» проекта «Индекс космической безопасности» [16]



Рис. 5. Организационно-технологическая структурная основа СМКП.

Источник: составлено авторами на основе собственных разработок

жения желаемого уровня разрешения необходимы телескопы по крайней мере среднего размера (диаметр главного зеркала 50 см и выше). Основным недостатком оптических телескопов является то, что для наблюдения КО им требуются особые условия освещения и ясное небо. Оптические телескопы космического базирования не подвержены данным ограничениям.

- Сенсоры, отслеживающие радиочастотные данные от активных радиоизлучающих КА, расширяют возможности традиционно используемых ради-

олокационных и оптических устройств в СМКП. Эти датчики более востребованы для разведывательных целей, чем для обеспечения безопасности КА. Тем не менее они могут предоставить ценную информацию гражданским спутниковым операторам, поскольку наличие электромагнитных излучений обычно является «доказательством жизни» КА: в случае неминуемого предполагаемого столкновения двух КА попытка связаться с владельцем неработоспособного спутника для координации в планировании маневра по предотвращению столкновения была бы лишней тратой драгоценного времени. Радиочастотные сенсоры можно использовать для получения такой важной информации по КА, как орбитальные параметры, назначение, состояние работоспособности, право собственности на объект. Радиочастотные сенсоры могут определить источник создания помех и его расположение – будь то намеренное воздействие на КО или случайное рассогласование сигналов объектов. Они также способны выявлять аномалии в полезной нагрузке и их возможное влияние на дальнейшее функционирование КА. Стремительное внедрение радиочастотного отслеживания КО в качестве средства мониторинга значителен как один из текущих трендов на рынке услуг предоставления информации о ситуации в ОКП [17].

- Лазерная дальнометрия – еще один метод, который может быть эффективно использован для целей мониторинга ОКП, поскольку обеспечивает очень точные измерения дальности и положения объекта. Лазерной дальнометрии недостаточно для создания и ведения полного каталога КА, в первую

очередь, из-за ограничений окружающей среды. Однако эта технология эффективна для точного определения орбиты КО с прогнозируемым курсом столкновения в течение нескольких дней. Точные орбиты, определяемые лазером, могут помочь избежать ненужных маневров по предотвращению столкновений, тем самым экономя топливо и продлевая срок службы активных КА. В настоящее время лазеры эффективно используются для измерения расстояния до связанных целей – КА, оснащенных светоотражателями – с точностью до нескольких сантиметров и ниже.

- Инфракрасные детекторы позволяют получать изображения в спектральных диапазонах, недоступных человеческому глазу, распознают тепловые сигнатуры. Такого рода технология чаще всего преследует разведывательную цель и представляет главным образом военный интерес. Наблюдения с высоким разрешением в инфракрасном электромагнитном диапазоне могут обнаружить повышение температуры определенной подсистемы спутника (например, полезной нагрузки) в качестве доказательства его активности.

Наземные системы преимущественно из радарных установок и оптических устройств являются традиционными и наиболее распространенными составляющими СМКП. Использование систем космического базирования устраняет проблемы, ограничивающие возможности наземных средств, такие как погодные и атмосферные искажения, привязка к месту, удаленность от объекта наблюдения. С другой стороны, системы космического базирования подвержены воздействию космической погоды, привязаны к срокам, рискам и стоимости намечаемых запусков, сложно или практически невозможно осуществлять их ремонт при выходе из строя, они имеют ограниченный срок службы. Морской сегмент СМКП позволяет выйти за рамки национальных сухопутных границ при размещении средств мониторинга космического пространства на морских судах, а также, ввиду мобильности, позволяет поддерживать связь с КА при выходе КА из зоны видимости национальных статичных наземных сенсоров. Объединение данных от датчиков различного типа – наземных, космических, морских – способно предоставить комплексно более полную и точную картину текущей ситуации в космосе.

Рынок услуг мониторинга и предоставления информации о ситуации в ОКП

Рынок услуг мониторинга космического пространства и информирования о ситуации в ОКП оценивался

почти в 1,5 млрд долл. в 2022 г. и, по прогнозу, будет иметь совокупный среднегодовой темп роста 5,1% в период 2022-2028 гг., достигнув 1,98 млрд долл. США в 2028 г. (рис. 6).

Наибольшая доля рынка принадлежит Северной Америке и, согласно прогнозу, она останется доминирующей в течение всего рассматриваемого периода. Европа и Азиатско-Тихоокеанский регион (включая Китай, Индию, Японию) занимают значительную долю рынка услуг по информированию о ситуации в ОКП. Расширение кооперации стран Европейского союза в рамках совместной программы и развитие сотрудничества между странами в Азиатско-Тихоокеанском регионе в русле проекта Asia-Pacific ground-based Optical Satellite Observation System (APOSOS), по прогнозам, повлечет за собой укрепление позиций данных игроков на рынке в будущем.

Рост глобального рынка услуг мониторинга и предоставления информации о ситуации в ОКП обусловлен широким спектром факторов, основные из которых следующие:

- загруженность ОКП фрагментированным КМ в сочетании с неуклонным ростом интенсивности космического трафика, числа участников космической деятельности и увеличением количества проектов по исследованию космического пространства;
- рост популярности малых КА из-за их низкой стоимости, технической доступности и улучшенной способности предоставлять услуги широкополосного доступа в интернет с низкой задержкой. Их требуемое большое количество для обеспечения полного покрытия территории при развертывании группировок на НОО повлечет за собой в ближайшем будущем сильную загруженность НОО-пояса и увеличит риски столкновений и вероятность осуществления синдрома Кesslerа;
- рост зависимости общества от услуг, предоставляемых космическими средствами, и потребность в их непрерывном осуществлении;
- необходимость обеспечения безопасности космических операций и сохранности дорогостоящих космических активов;
- рост присутствия коммерческих компаний как среди спутниковых операторов, так и в сфере предоставления услуг мониторинга ОКП;
- рост объективных опасений по поводу неуклонно повышающегося риска столкновений КО в космосе.

Также наблюдаемый тренд развития рассматриваемой сферы обусловлен особым вниманием государств и правительственных организаций к вопросам обеспече-

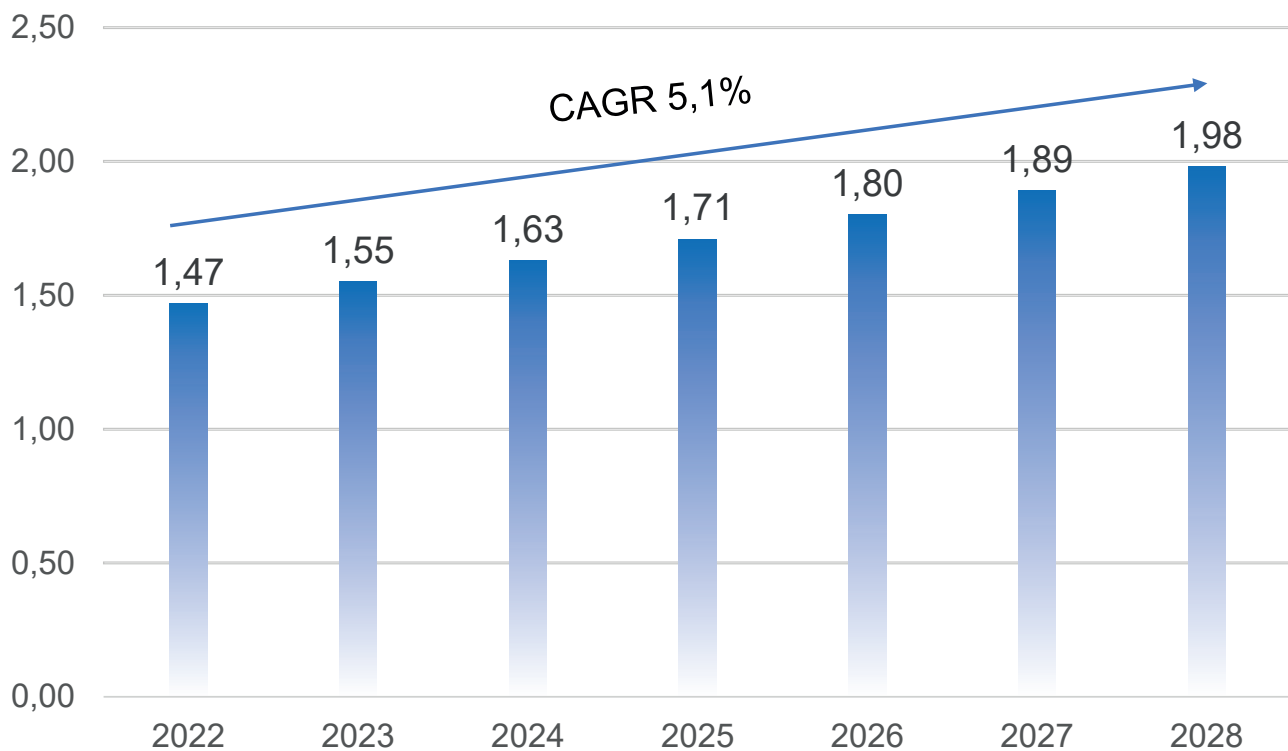


Рис. 6. Прогноз динамики развития мирового рынка услуг мониторинга и предоставления информации о ситуации в ОКП до 2028 г., млрд долл.

Источник: маркетинговое исследование аналитическо-консалтингового агентства Stratview Research: «Размер, доли, тренды, прогноз развития рынка услуг предоставления информации о ситуации в космическом пространстве и отраслевой анализ – 2022-2028 гг.» [18]

ния национальной безопасности, содержанию под контролем такого важного стратегического поля действий как ОКП.

Ожидается, что в ближайшие годы в конъюнктуре мирового космического рынка произойдет активное внедрение услуг мониторинга ОКП и связанного с ними программного обеспечения, включая комплексные услуги по обнаружению КМ, анализу сближений КО, оценке их вероятности, выдачи предупреждений и помощи в предотвращении столкновений КО.

Увеличение числа участников космической деятельности, появление новых видов космических операций в ОКП, непрерывный рост общего количества техногенных КО в ОКП при одновременной необходимости выполнения различных требований по безопасности деятельности в ОКП обуславливают актуальность развития странами своих СМКП.

Гражданская система мониторинга космического пространства РФ: действующая и планируемая АСПОС ОКП

С 1 января 2016 г. в России функционирует первая в мире гражданская Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном

космическом пространстве (АСПОС ОКП).

Первоочередной задачей АСПОС ОКП является обеспечение безопасности полетов КА в ОКП и информирование об опасных сближениях КА с КО. Система осуществляет мониторинг ОКП, собирает и обрабатывает информацию о КО с линейным размером более 10 см, осуществляет накопление банка информации о российских и зарубежных функционирующих КА и КМ, производит анализ и прогнозирует ситуации в ОКП. Кроме того, АСПОС ОКП осуществляет сбор, обработку и передачу данных о параметрах солнечной и геомагнитной активности, включая предупреждения о внезапных изменениях основных параметров космической погоды, используемой при оценке воздействия на оборудование на борту КА и в баллистических расчетах [2].

АСПОС ОКП включает в свой состав главный информационно-аналитический центр (ГИАЦ) в г. Королев; сегмент мониторинга опасных ситуаций в области ГСО, ВЭО и СВО в г. Москва; сегмент по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности в г. Троицк; комплекс специализированных оптико-электронных средств (КСОЭС), размещенных как на территории России, так и за рубежом. Полученные с помощью АСПОС ОКП данные хранятся в ГИАЦ, являющимся

центральный организационным и информационно-вычислительным узлом системы (рис. 7).

КСОЭС АСПОС ОКП включает в себя более 45 телескопов с апертурой от 5 до 75 см. В состав системы входят, в частности, 3 электронно-оптических пункта, размещенных в Крыму; 2 пункта в г. Кисловодске; пункты в г. Уссурийске, в г. Благовещенске, а также в Армении (рис. 8). Технический состав этих пунктов комбинированно включает несколько телескопов с апертурой 19 см, 25 см, 40 см, 65 см. Сдвоенные или счетверенные телескопы с широким полем зрения с апертурой каждого канала 19 см используются для проведения наблюдений в режиме обзора. Данный вид телескопа способен в течение одной ночи получать до 150 тыс. измеренных положений до 1300 КО размером от 0,8 м на высоких орбитах. Телескопы с апертурой 25 см, 40 см, 65 см используются для проведения наблюдений в режиме заданной цели и получения измерительной информации по ней и по всем КО, попавшим в назначенное поле наблюдения. Телескопы с апертурой 40 см и 65 см позволяют осуществлять мониторинг КО на ГСО размером соответственно от 50-60 см и 25-50 см в поперечнике [20].

В 2017 г. на территории Бразилии в обсерватории

Пико дос Диас размещен и введен в состав КСОЭС оптико-электронный комплекс обнаружения объектов КМ (ОЭК ОКМ), состоящий из 3-х видов телескопов на одном опорно-поворотном устройстве. Один из телескопов ОЭК ОКМ – двухканальный с объективами со сверхшироким полем зрения и с апертурой 5 см – используется для наблюдения КО на НОО в сумеречное время; другой двухканальный телескоп с апертурой 25 см в режиме обзора осуществляет наблюдение на низких и высоких орбитах с производительностью до 1 тыс. КО за ночь; третий тип телескопа с апертурой 75 см используется для обзоров в видимой части ГСО объектов размером от 30 см. В 2021-2022 гг. на территории радиоастрономической обсерватории Хартебестхук, расположенной в 50 км к западу от г. Йоханнесбург в ЮАР, размещен второй пункт ОЭК ОКМ в составе КСОЭС АСПОС ОКП (введен в эксплуатацию в июле 2023 г.).

В будущем в целях улучшения охвата, расширения наблюдаемой части ОКП планируется дальнейшее размещение оптико-электронных объектов АСПОС ОКП за рубежом.

АСПОС ОКП функционирует в сотрудничестве с Российской академией наук (РАН) и отечественными

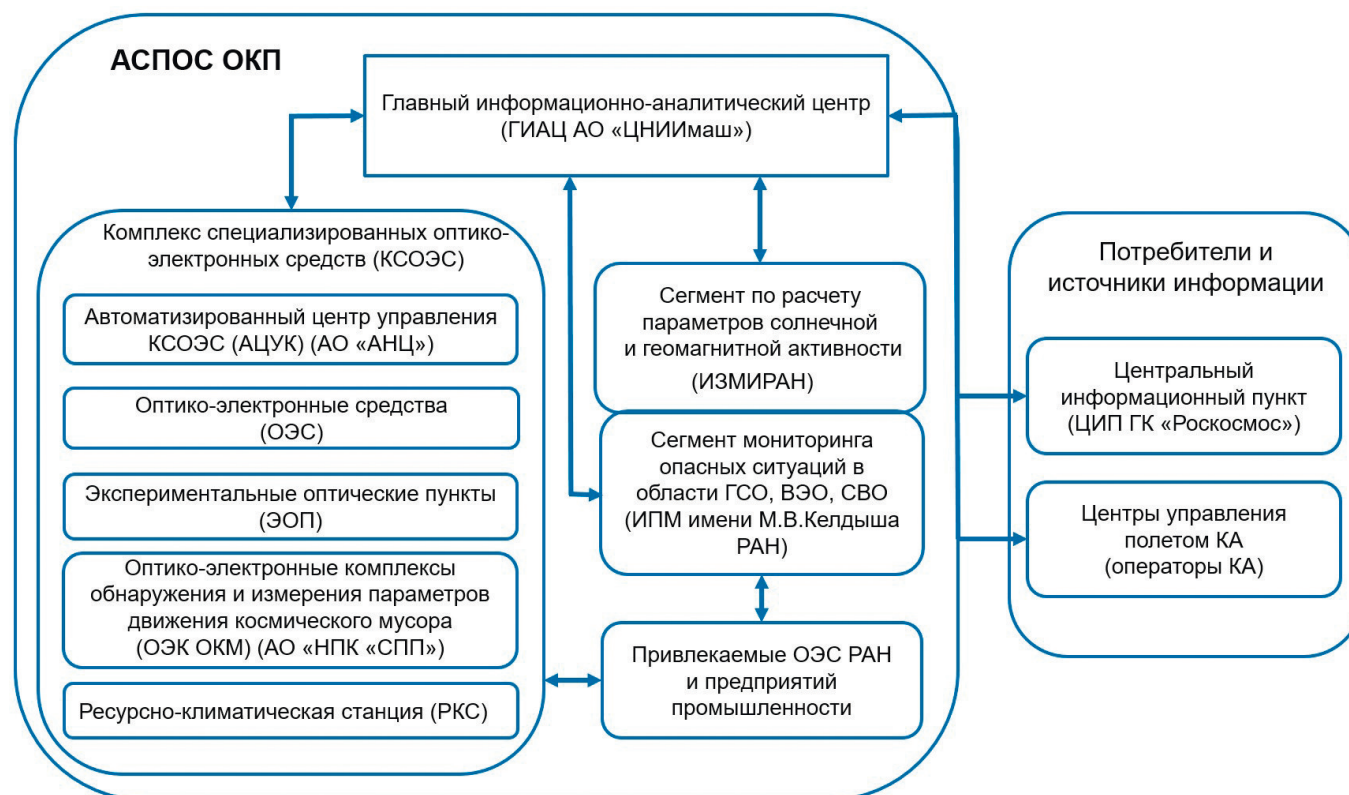


Рис. 7. Действующая структура АСПОС ОКП.

Источник: публикация Коблова С.В., Макарова Ю.Н., Ступака Г.Г. «Пути развития российской автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве» в сборнике Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского за 2022 г. [19]

организациями в ракетно-космической отрасли: с целью формирования единого информационного поля и создания эффективной СМКП, позволяющей в непрерывном режиме обеспечивать накопление и поддержание актуальной информации о российских и зарубежных функционирующих КА и о КМ, реализована системная интеграция измерительных средств АСПОС ОКП со специализированными средствами наблюдения Госкорпорации «Роскосмос», РАН и частных компаний.

Основными источниками информации о КО в ОКП для АСПОС ОКП являются:

- Специализированные оптико-электронные средства АСПОС ОКП;
- Оптические инструменты, принадлежащие российским компаниям.

Потребителями результатов российской СМКП являются Центр управления полетами КА научного и социально-экономического назначения, Центральный информационный пункт (ЦИП) Госкорпорации «Роскосмос», а также профильные подразделения федеральных органов исполнительной власти.

За период штатной эксплуатации АСПОС ОКП продемонстрировала значительные результаты в части услуг, обеспечивающих безопасность осуществления космиче-

ской деятельности. На начало 2022 г. общее количество каталогизированных в комплексе баз данных АСПОС ОКП объектов техногенного происхождения в ОКП составляло 27 115 [21, 22]. В 2018-2022 гг. на постоянном сопровождении АСПОС ОКП находились МКС, более 90 российских КА. За указанный период получено свыше 90 млн координатных измерений, зафиксировано около 30 разрушений КО, обеспечен контроль выведения на орбиту 98 российских КА, осуществлено сопровождение схода с орбит около 4 тыс. КО, выдано более 850 предупреждений об опасных изменениях гелиофизической обстановки, выявлено более 34 тыс. опасных сближений КО с КА отечественной группировки и 1 236 опасных сближений КО с МКС. В 2022 г. АСПОС ОКП зафиксировано свыше 600 случаев нарушения 4-километровой зоны безопасности МКС и около 16 тыс. опасных проходов КО, нарушающих 1,5-километровую зону безопасности сопровождаемых КА российской орбитальной группировки [23]. На основе полученной от АСПОС ОКП информации выполнено несколько маневров уклонения МКС от КМ.

В сфере мониторинга высоких орбит в настоящее время Россия демонстрирует ведущие позиции по количеству сопровождаемых объектов КМ и по качеству решения задач и анализа ситуации в этом сегменте.



Рис. 8. Дислокация измерительных средств АСПОС ОКП.
 Источник: составлено авторами на основе открытых данных

Большинство КА на ГСО находятся в зоне мониторинга АСПОС ОКП. Однако несмотря на достаточно высокий уровень организации российской СМКП, она в современных условиях быстроразвивающейся космической конъюнктуры имеет ряд существенных недостатков:

- Текущие возможности АСПОС ОКП обеспечивают мониторинг с различной периодичностью КО размером от 30 см на орбитах с высотами более 3 тыс. км. В низкоорбитальной области технические возможности системы ограничены и обеспечивают лишь эпизодическое получение измерительной информации по небольшому количеству КО [19].
- Существующая конфигурация АСПОС ОКП не содержит в своем составе специализированных РЛС, эффективных для контроля КМ и растущего числа малых КА на НОО.
- Присутствуют трудности в обеспечении требуемой точности баллистической информации для достоверного прогнозирования сближений КА с высокоорбитальными объектами в связи с недостаточным количеством средств мониторинга в составе АСПОС ОКП.
- АСПОС ОКП включает средства наземного базирования, расположенные только на территории России, Армении, Бразилии и ЮАР, что не позволяет оперативно выявлять изменения в космической обстановке. Из-за ограниченности территориально-пространственного размещения технических средств системы она не способна обеспечить глобальность мониторинга ОКП в области НОО.
- В 2017-2021 гг. АСПОС ОКП не имела на постоянном сопровождении иностранных КА от внешних заказчиков, поскольку является системой внутреннего пользования и предполагает возможный обмен данными во внешней среде только в рамках международного сотрудничества на правительственном уровне, но не в коммерческом секторе. Ввиду своей «закрытости» российская СМКП не представлена на международных рынках, что не позволяет занять устойчивую конкурентную позицию относительно таких широко известных сервисов как Space Track, EhoAnalytic, LeoLabs, EU SST и прочих. АСПОС ОКП может составить конкуренцию на международном рынке, однако в этом случае потребуются проведение комплексных организационно-технических мероприятий, включающих внедрение инструментов взаимодействия с клиентами, расширение охвата системы, а также повышение точности и оперативности формирования готовых информационных продуктов и услуг.
- В вопросах прогнозирования астероидно-кометной

опасности Россия на сегодняшний день находится в информационной зависимости от зарубежных государств и её вклад в обнаружение, сопровождение и оценку риска столкновения с потенциально опасными КО естественного происхождения, а также в работу международных структур по противодействию астероидно-кометной опасности незначителен. Задачи выявления и оценки угроз, связанных с потенциально опасными КО естественного происхождения, системно не решаются АСПОС ОКП ввиду изначального отсутствия закреплённых за системой соответствующих функций.

В настоящее время АСПОС ОКП не соответствует в полной мере динамично изменяющимся условиям и требованиям. В связи с этим обоснована целесообразность осуществить модернизацию и создать на основе АСПОС ОКП гражданскую СМКП нового поколения – систему информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в ОКП «Млечный путь» (или коротко – Систему «Млечный путь»).

Млечный путь

Значительный научно-технический и технологический задел, накопленный при создании и эксплуатации АСПОС ОКП, является основой создания Системы «Млечный путь». Госкорпорацией «Роскосмос» совместно с АО «ЦНИИмаш» проводятся работы по формированию перспективной гражданской системы информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности, которая модернизирует и расширит возможности существующей АСПОС ОКП. Базовыми требованиями к Системе «Млечный путь» будут достоверность, полнота, точность и оперативность результатов, а ключевыми свойствами – открытость, доступность и востребованность. Планируемая возможная схема структуры будущей Системы «Млечный путь» представлена на рис. 9.

Система «Млечный путь» позволит обеспечить комплексный мониторинг состояния ОКП. Функционально Систему «Млечный путь» планируется представить в составе нескольких подсистем мониторинга ОКП: наблюдение за техногенными КО (КА и КМ), за состоянием космической погоды, а также отслеживание малых небесных тел – астероидов, метеороидов, комет. Каждая из подсистем мониторинга будет иметь свой информационно-аналитический центр и специализированный комплекс технических средств мониторинга ОКП [22].

Наземный сегмент Системы «Млечный путь» будет включать оптико-электронные, радиолокационные, радиотехнические средства [22]. По предварительным планам на ближайшие годы КСОЭС расширится до 65 телескопов, размещаемых в Западном и Восточном

полушарии. РЛС будущей модернизированной СМКП также планируется установить не только в России, но и за рубежом.

Система «Млечный путь» – с учетом развития и создания перспективных оптико-электронных, радиолокационных средств и совершенствования научно-методического аппарата – позволит обнаруживать КО техногенного происхождения в ОКП размером 5-7 см и более на высотах до 2,5 тыс. км, следить за КО размером от 10-15 см на высотах от 2,5 тыс. до 45 тыс. км и размером от 50 см до 1 м – на высотах более 45 тыс. км. В планах создания перспективной СМКП предусматривается разработка и внедрение специализированных средств обнаружения и мониторинга опасных небесных тел на расстоянии порядка 30 млн км от Земли, в том числе для раннего обнаружения астероидов, приближающихся к Земле со стороны Солнца [24].

В целях достижения максимально возможной эффективности обнаружения и наблюдения КО в составе СМКП будет представлен космический сегмент. В рамках проекта «Млечный путь» планируется выведение на орбиту группировки специализированных КА, оснащенных бортовыми оптико-электронными комплексами мониторинга ОКП. Запуск первого из них ожидается в конце 2027 г.

В более совершенную будущую отечественную СМКП планируется внедрить элементы искусственного интеллект-

та. Это позволит увеличить количество обрабатываемых измерений в 5 раз, чтократно уменьшит погрешность прогноза сближений техногенных КО на орбите [25].

В структуре отечественной СМКП намечается создание открытого информационного сервиса по предоставлению информации и услуг мониторинга широкому кругу потребителей, включая зарубежных. Предполагается, что потребителями результатов модернизированной СМКП выступят как российские, так и зарубежные госструктуры, международные организации и частные коммерческие компании. Доступ к информации будет обеспечен через открытую интернет-площадку, что позволит существенно повысить возможности коммерциализации деятельности СМКП. На основе данных, формируемых отечественной СМКП, будет создана линейка продуктов и услуг. Согласно предварительным оценкам, выручка от услуг мониторинга ОКП и превентивной защиты КА иностранных партнеров к 2035 г. может составить 1,2 млрд руб. [24].

Итоговая реализация проекта по созданию модернизированной отечественной СМКП «Млечный путь» планируется к 2035 г. С учетом необходимости обеспечения непрерывности решения задач мониторинга ОКП создание новой СМКП будет осуществляться параллельно с эксплуатацией АСПОС ОКП с использованием налаженных отработанных технологий и отдельных ее составных частей.



Рис. 9. Возможная структура системы информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в ОКП «Млечный путь».

Источник: составлено разработчиками проекта Системы «Млечный путь»

Заключение

Текущая и прогнозируемая ситуация стремительного роста техногенного засорения космического пространства обуславливает необходимость создания эффективных СМКП с целью информированности о ситуации в ОКП и превентивного реагирования на потенциальные угрозы. СМКП разного уровня развития существуют в России, США, Европейском союзе, Франции, Германии, Италии, Испании, Великобритании, Китае, Японии, Индии.

В настоящее время отечественная СМКП АСПОС ОКП требует совершенствования для лучшего соответствия динамично изменяющейся обстановке в ОКП

и генерируемых ею вызовам.

Очередным этапом развития АСПОС ОКП будет система информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в ОКП «Млечный путь».

Проблема КМ и нарастания загруженности космического пространства носит глобальный характер, поэтому требуется не только развитие собственной СМКП на территории России, но и налаживание международного партнерства в области мониторинга ОКП, координации действий в космосе участниками космической деятельности и организации процессов обмена информацией.

Список литературы

1. Юрий Макаров, Михаил Симонов, Михаил Яковлев, Игорь Олейников. АСПОС на страже Земли. Воздушно-космическая сфера, №1 (86), 2016. с. 18-27. – URL: <https://www.vesvks.ru/vks/article/aspos-na-strazhe-zemli-16051> (дата обращения 10.07.2023).
2. АО «ЦНИИмаш»: официальный сайт. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-and-technical-centers/flight-control-center-fcc/security-in-space/> (дата обращения 29.06.2023).
3. Деятельность NASA по снижению рисков, связанных с орбитальным мусором. Служба генеральной инспекции NASA. Отчет № IG-21-011. Январь, 2021. – URL: <https://oig.nasa.gov/docs/IG-21-011.pdf> (дата обращения 02.07.2023).
4. Европейское космическое агентство: официальный сайт. Космическая безопасность, космический мусор в цифрах. – URL: https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers (дата обращения 26.06.2023).
5. Как космический мусор создает угрозу современной жизни. Международная деловая газета Financial Times, 08.06.2022. – URL: <https://ig.ft.com/space-debris/> (дата обращения 12.07.2023).
6. Миру срочно нужен новый способ отслеживания космического мусора. Информационный портал Quartz, 03.02.2022. – URL: <https://qz.com/2117677/the-world-urgently-needs-a-new-way-to-track-space-junk> (дата обращения 06.07.2023).
7. Европейское космическое агентство: официальный сайт. История появления космического мусора. – URL: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/03/The_history_of_space_debris_creation (дата обращения 30.06.2023).
8. Ассоциация спутниковой индустрии. 26-ой ежегодный отчет о состоянии спутниковой отрасли. Июнь, 2023. – URL: <https://sia.org/record-setting-growth-highlights-commercial-satellite-industry-as-it-continues-to-dominate-expanding-global-space-business-sia-releases-26th-annual-state-of-the-satellite-industry-report/> (дата обращения 12.06.2023).
9. Юрий Борисов: к 2025 году число спутников на орбите Земли вырастет до 70 тысяч. Российская газета, 26.04.2023. – URL: <https://rg.ru/2023/04/26/iurij-borisov-k-2025-godu-chislo-sputnikov-na-orbite-zemli-vyrastet-do-70-tysiach.html> (дата обращения 17.06.2023).
10. Технологическая оценка: крупные группировки спутников. Смягчение влияния на окружающую среду и других воздействий. Счётная Палата США, доклад адресатам Конгресса. Сентябрь, 2022. – URL: <https://www.gao.gov/assets/gao/22-105166.pdf> (дата обращения 22.06.2023).
11. Управление космическим движением. Доклад Национальной академии государственного управления США. Август, 2020. – URL: https://napawash.org/uploads/NAPA_OSC_Final_Report.pdf (дата обращения 29.06.2023).
12. Шустов Б.М. О роли науки в изучении и парировании космических угроз. Вестник Российской академии наук, 2019, том 89, N 8, с. 777–799. DOI:10.31857/S0869-5873898777-799 – URL: <https://journals.eco-vector.com/0869-5873/article/view/15641/pdf> (дата обращения 25.06.2023).

13. МАК «Вымпел». Официальный сайт. Презентация. – URL: <https://macvypmel.ru/upload/catalog/ru-catalog-2022.pdf> (дата обращения 02.07.2023).
14. Спутникам SpaceX Starlink пришлось совершить 25 000 маневров по предотвращению столкновений всего за 6 месяцев – и ситуация будет усугубляться в будущем. Онлайн-издание Space.com, 06.07.2023 – URL: <https://www.space.com/starlink-satellite-conjunction-increase-threatens-space-sustainability> (дата обращения 01.07.2023).
15. Роберт Дж. Роветто, Т.С. Келсо. Основы онтологии сферы обеспечения информированности о ситуации в космической среде. Материалы 26-ой конференции Американского института авиации и космонавтики «Механика космического полета». Февраль, 2016. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.01924.pdf> (дата обращения 05.07.2023).
16. Информированность о ситуации в космическом пространстве. Сборник-руководство проекта «Индекс космической безопасности»: Состояние и знание космической среды. Сентябрь, 2020. – URL: <https://spacesecurityindex.org/2020/09/space-situational-awareness/> (дата обращения 29.06.2023).
17. Отчет об исследовании рынка: Информированность о ситуации в космическом пространстве. Аналитическо-консалтинговое агентство Fortune Business Insights. Июнь, 2021. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/space-situational-awareness-ssa-market-105446> (дата обращения 30.06.2023).
18. Отчет об исследовании рынка: размер, доли, тренды, прогноз рынка услуг предоставления информации о ситуации в космическом пространстве и отраслевой анализ – 2022-2028. Аналитическо-консалтинговое агентство Stratview Research. – URL: <https://www.stratviewresearch.com/599/space-situational-awareness-market.html> (дата обращения 07.07.2023).
19. Коблов С.В., Макаров Ю.Н., Ступак Г.Г. Пути развития российской автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве. Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, №683, 2022, с.232-237. – URL: https://vka.mil.ru/upload/site5/document_file/nn0e9qhlvf.pdf (дата обращения 19.06.2023).
20. Макаров Ю.Н. Мониторинг техногенного засорения космического пространства. Проблемы и решения. Научно-технический журнал «Наноиндустрия», Том 12, № 1, 2019, с. 6-14. DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.1.6.14 – URL: https://www.nanoindustry.ru/files/article_pdf/7/article_7236_770.pdf (дата обращения 21.06.2023).
21. Выступление делегации РФ в ходе 59-й сессии Научно-технического подкомитета Комитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях по пункту 8 «Космический мусор». 2022. – URL: https://www.unoosa.org/documents/pdf/corpus/stsc/2022/statements/8_Russia_ver.1_8_Feb_PM.pdf (дата обращения 23.06.2023).
22. Ступак Г.Г. О системе информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в околоземном космическом пространстве «Млечный Путь». Научно-практическая конференция с международным участием «Околоземная астрономия – 2022» 18 – 21 апреля 2022 г., с.24-26. – URL: <http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/04/Abstract-Book-2022.pdf> (дата обращения 25.06.2023).
23. ЦНИИмаш выявил свыше 16 тыс. сближений МКС и спутников РФ с опасными объектами в 2022 году. Информационный портал «Новости космонавтики», 14.03.2023. – URL: <https://novosti-kosmonavтики.ru/news/85698/> (дата обращения 29.06.2023).
24. Как Россия планирует контролировать космическое пространство. Информационный портал Госкорпорации «Роскосмос», 20.01.2022. – URL: <https://www.roscosmos.ru/33861/> (дата обращения 30.06.2023).
25. Россия в 2027 году запустит первый спутник системы мониторинга космического мусора. Информационный портал «Новости космонавтики», 28.05.2020. – URL: <https://novosti-kosmonavтики.ru/news/56459/> (дата обращения 01.07.2023).

List of literature

1. Yuri Makarov, Mikhail Simonov, Mikhail Yakovlev, Igor Oleinikov. ASPOS guarding Earth. *Vozdushno-kosmicheskaya sfera [Aerospace Sphere Journal]*, No 1 (Vol.86), 2016. pp. 18-27. – URL: <https://www.vesvks.ru/vks/article/aspos-na-strazhe-zemli-16051> (accessed 10.07.2023).
2. Central Research Institute for Machine Building (JSC “TsNIIMash”): official website. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-and-technical-centers/flight-control-center-fcc/security-in-space/> (accessed 29.06.2023).
3. NASA’s Efforts to Mitigate the Risks Posed by Orbital Debris. NASA Office of Inspector General. Report No IG-21-011. January, 2021. – URL: <https://oig.nasa.gov/docs/IG-21-011.pdf> (accessed 02.07.2023).
4. The European Space Agency: official website. Space Safety, Space debris by the numbers. – URL: https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers (accessed 26.06.2023).
5. How space debris threatens modern life. *Financial Times*, 08.06.2022 – URL: <https://ig.ft.com/space-debris/> (accessed 12.07.2023)
6. The world urgently needs a new way to track space junk. Online information platform Quartz, 03.02.2022. – URL: <https://qz.com/2117677/the-world-urgently-needs-a-new-way-to-track-space-junk> (accessed 06.07.2023).

7. The European Space Agency: official website. The history of space debris creation – URL: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/03/The_history_of_space_debris_creation (accessed 30.06.2023).
8. Satellite Industry Association. 26th Annual State of the Satellite Industry Report, 2023. – URL: <https://sia.org/record-setting-growth-highlights-commercial-satellite-industry-as-it-continues-to-dominate-expanding-global-space-business-sia-releases-26th-annual-state-of-the-satellite-industry-report/> (accessed 12.06.2023).
9. Yuri Borisov: by 2025 the number of satellites in Earth's orbit to grow to 70,000. Rossiyskaya Gazeta [Russian Gazette], 26.04.2023. – URL: <https://rg.ru/2023/04/26/iurij-borisov-k-2025-godu-chislo-sputnikov-na-orbite-zemli-vyrastet-do-70-tysiach.html> (accessed 17.06.2023).
10. Technology Assessment: Large Constellations of Satellites. Mitigating Environmental and Other Effects. Report of United States Government Accountability Office to Congressional Addressees. September, 2022. – URL: <https://www.gao.gov/assets/gao-22-105166.pdf> (accessed 22.06.2023).
11. Space Traffic Management. Report of National Academy of Public Administration. August, 2020. – URL: https://napawash.org/uploads/NAPA_OSC_Final_Report.pdf (accessed 29.06.2023).
12. Shustov B.M. The role of science in the study of and response to space threats. Herald of the Russian Academy of Sciences, No 8 (Vol. 89), 2019, pp. 777–799. DOI:10.31857/S0869-5873898777-799 – URL: <https://journals.eco-vector.com/0869-5873/article/view/15641/pdf> (accessed 25.06.2023).
13. JSC “Vympel”: official website. Presentation. – URL: <https://macvypel.ru/upload/catalog/ru-catalog-2022.pdf> (accessed 02.07.2023).
14. SpaceX Starlink satellites had to make 25,000 collision-avoidance maneuvers in just 6 months – and it will only get worse. Online information platform Space.com, 06.07.2023 – URL: <https://www.space.com/starlink-satellite-conjunction-increase-threatens-space-sustainability> (accessed 01.07.2023).
15. Robert J. Rovetto, T.S. Kelso. Preliminaries of a Space Situational Awareness Ontology. 26th AAS/AIAA Space Flight Mechanics meeting, February, 2016. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.01924.pdf> (accessed 05.07.2023).
16. Space Situational Awareness. SSI Issue Guide: Condition and Knowledge of the Space Environment. September, 2020. – URL: <https://spacesecurityindex.org/2020/09/space-situational-awareness/> (accessed 29.06.2023).
17. Market Research Report: Space Situational Awareness. Fortune Business Insights. June, 2021. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/space-situational-awareness-ssa-market-105446> (accessed 30.06.2023).
18. Market research Report: Space Situational Awareness Market Size, Share, Trend, Forecast and Industry Analysis – 2022-2028. Stratview Research. – URL: <https://www.stratviewresearch.com/599/space-situational-awareness-market.html> (accessed 07.07.2023).
19. Koblov S.V., Makarov Yu.N., Stupak G.G. Pathways of development of Russian automated warning system for dangerous situations in near-Earth space. Proceedings of A.F. Mozhaysky's Military-Space Academy, No 683, 2022, pp. 232-237. – URL: https://vka.mil.ru/upload/site5/document_file/nn0e9qhlvf.pdf (accessed 19.06.2023).
20. Makarov Yu.N. Monitoring of technogenic pollution of outer space. Problems and solutions. Scientific and technical journal Nanoindustriya [Nanoindustry], No. 1 (Vol. 12), 2019, pp. 6-14. DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.1.6.14 – URL: https://www.nanoindustry.su/files/article_pdf/7/article_7236_770.pdf (accessed 21.06.2023).
21. Russian delegation's report at 59th session of the Scientific and Technical Subcommittee of The United Nations Office for Outer Space Affairs, subsection 8 “Space Debris”. February, 2022. – URL: https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2022/statements/8_Russia_ver.1_8_Feb_PM.pdf (accessed 23.06.2023).
22. Stupak G.G. On the system of information and analytical support for ensuring the safety of space activities in near-Earth space “Mlechny ĵ Put’”. Research-to-Practice Conference “Near-Earth Astronomy-2022” with international participation on 18 – 21 April 2022, pp. 24-26. – URL: <http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/04/Abstract-Book-2022.pdf> (accessed 25.06.2023).
23. TsNIIMash detected over 16,000 conjunctions between the ISS and Russian satellites with dangerous objects in 2022. Online information platform Novosti Kosmonavtiki [News of Cosmonautics], 14.03.2023. – URL: <https://novosti-kosmonavtiki.ru/news/85698/> (accessed 29.06.2023).
24. How Russia plans to control outer space. Online data portal of State Space Corporation “Roscosmos”, 20.01.2022. – URL: <https://www.roscosmos.ru/33861/> (accessed 30.06.2023).
25. Russia to launch first satellite of space debris monitoring system in 2027. Online information platform Novosti Kosmonavtiki [News of Cosmonautics], 28.05.2020. – URL: <https://novosti-kosmonavtiki.ru/news/56459/> (accessed 01.07.2023).

Рукопись получена: 17.07.2023

Рукопись одобрена: 22.09.2023