

**Генеральная Ассамблея**

Distr.: General
13 November 2018
Russian
Original: English/Spanish

**Комитет по использованию космического
пространства в мирных целях**
Научно-технический подкомитет
Пятьдесят шестая сессия
Вена, 11–22 февраля 2019 года
Пункт 7 предварительной повестки дня*
Космический мусор

**Исследования, касающиеся космического мусора,
безопасного использования космических объектов
с ядерными источниками энергии на борту и проблем
их столкновений с космическим мусором**

Записка Секретариата

I. Введение

1. На своей пятьдесят пятой сессии Научно-технический подкомитет Комитета по использованию космического пространства в мирных целях решил, что следует и далее предлагать государствам-членам и международным организациям, имеющим статус постоянного наблюдателя при Комитете, представлять сведения об исследованиях, посвященных космическому мусору, безопасности космических объектов с ядерными источниками энергии на борту, проблемам столкновения таких космических объектов с космическим мусором, а также мерам, принимаемым для осуществления на практике руководящих принципов предупреждения образования космического мусора (см. [A/AC.105/1167](#), пункт 146). Соответственно, государствам-членам и международным организациям, имеющим статус постоянного наблюдателя, была разослана нота от 29 августа 2018 года с предложением представить сообщения до 5 ноября 2018 года, с тем чтобы полученная информация могла быть представлена Подкомитету на его пятьдесят шестой сессии.

2. Настоящий документ подготовлен Секретариатом на основе информации, полученной от двух государств-членов, а именно от Мексики и Японии, а также от Международной астронавтической федерации (МАФ). Дополнительная информация, представленная Японией и МАФ, включая диаграммы, касающиеся проблемы космического мусора, будет распространена в качестве документа зала заседаний на пятьдесят шестой сессии Подкомитета.

* [A/AC.105/C.1/L.373](#).



II. Ответы, полученные от государств-членов

Япония

[Подлинный текст на английском языке]

[2 ноября 2018 года]

Общий обзор

По просьбе Управления по вопросам космического пространства Секретариата Япония сообщает, что деятельностью по тематике космического мусора в стране занимается Японское агентство аэрокосмических исследований (ДЖАКСА).

Для представления на следующей сессии были отобраны следующие примеры прогресса в деятельности ДЖАКСА по тематике космического мусора в 2018 году:

- a) тридцать шестое ежегодное совещание Межагентского координационного комитета по космическому мусору (МККМ);
- b) результаты оценки сближений и исследования, касающиеся основных технологий обеспечения осведомленности об обстановке в космосе;
- c) исследования, касающиеся методов наблюдения за объектами на низкой околоземной и геосинхронной орбитах и определения их орбит;
- d) система непосредственного измерения микрофрагментов мусора;
- e) защита от соударений с микрофрагментами мусора;
- f) топливный бак, легко разрушающийся при возвращении в атмосферу;
- g) активное удаление мусора.

Положение дел

Тридцать шестое ежегодное совещание Межагентского координационного комитета по космическому мусору

Тридцать шестое ежегодное совещание МККМ было проведено в июне в Цукубе, Япония. В нем приняли участие более 100 технических экспертов из 11 агентств. Организатором и принимающей стороной этого совещания выступило ДЖАКСА. Основными темами совещания были следующие:

- заявление МККМ относительно крупных спутниковых группировок на низкой околоземной орбите

МККМ уже опубликовал заявление, содержащее лишь количественную оценку крупных группировок, поскольку на тот период располагал результатами лишь нескольких исследований о влиянии крупных группировок на космическую среду. На этом совещании было сообщено о результатах моделирования влияния крупных группировок, проведенного членами МККМ, которые пришли к консенсусу относительно того, что крупные группировки отрицательно влияют на засоренность космического пространства. В этой связи члены МККМ готовят обновленный вариант заявления, содержащий более ограничивающие условия с указанием численных показателей;

- Руководящие принципы предупреждения образования космического мусора, принятые МККМ

Руководящие принципы были опубликованы в 2002 году и пересмотрены в 2007 году. В настоящее время многие страны и международные организации начинают предписывать в устанавливаемых ими нормах количественные характеристики мер по предупреждению засорения космоса, тогда как

в Руководящие принципы требуется внести много формулировок, определяющих качество. Поэтому МККМ приступил к обсуждению вопроса о дополнении Руководящих принципов численными значениями с целью формирования у членов Комитета более конкретного общего понимания задач.

Результаты оценки сближений и исследования, касающиеся основных технологий обеспечения осведомленности об обстановке в космосе

ДЖАКСА получает уведомления о сближениях от Центра совместных космических операций. По состоянию на август 2018 года было проведено 131 совещание для рассмотрения маневров уклонения от столкновения на основе таких уведомлений, при этом с 2009 года ДЖАКСА выполнило 26 маневров уклонения с участием низкоорбитальных космических аппаратов.

Основные технологии обеспечения осведомленности об обстановке в космосе

ДЖАКСА определяет орбиты космических объектов на основе данных, получаемых радиолокационной системой Центра наблюдения за космосом в Камисаибара и телескопами Центра наблюдения за космосом в Бисэе, прогнозирует опасные сближения на основе последних эфемерид орбит спутников ДЖАКСА и вычисляет вероятность столкновения. Опираясь на опыт Японии, ДЖАКСА оценивает также критерии для оценки сближения и маневров уклонения от столкновений. При проведении оценок анализируются тенденции изменения условий сближения и ошибки в прогнозах, которые обусловлены возмущениями (например, неопределенностью сопротивления воздуха).

Исследования, касающиеся методов наблюдения за объектами на низкой околоземной и геосинхронной орбитах и определения их орбит

Наблюдение за объектами на низкой околоземной орбите, как правило, ведется с помощью радиолокаторов, однако ДЖАКСА прилагает усилия к тому, чтобы применять оптическую систему ради сокращения расходов на создание и эксплуатацию. Для наблюдения околоземных орбит был разработан датчик изображения, использующий технологию комплементарных металло-оксидных полупроводников (КМОП). Применение разработанных ДЖАКСА технологий обработки изображений на основе использования программируемой пользователем вентильной матрицы (ППВМ) для анализа данных, поступающих с КМОП-датчика, позволяет обнаруживать на низкой околоземной орбите объекты размером 10 см и менее. Для снижения нагрузки на систему предупреждения столкновений рассматривается возможность применения сети оптических приборов наблюдения с использованием реальных метеорологических данных Национального управления по исследованию океанов и атмосферы Соединенных Штатов Америки. Чтобы расширить возможности для наблюдения объектов на низкой околоземной и геосинхронной орбитах в дополнение к Ньюкасамской обсерватории в Японии была обустроена удаленная площадка для наблюдений в Австралии. Для различных целей могут использоваться два 25-сантиметровых телескопа и один 18-сантиметровый телескоп.

Защита от столкновений с микрообъектами

Количество микрообъектов (диаметром менее 1 мм) на низкой околоземной орбите возрастает. Столкновение с микрообъектами чревато опасным повреждением спутников, поскольку скорость соударения составляет в среднем 10 км/с.

ДЖАКСА разработало программное средство для оценки риска столкновения спутника с космическим мусором под названием Turandot. Оно позволяет анализировать риски, связанные с воздействием мусора, с использованием трехмерной модели космического аппарата.

Топливный бак, легко разрушающийся при возвращении в атмосферу

Для изготовления топливных баков обычно используется титановый сплав, который наиболее пригоден благодаря малому весу и хорошей химической совместимости с топливом. Однако его температура плавления столь высока, что топливные баки не сгорают при входе в атмосферу, что может привести к жертвам на поверхности Земли.

С 2010 года ДЖАКСА проводит исследования с целью разработки бака с внутренним покрытием из алюминия и оболочкой из углеродных композитов, который плавится при более низких температурах. В рамках технико-экономического обоснования ДЖАКСА провело углубленные испытания, в том числе проверку на совместимость алюминия в качестве материала для внутреннего покрытия с гидразиновым ракетным топливом, а также испытание электродуговым нагревом.

После того, как была изготовлена и испытана уменьшенная технологическая модель бака (ТМ-1), был изготовлен полноразмерный бак (ТМ-2). Форма ТМ-2 бака, в котором имеется топливозаборное устройство, повторяет форму обычного бака. Были проведены испытания на избыточное давление, вибростойкость (во влажных и сухих условиях), внешнюю течь, цикл изменения давления и на действие внутреннего давления, и все они показали положительные результаты. Планируется, что после второй технологической модели бака будет изготовлен и испытан производственный образец.

Такой композитный топливный бак отличается от титанового бака более коротким сроком поставки и меньшей стоимостью. Вместе с тем в настоящее время проводятся дополнительные исследования и испытания для определения вероятности прекращения существования при входе в атмосферу.

Активное удаление мусора

ДЖАКСА выступило организатором и определило структуру программы исследований с целью осуществления малозатратной миссии по активному удалению космического мусора. Исследования и разработка ключевых технологий, предназначенных для активного удаления мусора, ведутся по трем основным направлениям: сближение с пассивными объектами, методы захвата пассивных объектов и методы свода с орбиты неповрежденных крупных объектов. ДЖАКСА сотрудничает с частными компаниями в Японии с акцентом на развитие малозатратных проектов по активному удалению мусора в форме предпринимательства и работает над обеспечением ключевых технологий, необходимых для решения этой задачи.

Одним из перспективных вариантов свода с орбиты в рамках операций по активному удалению мусора является использование электродинамического троса, поскольку это позволяет снизить общие размеры системы и, следовательно, затраты. Для демонстрации некоторых технологий, которые необходимы для применения электродинамического троса, ДЖАКСА запланировало и осуществило в 2017 году эксперимент на орбите по использованию электродинамического троса с грузового космического корабля НТВ-6. Высвободить трос не удалось, однако автоэмиссионный катод, являющийся одним из важнейших элементов системы электромеханических тросов, отработал успешно, и были получены оперативные данные на орбите для дальнейшей работы над системой электродинамических тросов.

Мексика

[Подлинный текст на испанском языке]
[7 ноября 2018 года]

Через Мексиканское космическое агентство Мексика сотрудничает с Рабочей группой по долгосрочной устойчивости космической деятельности в рамках работы четырех групп экспертов, а именно по устойчивому использованию космического пространства в поддержку устойчивого развития на Земле (группа экспертов А); космическому мусору (группа экспертов В); космической погоде (группа экспертов С); и нормативным режимам и руководству для участников космической деятельности (группа экспертов D).

Что касается национальных исследований по проблеме космического мусора и практики недопущения засорения космического пространства, то такие исследования осуществляют открытые университеты Мексики. Так, Национальный автономный университет Мексики в рамках своего инженерного факультета и Центра высоких технологий в Хурикилья, штат Керетаро, проводит работу по планированию будущих полетов с уделением особого внимания обеспечению устойчивости.

Эта работа ведется по таким направлениям, как детектирование космических частиц, разработка математических моделей образования мусора, измерение параметров такого мусора и подготовка планов защиты. Кроме того, Национальный автономный университет Мексики работает над созданием вакуумной камеры и камеры электромагнитного излучения для испытания спутников и проверки их способности противостоять такому воздействию, что позволит уменьшить вероятность сбоев в их работе во время операций в космосе и их превращения в космический мусор. Ведется также работа над созданием электросиловых двигательных установок с целью гарантировать, что по достижении спутниками конца своего срока службы они сойдут со своей орбиты, войдут в атмосферу Земли и разрушатся, не допустив дополнительного засорения космоса.

Что касается наблюдения за космическим мусором в целях обеспечения безопасности космической инфраструктуры, то Автономный университет Синалоа, используя свой телескоп, включился в деятельность международного сообщества, осуществляемую под руководством международной Научной сети оптических инструментов. Наблюдение за космическим мусором ведется с 2012 года, и каждый год удается обнаружить около десяти новых объектов, включая фрагменты и утерянные спутники выше геостационарной орбиты. Астрономическая обсерватория, которую совместно используют Автономный университет Синалоа и международная Научная сеть оптических инструментов, делает до 864 снимков за ночь, и при этом обнаруживаются 30–70 космических объектов. В рамках этой программы производится автоматическая обработка данных и отмечаются координаты. Регистрация может также производиться вручную.

К этой деятельности подключился Научно-исследовательский физико-математический центр Автономного университета Нуэво-Леона, участвующий в международном проекте по наблюдению за космическим мусором, который осуществляется сетью из 25 обсерваторий более чем в 15 странах и который координируется Институтом им. Келдыша Российской академии наук. В данном проекте участвует и обсерватория этого Университета, которая находится в ведении факультета физико-математических наук. Обсерватория осуществляет мониторинг космического мусора с целью выявления объектов, способных причинить ущерб спутникам и, как следствие, вызвать перебои, например, в мобильной телефонной связи или авиасообщении, или ошибки в работе GPS.

Кроме того, Национальный политехнический институт и Тикоманская высшая школа машиностроения и электротехники (ESIME) учредили Тикоманскую аэрокосмическую ассоциацию, одним из направлений деятельности которой

является исследование объектов, относящихся к космическому мусору. Эти органы часто публикуют статьи по этой теме, информируя институтское сообщество и широкую общественность.

Еще одной организацией, функционирующей с 2011 года, является Научно-техническая сеть, объединяющая группу исследователей, которые заинтересованы в развитии космической науки и техники в Мексике и стараются мобилизовать средства на проведение междисциплинарных семинаров и практикумов и осуществление проектов, предусматривающих координацию усилий национальных и зарубежных представителей, научных и деловых кругов, правительственных учреждений и гражданского общества, в целях содействия развитию космической науки и техники в Мексике. Одной из конкретных задач Сети является стимулирование научных исследований, в частности по тематике космического мусора, осуществление ежегодных проектов и поощрение участия мексиканских экспертов и научных сотрудников в таких исследованиях.

Все вышеупомянутые виды деятельности осуществляются в соответствии с международными нормами, такими как Руководящие принципы предупреждения образования космического мусора, принятые Межагентским координационным комитетом по космическому мусору, Рекомендация ITU-R S.1003 Международного союза электросвязи, касающаяся защиты среды геостационарной орбиты, стандарты Европейского кодекса поведения для предупреждения образования космического мусора и стандарт ISO 24113 Международной организации по стандартизации, касающийся космических систем: требования к предупреждению образования и ослабление воздействия космического мусора.

Мексика наряду с Германией, Канадой и Чехией принимала также участие в инициативе, направленной на разработку сборника стандартов по предупреждению образования космического мусора, который был представлен на пятьдесят третьей сессии Юридического подкомитета Комитета по использованию космического пространства в мирных целях. Это первый документ, который содержит представленную государствами-членами, включая Мексику, информацию о принятых ими нормативно-правовых мерах по уменьшению засоренности и недопущению засорения космического пространства.

Безопасность космических объектов с ядерными источниками энергии на борту и проблемы, связанные со столкновением таких объектов с космическим мусором

Эта тема рассматривается в руководящих принципах обеспечения долгосрочной устойчивости космической деятельности. В соответствии с положениями Договора о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела (Договор по космосу), Мексика неизменно выступает против милитаризации космического пространства и за его использование в мирных целях. Ни одна из ее космических программ не предусматривает использование ядерных источников энергии. Использование таких источников энергии регулируется нормами, принятыми Международным агентством по атомной энергии. В этом отношении и в отношении всех вопросов, касающихся использования ядерных источников энергии, ключевым элементом является безопасность человека в космосе и безопасность космической среды.

В этой связи вышеупомянутые руководящие принципы служат важной основой для системы обеспечения безопасности.

Ни Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве, ни вышеупомянутые руководящие принципы не имеют обязательной силы. Некоторую защиту, хотя и в ограниченных пределах, предусматривает статья IV Договора по космосу.

III. Ответы, полученные от международных организаций

Международная астронавтическая федерация

[Подлинный текст на английском языке]

[5 ноября 2018 года]

Обеспечение устойчивости космических операций в будущем: проблема орбитального мусора

Неуклонный рост засоренности орбит

Первый в истории вывод на орбиту космического аппарата «Спутник-1» 4 октября 1957 года проложил дорогу для всех тех видов применения космической техники, которыми мы пользуемся в настоящее время. Повседневная жизнь во все большей степени зависит от прикладных технологий, которые оказываются незаменимыми и стратегически важными в таких областях, как климатический мониторинг, телекоммуникации, местоопределение, обеспечение обороны и безопасности и научно-исследовательская деятельность. Применение этих технологий имеет также огромное экономическое значение, поскольку обеспечивает миллионы рабочих мест во всем мире, а рынок связанных с ними услуг оценивается в триллионы евро.

Вместе с тем следует понимать, что полет «Спутника-1» стал также самым первым шагом к засорению орбит; на той же орбите, что и спутник массой 82 кг, находилась основная ступень его ракеты-носителя «Р-7», а именно центральный блок «А» массой 6,5 т, и небольшой обтекатель массой 100 кг, который защищал спутник при прохождении атмосферного участка выведения. То есть почти 99 процентов выведенной на орбиту массы не выполняли на ней какой-либо полезной функции. Радиосигналы со спутника передавались в течение 21 дня, а сам спутник находился на орбите 92 дня, прежде чем вошел в плотные слои атмосферы. Это означает, что спутник не выполнял никакой полезной функции на протяжении трех четвертей срока его пребывания на орбите. «Мертвый» спутник, основная ступень его ракеты и защитный обтекатель — все являлись искусственными орбитальными нефункциональными объектами, что является определением орбитального мусора.

За период с 1957 года число объектов, находящихся на орбите, и их масса существенно возросли.

Это, несомненно, свидетельствует о добром здравии космической отрасли, с которой связано появление множества прикладных технологий, однако при этом возникает вопрос о долгосрочной устойчивости орбитальных операций. С 1957 года масса находящихся на орбите объектов неуклонно возрастала и теперь составляет почти 8 000 т, а число каталогизированных объектов (которые можно отслеживать с Земли: обычно размером 10 см на низких околоземных орбитах или размером 1 м в области геостационарной орбиты) достигло 20 000. Такой значительный рост может показаться удивительным с учетом того, что по сравнению с периодом холодной войны число успешных запусков существенно уменьшилось (140 в 1967 году и 52 в 2005 году) и на протяжении более чем 20 лет, а именно с 1995 года, применяются международные нормы, призванные противодействовать росту засоренности орбит.

В настоящее время из 20 000 занесенных в каталог объектов около 1 700 являются действующими спутниками, а остальные — космическим мусором, на долю которого приходится 92 процента находящихся на орбите объектов. Наиболее засорены низкие околоземные орбиты в диапазоне высот от 600 до 1 200 км и область геостационарной орбиты на высоте 35 800 км. Половину каталогизированных объектов составляют целые элементы, отработавшие спутники, оставшиеся на орбите верхние ступени и отходы космических операций, а вторую

половину составляют различного размера фрагменты, возникшие в результате столкновений или взрывов на орбите.

Помимо этих занесенных в каталог крупных объектов на околоземных орбитах находится около 750 000 объектов размером более 1 см и свыше 170 млн объектов размером более 1 мм.

Эти цифры могут показаться впечатляющими, однако следует помнить о необъятности космоса. Искусственные орбитальные объекты массой 8 000 т, что эквивалентно массе Эйфелевой башни, распределены по всему околоземному пространству. Пространственная плотность космического мусора крайне невелика и в наиболее засоренной области составляет максимум 0,1 объекта на 1 млн куб. км.

Однако у этих объектов есть три характерные особенности. Во-первых, находящийся на орбите объект, как правило, пребывает на ней долгое время. Например, спутник, выведенный на высоту 1 000 км, будет оставаться там в течение 1 000 или 2 000 лет. Во-вторых, орбитальная скорость объекта составляет почти 8 км/с или 30 000 км/ч. Такая скорость в сочетании с тысячелетиями существования сопряжена со значительным риском столкновения. В-третьих, любой выводимый на низкую околоземную орбиту объект неминуемо падает обратно на Землю с риском причинить ущерб.

Две основные проблемы орбитального мусора

Неконтролируемый вход в атмосферу крупных космических объектов создает угрозу для населения

При входе в атмосферу космический объект под воздействием очень высокого динамического давления, пропорционального квадрату скорости, разрушается. Затем образовавшиеся фрагменты вследствие трения с молекулами воздуха подвергаются очень высокой тепловой нагрузке, пропорциональной кубу скорости, что ведет к плавлению и испарению материалов. К сожалению, этот процесс, как правило, является неполным и, в зависимости от конструкции объекта, от 10 до 20 процентов его общей массы может выдержать падение в атмосфере. Тугоплавкие материалы, например титан, углерод и некоторые виды стали, не плавятся при вхождении в атмосферу и достигают поверхности Земли.

К счастью, водное пространство занимает 71 процент земной поверхности, а значительную часть суши занимают пустынные области. На долю густонаселенных районов приходится только 3 процента земной поверхности, и, следовательно, опасность для людей невелика.

Согласно оценкам, каждую неделю происходит неконтролируемое возвращение в атмосферу одного крупного спутника или одной ступени ракеты, при этом вероятность причинения ими ущерба кому-либо составляет 1:10 000. До сих пор погибших не было, хотя вблизи населенных районов находили много крупных фрагментов космических объектов и в редких случаях имело место нанесение небольшого ущерба строениям. Эта проблема подобна Дамоклову мечу: мы продолжаем выводить на орбиту крупные ступени или спутники, зная, что в конце концов они неконтролируемо войдут в атмосферу, создавая значительную угрозу для людей.

Риск столкновений на орбите

Столкновения имеют иного рода последствия. Они теперь ассоциируются не с проблемой безопасности, а с коммерческим риском, связанным с повреждением действующих спутников, которые полезны и без которых часто не обойтись в повседневной жизни.

Есть несколько потенциальных угроз.

Столкновение мелкого некаталогизированного объекта с действующим спутником может вывести из строя космический аппарат. При столкновении

высвобождается огромная кинетическая энергия (энергия столкновения с частицей диаметром 1 мм составляет 1 килоджоуль, что эквивалентно энергии шара для боулинга, брошенного со скоростью 100 км/ч). В этих обстоятельствах даже небольшой удар может привести к потере спутника, если он, например, придется по бортовому компьютеру. Согласно результатам ряда исследований, вероятность потери спутника из-за столкновения составляет порядка 5 процентов. В настоящее время космический мусор является главной причиной выхода из строя спутников, находящихся на орбите. Поскольку мелкий космический мусор по определению является некаталогизированным и потому не отслеживается, предотвратить такие столкновения невозможно.

Столкновения крупных объектов происходят весьма редко, а именно раз в пять-восемь лет, в зависимости от модели. Однако при каждом таком столкновении образуется большое количество новых фрагментов и, следовательно, обстановка на орбите в целом становится значительно более опасной. Вызываемый столкновениями регенеративный эффект повышает степень опасности неконтролируемого роста популяции космического мусора. Теория этого процесса, известного как «синдром Кesslera», была разработана в 1978 году. Этот процесс может привести к не поддающейся контролю ситуации, даже если в будущем будет прекращена любая космическая деятельность. Одним из примером является столкновение двух спутников «Иридиум-33» и «Космос-2251» в феврале 2009 года, в результате которого образовалось более 2 200 каталогизированных крупных фрагментов мусора и огромное количество более мелких частиц.

Результаты моделирования, проводимого Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) Соединенных Штатов Америки и семью космическими агентствами — членами Межагентского координационного комитета по космическому мусору (МККМ), указывают на то, что даже при полном прекращении космической деятельности засоренность околоземных орбит в ближайшие годы будет экспоненциально возрастать. Так, согласно результатам проведенного НАСА моделирования ситуации с прекращением запусков после 2006 года, несомненно, будет происходить долгосрочное повышение засоренности вследствие столкновений крупных объектов.

Меры по ограничению количества орбитального мусора в будущем и по обеспечению устойчивости операций в космосе

Международный набор требований, эффективный и получивший широкое признание

Наиболее важной и существенной мерой является принятие на международном уровне правил, направленных на предупреждение образования нового мусора в результате будущих космических операций. Эта задача предусматривает предупреждение образования и защиту от космического мусора и сводится к принятию пяти мер высокого уровня.

Во-первых, безусловно, необходимо ограничивать образование мусора при штатных операциях выведения на орбиту и избегать преднамеренного разрушения спутников на орбите.

Во-вторых, во избежание самопроизвольных взрывов на орбите требуется пассивация всех космических объектов, остающихся на орбите, а именно устранение любых источников запасенной энергии, включая остатки топлива, сжатый газ для наддува баков и энергию аккумуляторных батарей, или остановка маховиков.

В-третьих, необходимо ограничивать срок существования на орбите космических объектов. Отрабатывшие спутники и верхние ступени ракет не должны оставаться более 25 лет в двух оберегаемых районах, а именно в районе низких околоземных орбит и в районе геосинхронной орбиты.

В-четвертых, спутниковым операторам рекомендуется принимать все меры для предотвращения столкновений на орбите, если они располагают достаточно точной информацией и спутник способен выполнять маневры.

И наконец, рекомендуется сводить к минимуму опасность для людей вследствие неконтролируемого входа объектов в атмосферу. Для этого операторы во всех случаях, когда степень опасности причинения ущерба превышает 1:10 000, должны осуществлять контролируемый вход объектов в атмосферу.

Эти нормы прописаны во многих документах как на национальном, так и международном уровне. Нижеприводимый перечень призван лишь напомнить о том, что такие рекомендации были сформулированы уже более 20 лет назад.

Впервые обеспокоенность в отношении долгосрочной устойчивости космических операций была высказана в представленном Японией документе в 1971 году. Затем начиная с 1974 года появилось много ссылок на эту тему в работах, опубликованных НАСА, и к 1987 году — в работах, опубликованных в Европе, в результате чего были установлены первые национальные стандарты, а именно стандарты, разработанные НАСА в 1995 году, Национальным агентством по освоению космического пространства Японии (теперь Японское агентство аэрокосмических исследований) в 1996 году и Национальным центром космических исследований Франции в 1999 году.

Первым документом, принятым на международном уровне, были Руководящие принципы предупреждения образования космического мусора — сборник рекомендаций, подготовленных МККМ, в состав которого в настоящее время входят 13 основных космических агентств. Эти принципы единогласно были приняты в 2002 году и пересмотрены в 2007 году. Аналогичный стандарт на европейском уровне был разработан в 2000 году и утвержден в июне 2004 года.

Руководящие принципы МККМ были адаптированы и приняты Комитетом Организации Объединенных Наций по использованию космического пространства в мирных целях и одобрены Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций в резолюции, принятой на пленарной сессии в 2007 году.

Франция стала первой страной, принявшей закон по этой теме, а именно Закон о космических операциях (*Loi relative aux opérations spatiales*), который вступил в силу в 2010 году и в который в 2017 году были внесены поправки.

С 2011 года Международная организация по стандартизации (ИСО) приняла ряд стандартов, касающихся космического мусора, в частности стандарт 24113 ИСО, который является стандартом высшего уровня. Этот стандарт в случае эффективного охвата его действием всех операторов и конструкторов позволит существенно замедлить темп роста засоренности околоземного пространства.

Параллельно, в 2010 году, Комитет по использованию космического пространства в мирных целях учредил Рабочую группу по долгосрочной устойчивости космической деятельности, поручив ей подготовить на основе консенсуса доклад, содержащий руководство для всех участников космической деятельности по добровольному применению оптимальной практики в целях содействия обеспечению долгосрочного устойчивого использования космического пространства. В процессе одобрения 37 руководящих принципов всеми сторонами на основе консенсуса возникли определенные трудности, и к настоящему времени одобрены лишь 12 руководящих принципов. Однако Рабочая группа еще функционирует, и полный сборник руководящих принципов Организации Объединенных Наций после его одобрения должен стать весьма эффективным инструментом.

И наконец, большая группа операторов недавно подготовила посвященную этой теме хартию, в которой предлагаются более строгие руководящие

принципы, чем в других документах. Этот комплекс передовых методов пока является проектом, и не ясно, как он может стать нормативным документом.

Защита от столкновений

Второй мерой, призванной уменьшить воздействие орбитального мусора, является оснащение действующих спутников экранами. Установленные на корпусе листы из металла, кевлара или даже плотного пенопласта дробят налетающие фрагменты космического мусора и превращают их в облако мелких частиц, которые не способны пробить основной корпус или нанести иной ущерб.

Защитные конструкции могут быть весьма разными в зависимости от типа фрагментов мусора, который требуется остановить, от орбиты защищаемого экраном спутника, его ориентации и степени важности зон, требующих защиты. Во всем мире проводится множество испытаний в рамках поиска оптимальных сочетаний. При проведении наземных испытаний используются легкогазовые, часто двухступенчатые, пушки, стреляющие металлическими шариками диаметром 1 мм со скоростью до 12 км/с.

К сожалению, у экранов описанных видов ограниченная эффективность. Они способны защитить корпус от налетающих частиц диаметром не более 1 см. Чтобы избежать повреждения от столкновения с более крупными фрагментами мусора, спутники вынуждены уходить с опасной траектории, а это возможно только если известны орбита и положение фрагмента мусора. Крупноразмерный мусор диаметром более 10 см занесен в каталог, и поэтому для защиты спутники могут выполнять маневры уклонения от столкновения. Однако нет возможности защитить спутники от фрагментов мусора размером менее 10 см (поскольку не поддаются каталогизации) и крупнее 1 см (поскольку экранная защита не выдерживает удара).

Кроме того, создание экранной защиты требует решения многих проблем, связанных с габаритами, массой, стоимостью и даже обеспечением температурного равновесия спутника. На практике в настоящее время экранная защита устанавливается только на пилотируемых космических аппаратах, таких как Международная космическая станция, на европейских автоматических транспортных кораблях, японском транспортном корабле Н-II и некоторых очень крупных военных спутниках Соединенных Штатов.

Избежание столкновений

Эффективной мерой защиты действующих спутников, имеющих двигательную установку, является уклонение от столкновений с каталогизированным мусором.

Такие операции являются очень сложными, поскольку требуют расчета орбит всех потенциально опасных объектов на несколько дней вперед для выявления возможных столкновений. Статистические вычисления производятся на основе вероятности столкновения, определяемой ковариационной матрицей каждого объекта. При каждом сигнале опасности столкновения производится анализ потенциальной траектории налетающего объекта с учетом ретроспективных данных, что может требовать получения конкретных измерений от определенных средств наблюдения за космическим пространством, таких как радиолокационные станции и телескопы. Некоторые информационные сообщения о сближении непосредственно поступают также из Центра совместных космических операций.

В этом процессе используются существующие сети наблюдения и слежения за космосом, преимущественно принадлежащие Соединенным Штатам, а также международная Научная сеть оптических инструментов (НСОИ), такие национальные сети, как французская система слежения на базе радиолокационной станции GRAVES (Большая сеть для космических наблюдений), и такие

коммерческие инициативы, как Центр коммерческих космических операций компании «Аналитикал графикас, инк.» или компания «ЛеоЛэбс».

Аналитические расчеты позволяют определить время, когда спутнику необходимо выполнить маневр для снижения вероятности столкновения. По примерной оценке, каждому спутнику придется раз в год уклоняться от столкновения.

Основной проблемой является погрешность определения орбитальных параметров фрагментов космического мусора, которая обычно составляет от 100 м до 1 000 м. Этим объясняется крайне высокая доля ложных тревог — порядка 99,99 процента. Одной из приоритетных задач на ближайшие годы является повышение на несколько порядков точности определения параметров орбит. Добиться этого можно за счет использования в наблюдениях с Земли и с орбиты методов лазерной дальнометрии.

Своевременное недопущение столкновения между крупными космическими объектами, не способными маневрировать

Описанный в предыдущих пунктах процесс уклонения от столкновений применим только к действующим спутникам, которые составляют менее 20 процентов крупногабаритных объектов на низкой околоземной орбите (спутники или ступени ракет). Это означает, что такая практика эффективна для защиты действующих спутников, но она не позволяет замедлить темп роста засоренности вследствие столкновений не способных маневрировать крупных объектов, которые, по статистике, составляют большинство, и, следовательно, ее роль в обеспечении долгосрочной устойчивости космических операций невелика.

В этой связи в последние годы изучаются дополнительные меры по недопущению прогнозируемых столкновений между брошенными крупными объектами. Суть идеи заключается в том, что если через пару дней ожидается столкновение, т.е. вероятность столкновения выше допустимой нормы, то направляется миссия для небольшой коррекции траектории одного из двух объектов, чтобы не допустить столкновения или восстановить допустимые пределы.

В настоящее время, прежде всего в Соединенных Штатах и Франции, изучаются различные методы своевременного предупреждения столкновения, которые предусматривают, в частности, рассеяние с помощью ракеты-зонда облака газа, пыли или частиц перед объектом с целью на короткое время повысить лобовое сопротивление и замедлить его. Эти методы весьма перспективны, поскольку их реализация проще, чем активное удаление мусора, и они будут применяться только в случае высокой вероятности столкновения, обычно раз в пять или шесть лет. Другие методы, также совместно изучаемые в Соединенных Штатах и Франции, предусматривают использование находящихся на орбите лазеров для коррекции траектории объектов посредством очень коротких, но интенсивных импульсов, которые вызывают унос вещества с поверхности объекта и слегка изменяют его скорость. Даже есть предложения постоянно контролировать положение всего крупногабаритного мусора с помощью находящегося на орбите относительно небольшого лазера с целью сведения к минимуму вероятности столкновений (управление движением крупногабаритного мусора).

Активное удаление мусора

На протяжении более чем 15 лет изучается такая важная мера, как принудительное снятие с орбиты очень крупного и потенциально опасного космического мусора, т.е. объектов, при столкновении с которыми вполне вероятно образование наибольшего количества вторичного мусора. Эта и аналогичные меры известны как активное удаление мусора.

Эта стратегия основана на опубликованных в 2010 году результатах исследований, которые впервые были проведены НАСА и затем большинством членов МККМ. Если предположить, что меры по сдерживанию засорения космоса

выполняются в полной мере (отсутствие разрушений на орбите и соблюдение правила нахождения на низкой околоземной орбите не более 25 лет), тогда принудительного снятия с наиболее насыщенных орбит 5–10 правильно отобранных крупных космических объектов будет достаточно для стабилизации популяции космического мусора на орбите.

Предложены и изучены многие потенциальные решения проблемы «очистки» околоземного пространства, которые были опробованы на Земле, в полете в условиях невесомости и недавно на орбите. Эти решения можно разделить на несколько групп (представленный ниже обзор не является исчерпывающим).

Во-первых, есть несколько бесконтактных способов, предусматривающих, в частности, использование виртуального «электростатического поводка» или лазера для перевода старых спутников, брошенных на геостационарной орбите, на более высокую орбиту.

Имеется также несколько способов, основанных на методах рыбной ловли, которые предполагают использование крюков, гарпунов и сетей для захвата космического мусора и увода с орбиты с помощью длинного троса до совершения контролируемого входа в плотные слои атмосферы.

Кроме того, ряд идей основан на повышении лобового сопротивления с целью ускорения снижения космического мусора, например, путем закрепления на объекте космического мусора с помощью спутника — уборщика надувного баллона или мембраны-паруса, что существенно увеличивает площадь поперечного сечения объекта. На объекте космического мусора может устанавливаться также электродинамический трос — токопроводящий провод, при взаимодействии которого с окружающим магнитным полем Земли возникает сила Лоренца, снижающая орбиту объекта, в результате чего сокращается срок его нахождения на орбите. Однако значительным недостатком этих способов является то, что они вызывают неконтролируемый вход в атмосферу и, следовательно, существует потенциальная опасность для населения.

И наконец, более обычные способы предусматривают захват космического мусора роботом-манипулятором, использующим для этого устройства типа щупалец или клещей, и затем его свод с орбиты и контролируемый ход в плотные слои атмосферы.

Степень технической проработки этих способов высока, и уже проведены многочисленные демонстрационные испытания, в том числе на орбите. Таким образом, основными являются не технические, а финансовые проблемы, поскольку в отсутствие четкого бизнес-плана, открывающего путь для коммерческой деятельности, такие операции будут весьма дорогостоящими. Существуют также многочисленные юридические препятствия, связанные с ответственностью за операции, или даже опасения военного характера, поскольку некоторые такие операции потенциально открывают дорогу для милитаризации космоса.

Эти вопросы активно обсуждаются в рамках нескольких рабочих групп на международном уровне, в частности в Комитете по использованию космического пространства в мирных целях в контексте инициативы по обеспечению долгосрочной устойчивости космической деятельности. Благодаря появлению космических буксиров первые усилия по активному удалению мусора могут быть предприняты раньше, чем ожидалось. В настоящее время в ряде стран, особенно в Соединенных Штатах и Франции, разрабатывается несколько таких многоцелевых орбитальных аппаратов, при этом свод с орбиты крупногабаритного мусора может быть последним действием или завершающим маневром космического буксира после завершения операций на орбите. Ведется также разработка орбитальных аппаратов, предназначенных для свода спутниковых группировок, застрявших на орбитах, что свидетельствует о перспективности разработки позитивного бизнес-плана в области активного удаления мусора.

Заключение: положение, вызывающее обеспокоенность

Недостаточное полное исполнение норм по предупреждению засорения космоса

Степень исполнения составляет в целом приблизительно 55 процентов, однако эта цифра, возможно, чуть-чуть оптимистична, поскольку включает все малые спутники, которые выводятся на низкую орбиту и быстро возвращаются в атмосферу. В отношении только космических аппаратов на орбитах выше 600 км степень исполнения составляет менее 20 процентов. В отношении же спутников тяжелее 100 кг степень исполнения составляет только 6 процентов.

Наблюдается лишь неуклонный рост и нет никаких признаков сокращения массы и количества отдельных объектов космического мусора на орбите. Ежегодно на орбите происходит множество столкновений и разрушений, а при запусках помимо выхода на орбиту спутников и верхних ступеней ракет продолжают высвобождаться десятки крупных объектов.

Согласно результатам многочисленных исследований, для того чтобы ограничить рост засоренности околоземного пространства, степень исполнения норм, касающихся предупреждения засорения космоса, должна быть выше 90 процентов.

С появлением наноспутников возникает много вопросов

В настоящее время наблюдается бум запусков на орбиту множества являющихся миниспутниками кубсатов. Эти миниатюрные высокотехнологичные спутники меняют правила игры, предлагая широкий спектр применения космических технологий при небольших затратах на разработку, создание и запуск. Как следствие, ежегодно несколько сотен таких спутников выводятся на орбиту, однако в большинстве случаев у них нет двигательной установки, и поэтому они не могут уклониться от столкновения или сократить срок своего нахождения на орбите. Их часто выводят на высокорасположенные орбиты, не подпадающие под правило 25 лет существования. В 2017 году были запущены 430 кубсатов, а с 2018 года ожидается запуск ежегодно более 500 таких спутников в год.

В настоящее время МККМ и ИСО разрабатывают для спутников, не способных уклоняться от столкновений, дополнительные правила, которые ограничивают срок их нахождения на орбите после запуска 25 годами, а высоту их орбиты — приблизительно 600 км.

Крупные спутниковые группировки

С крупными спутниковыми группировками сопряжена иная проблема. Существуют планы запуска группировок, насчитывающих тысячи спутников массой 200–500 кг каждый, как правило, на очень стабильные орбиты. Примером является инициатива One Web, в рамках которой, начиная с середины 2018 года, на круговую орбиту с большим углом наклона высотой 1 200 км, на которой можно стабильно находиться тысячелетиями, будут выведены почти одна тысяча спутников для обеспечения высокоскоростного доступа в интернет. И это может быть только началом. Компания «Боинг» объявила о намерении создать собственную группировку из 2 900 спутников. Компания SpaceX объявила о планах создания двух группировок из 2 800 и 7 500 спутников. В целом Федеральной комиссией по связи Соединенных Штатов получены запросы на запуск более 17 000 новых спутников в ближайшие десять лет (следует напомнить, что в настоящее время насчитывает только 1 700 действующих спутников).

Операторами часто являются новички из Кремниевой долины, не имеющие опыта проведения космических операций. Однако они, по-видимому, вполне осведомлены обо всех нормах, касающихся предупреждения засорения космического пространства, и поэтому все же следует надеяться, что при условии строго соблюдения международных норм, в результате этих масштабных операций на очень стабильных орбитах сложится ситуация, поддающаяся долгосрочному управлению.

Новая радиолокационная станция Space Fence

Военно-воздушные силы Соединенных Штатов создают работающую в S-диапазоне новую радиолокационную систему под названием Space Fence («Космический забор»), которая должна встать на дежурство в 2019 году. Она сможет сопровождать гораздо меньшие, чем поддающиеся каталогизации в настоящее время, объекты, потенциально размером 3–5 см в диаметре. Появление еще одной системы наблюдения и слежения за космосом является отличной новостью, означающей, что число каталогизированных объектов увеличится на порядок, возможно, до 200 000 объектов. Если при этом параллельно не будет значительно повышена точность определения параметров орбит, это приведет к существенному росту числа оповещений об угрозе столкновения.

Управление космическим движением

Растет понимание того, что необходимо принять срочные меры для сохранения в перспективе деятельности на орбитах. На международном уровне проводится большая работа по теме управления космическим движением для обеспечения безопасности в космосе, задачей которой, по определению Европейского института космической политики, является защита космической инфраструктуры от природных и техногенных угроз и рисков в целях обеспечения устойчивости космической деятельности. Некоторые исследователи предлагают создать новую международную гражданскую организацию по космосу с широчайшим кругом задач, от распорядительной деятельности в контексте норм по предупреждению засорения космоса до установления платы за предоставление доступа к космосу, и с полномочиями на обеспечение исполнения.

Такие инициативы являются хорошими, однако они по сути направлены на защиту действующих спутников в краткосрочной перспективе. К настоящему времени почти не внесено никаких предложений о недопущении появления тысяч новых объектов космического мусора в результате столкновений крупногабаритных объектов, не способных маневрировать. До тех пор, пока не будет найдено решение, будущее космических операций будет оставаться под большой угрозой.