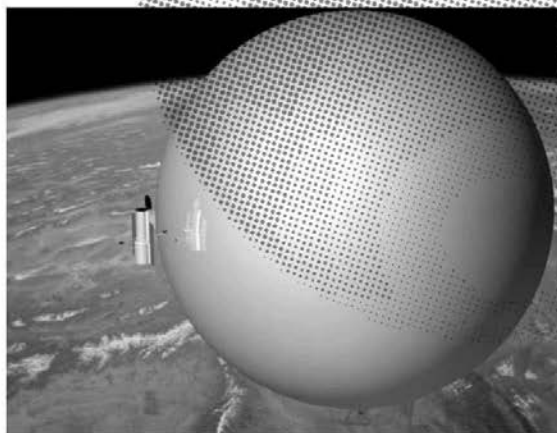


*Борис Шустов**

Как очистить космос



В качестве платы за рост населения планеты и за технический прогресс человечество получило экологические проблемы, которые могут перерасти в катастрофы — региональные или глобальные. Одна из них — накопление мусора на планете. И это — не только утопающие в мусоре города в ряде стран третьего мира, и не гигантские свалки, отравляющие жизнь многим жителям окрестностей российских городов. Уже есть сформировавшиеся из мусора образования планетарного масштаба. Сравнительно недавно, в конце 1990-х, американским океанографом и яхтсменом Чарльзом Муром обнаружено Большое тихоокеанское мусорное пятно, состоящее, в основном, из пластиковых изделий и их фрагментов. Оно сформировано океаническими течениями, постепенно концентрирующими в одной области выброшенный в океан мусор, занимает 0,4—0,8% площади Тихого океана и содержит более ста миллионов тонн мусора. По оценке Чарльза Мура, 80%

этого мусора происходит из наземных источников, 20% выбрасывается с палуб кораблей, находящихся в открытом море. Оценка площади пятна — около миллиона квадратных километров, его назвали Восточным мусорным континентом. Можно, конечно, сказать, что это издержки цивилизации, но уровень цивилизации определяется не только освоенными технологиями, но и уровнем социального развития, включая понимание того, что нужно жить в гармонии с природой. Что человек не должен мусорить, и если без мусора не обойтись, необходимо убирать за собой.

Однако планетой Земля наши возможности мусорить не ограничались. Человечество успело создать себе же проблему, называемую космическим мусором. Это все искусственные объекты, которые уже не функционируют, и их многочисленные фрагменты. Объекты космического мусора представляют собой серьезную опасность для космических аппаратов, поскольку на типичной скорости объектов в ближнем космосе (8 километров в секунду), да и на меньшей скорости, характерной для объектов на геостационарной орбите (3 км/с),

* Шустов Борис Михайлович, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, научный руководитель Института астрономии РАН.

Основные сведения о космическом мусоре

Класс объектов КМ по размеру	I	II	III
	0,1 — 1 см	1 — 10 см	> 10 см
Количество объектов на всех высотах	150 миллионов	780 000	23 000
Количество объектов на низких орбитах	20 миллионов	400 000	15 000
Последствия столкновения с космическим аппаратом	возможно серьезное повреждение	серьезное повреждение или уничтожение	уничтожение
Существующие методы защиты	защитные экраны	маневр уклонения	маневр уклонения

кусочек размером в сантиметр может стать убийцей космического аппарата. Элементы космического мусора сталкиваются друг с другом, разрушаются, их количество увеличивается, и в какой-то момент может начаться лавинообразное нарастание концентрации. После этого космические полеты придется существенно ограничить, ибо запускаемые на орбиту аппараты будут разрушаться этим мусором. Сколько элементов космического мусора (КМ) мы имеем сейчас? В таблице 1 приведены основные сведения о космическом мусоре.

Итак, количество опасных объектов космического мусора измеряется сотнями тысяч, общая масса — несколько тысяч тонн. Это не 100 миллионов тонн, как у Восточного мусорного континента, но тоже глобальный объект — огромная космическая оболочка Земли, населенная космическим мусором. Маневр уклонения — дорогое удовольствие, да еще ведь нужно заблаговременно обнаружить крохотный объект, а это сложно. Наземные системы обнаружения и мониторинга позволяют находить, определять параметры орбиты и отслеживать объекты размером более 10 сантиметров. В современных каталогах, содержащих данные о конкретных объектах космического мусора, насчитывается около 20 тысяч объектов. Их число со временем неизменно растет. Динамика этого роста показана на рисунке 1, взятом из материалов НАСА.

Хорошо видно, как резко увеличилось количество таких объектов в моменты, соответствующие военному эксперименту, проведенному Китаем по уничтожению спутника

Fengyun-1C, и случайному столкновению спутников Iridium 33 и военного спутника связи Космос 2251.

В ближайшие годы ожидается резкий рост числа запусков спутников — по программам создания систем спутников мобильной связи OneWeb,

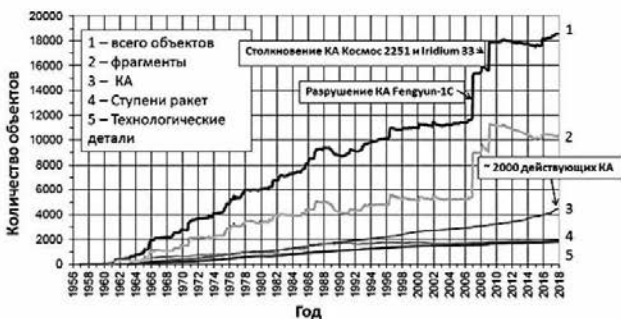


Рис. 1. Динамика роста численности объектов КМ. (КА — космический аппарат)

Samsung, SpaceX и других. Общее число таких аппаратов массой 100—400 килограммов каждый будет измеряться десятками тысяч (в настоящее время на всех высотах работает около 2200 аппаратов), так что ситуация только осложнится. Надо что-то делать, иначе синдром Кесслера может стать реальным диагнозом и приговором продвижению человечества в космос уже в ближайшее время.

Методы известны — не мусорить и убирать за собой. Не мусорить — это минимизировать количество мусора при запусках и технологических экспериментах, а также вводить отработавшие космические аппараты на орбиты захоронения. Они располагаются в неиспользованных обла-

стях ближнего космоса и позволяють отработавшим аппаратам находиться в этих областях в течение длительного времени, обычно более тысячи лет. Такая зона, например, находится выше геостационарной орбиты на 200—300 километров. В современных контрактах на создание космических аппаратов и на их запуск обязательно прописываются пункты, направленные на выполнение этих требований. Для увода аппаратов надо иметь запас топлива, но можно и без этого. В последнее десятилетие, в основном, силами японских специалистов разрабатывается (и частично тестируется) технология солнечного паруса. Аппарат, отправляясь в последний путь, может поворачивать свои солнечные панели или специальный «парус», меняя направление и скорость своего движения. Ветер здесь, конечно, не такой, как на Земле, — это поток излучения и частиц, летящих от Солнца.

Чтобы убирать за собой, надо или иметь на орбите специальные космические аппараты — охотники за мусором, или использовать наземные установки — весьма мощные лазеры. Охотники могут собирать мусор и транспортировать его либо вверх, на орбиту захоронения, либо вниз, чтобы он сгорел в атмосфере.

Общепринятой классификации различных методов очистки околоземного космического пространства (ОКП) от космического мусора пока нет. По мнению специалистов Делфтского технического университета (Голландия), наиболее перспективные методы удаления мусора — это увеличение эффективной площади его объектов, приводящее к увеличению сопротивления движению в атмосфере, электродинамический трос, бесконтактные и контактные методы удаления.

Система увеличения сопротивления движению в атмосфере позволяет перемещать фрагменты мусора на большое расстояние, причем этот метод применим для частиц разных размеров. Недостатки: риск разрушения, низкая эффективность. Электродинамический трос в некоторых вариантах не требует двигателя. Однако при этом мето-

де необходимо применять технологию захвата, и он неэффективен на высокой орбите. Бесконтактный метод позволяет работать на большом расстоянии от объекта. Он подходит для частиц разных размеров, однако у него малая эффективность, и он неприменим на геостационарной орбите. Контактный метод подходит для сбора многих объектов, но предполагает сближение, что требует сложной системы контроля движения.

Стоит обсудить эти методы подробнее.

Система увеличения сопротивления движению в атмосфере

Увеличение площади сечения объекта — это способ увеличения влияния сопротивления атмосферы. В некоторых случаях (см. ниже) не надо сближаться с объектом и не надо использовать двигательную установку охотника. Конечно, этот класс методов применим только для объектов на низких орбитах, не выше 800 километров. Проиллюстрируем конкретные методы.

Пенная оболочка. Спутник-охотник сближается с объектом космического мусора и покрывает объект пеной. Получившийся пенный шар имеет большое отношение площади к массе из-за малой плотности и большого объема пены. Пена должна быть достаточно прочной, чтобы не быть сорванной мельчайшими (пылевыми) частичками.

Надувая оболочка. К объекту мусора прикрепляется в сложенном состоянии легкая газонепроницаемая оболочка. Оболочка раздувается с помощью прикрепленного к оболочке баллона со сжатым газом, и поперечное сечение объекта во много раз увеличивается, соответственно усиливается тормозящий эффект. Необходимо до запуска включить в конструкцию аппарата оболочку и баллон. После окончания работы космического аппарата на орбите этот блок активизируется, и происходит уход с орбиты.

Клубок нитей. Для увеличения площади поперечного сечения объекта

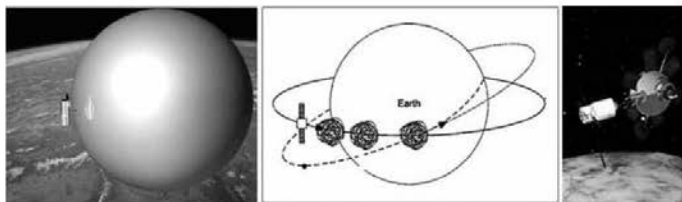


Рис. 2. Примеры технологий увеличения сопротивления движению в атмосфере. Слева направо: надувная оболочка (The Gossamer Orbit Lowering Device (GOLD)), клубок нитей, пенная оболочка (показана в процессе нанесения пены)

некоторые исследователи предлагают обмотать его выпускаемой из специального экструдера, расположенного на спутнике-охотнике, пластиковой нитью или лентой из графена. Нить лучше наматывать неплотно, получится рыхлый клубок большого размера. Практически все объекты мусора вращаются, так что перемещать охотник и не нужно, цель сама запутается.

На рисунке 2 проиллюстрированы все эти конкретные примеры технологий увеличения сопротивления движению в атмосфере.

Электродинамический трос

Применение тросовых систем в космосе — технологическое направление, успешно развивающееся уже более полувека. Считается, что электромагнитные (электродинамические) тросовые системы могут вырабатывать за счет использования части кинетической энергии орбитального движения системы электроэнергию мощностью до 1 МВт. С другой стороны, если по тросу пропустить ток, то, благодаря взаимодействию с магнитным полем Земли, в тросе возникает сила Ампера, направленная перпендикулярно тросу. Эту силу можно использовать для торможения космической тросовой системы и увода с орбиты нефункционирующего объекта. Здесь также возможны варианты применения. Электродинамический трос можно изначально установить на аппарате и развернуть после завершения программы полета. В 2016 году А. С. Ледков и А. О. Ковалев из Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева предложили использовать схему, состоящую из охотника с тросовой системой на

борту, который подлетает к нефункционирующему объекту, соединяется с ним гарпуном и разворачивает трос.

Эксперименты по очистке космоса с помощью электродинамических тросов начали проводить на практике. В конце 2016 года Японское агентство аэрокосмических исследований запустило на орбиту сборщик космического мусора (японский грузовой корабль HTV-6). Предполагалось, что HTV-6 после отстыковки от МКС опустится на 20 километров и выпустит на орбиту цилиндрический объект весом 20 килограммов, который будет имитировать космический мусор. После этого по 700-метровому тросу-проводу, который помогли разработать производители рыболовецких сетей, к нему будет подан ток, и скорость этого модельного объекта космического мусора уменьшится. Однако грузовой космический корабль, который должен был выполнить миссию, упал на Землю после доставки материалов на МКС.

Бесконтактные методы

Искусственная среда. Идея состоит в размещении на пути движения космического мусора газового облака, капель жидкости или даже пылевых частиц.

Лазерный метод. Это очень интенсивно развивающееся технологическое направление. Приведем лишь несколько примеров. В России специалисты Института прикладной физики РАН и АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» работают над проектом мощного наземного лазера для стрельбы по объектам космического мусора. На рисунке 3 показана схема работы такой системы. Лазерный луч рассеивается на неоднородностях плотности земной атмосферы, и, ес-

ли выстрелить без подготовки, излучение не будет сфокусировано на мишени. Поэтому сначала с Земли производится выстрел малой мощности. Лазерный импульс, отразившись от мишени, возвращается в наземный телескоп, и на основе результатов очень быстрого анализа этого сигнала делается вывод о мгновенном состоянии земной атмосферы. Мощный выстрел производится уже с учетом этих данных. Поверхность зеркала, направляющего излучение, слегка изгибается так, чтобы компенсировать атмосферные искажения, и излучение фокусируется на мишени. Это называется «адаптивной оптикой».

Сейчас интенсивно обсуждается инициатива группы китайских ученых использовать мощный инфракрасный ла-



Рис. 3. Схема применения мощного наземного лазера для изменения орбиты объекта космического мусора (рисунок взят из интернета <http://att-vesti.neva.ru/J31—2>. НТМ)

зер для испарения мелких фрагментов или дробления крупных фрагментов. Разработан проект строительства на орбите станции, предназначенной специально для уничтожения космического мусора на низких орбитах. Однако, есть даже не техническое, а политическое препятствие на пути этого проекта. Такая станция, по сути, является космическим оружием, что запрещено международным договором. К тому же, если не испарять, а разрушать, то результат может оказаться противоположным — вместо одного большого фрагмента можем получить сотню более мелких, но тоже опасных. Однако разрабатываются проекты с лазерами меньшей мощности, например, для отклонения элементов мусора и увода их

на орбиты схода в атмосферу. Сейчас в Японии, в Европе и в России серьезно обсуждаются проекты создания таких установок. Как считает президент РАН академик А. М. Сергеев, параметры уже существующих лазеров средней мощности являются достаточными для решения задачи по изменению орбиты небольших элементов космического мусора размером до нескольких сантиметров. Для первого применения рассматривается размещение лазера на МКС.

Пучковый метод. Пучок частиц, вылетающих из плазменного двигателя (очень распространенный вид современных космических двигателей малой тяги) может быть направлен на объект мусора. При этом импульс пучка передается мишени и изменяет ее орбиту. Эту идею разрабатывают в разных странах, в том числе и в России. На рисунке 4 показан космический аппарат с двумя электрическими (плазменными) двигателями. Второй двигатель нужен для удержания аппарата близ объекта космического мусора.

Разрабатывается и другой интересный проект, основанный на использовании узкого высокоскоростного пучка частиц. Такой пучок, проникая в глубину мишени, выделяет там энергию, достаточную для выброса из мишени значительного количества вещества и обеспечения большого импульса. Впрочем, такая система может быть квалифицирована как космическое оружие.

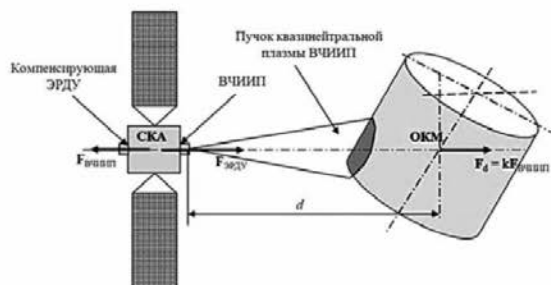


Рис. 4. Показан КА с двумя электродвигательными (плазменными) двигателями. Пучок ионов направлен на объект КМ

Контактные методы

Таких методов много, они основаны на реализации захвата или другого механического контакта с элементом мусора. Наиболее часто обсуждается применение специальных сетей, манипуляторов, гарпунов, клеящих веществ, тросов и прочего. Во всех случаях охотник должен изменить скорость мусора за счет своей двигательной установки или своего импульса. Часть этих методов уже тестируется в реальных экспериментах.

В сентябре 2018 года начались испытания «космического уборщика» RemoveDebris. Это аппарат Университета Суррея (Великобритания), его масса 100 килограммов, на борту было два очень маленьких аппарата размером примерно 10 сантиметров, массой по 3 килограмма — модели космического мусора. 17 сентября 2018 года был выпущен один кубсат, который раздулся в сферу диаметром один метр, и затем на него была накинута сеть. По адресу www.youtube.com/watch?v=PIfRPTIgXuw можно посмотреть видеозапись этого эксперимента. В 2019 году будут проводиться эксперименты по использованию гарпу-

на для фиксации космического мусора. В конце концов, основной аппарат выпустит специальный тормозящий экран (якорь), который отнесет его и пойманный им мусор в атмосферу Земли, где они и сгорят.

Тема очистки ОКП от космического мусора становится все более актуальной. Здесь прекрасное поле применения знаний и сил ученых и специалистов самых различных направлений. Пока что большая часть методов, о которых рассказано в статье, находится в стадии разработки. Большой вопрос — стоимость реализации этих методов. Экономически приемлемых методов очистки космического пространства от мусора в настоящее время не существует. Основное внимание в ближайшем будущем будет уделено мерам контроля, исключающим образование мусора: предотвращению орбитальных взрывов, сопутствующим полету, усилению экологичности технологических элементов, уходу отработавших ресурс космических аппаратов на орбиты захоронения или в атмосферу. Но вполне возможно, что и уборкой в космосе заняться со временем придется.