

РЕЖИМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ И СТРАХОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Тинг Ванг

Ожидается, что опасения угрозы, которую космический мусор представляет для спутников, будут увеличиваться по мере возрастания количества микроспутников на низких околоземных орбитах, в основном не способных маневрировать. Тем не менее, международные руководящие принципы, разработанные для предупреждения образования космического мусора, часто не выполняются, и они могут оказаться неспособными противостоять ожидаемому драматическому росту количества спутников. Более того, существующие правовые рамки не позволяют определить, кто является ответственным за убытки от столкновения на орбите. Предлагается создать комитет совместного использования данных космического слежения для решения этой проблемы ответственности. По предлагаемым правилам ответственности операторы спутников будут нести ответственность за создаваемые ими обломки и страховые компании будут покрывать такой риск, создавая новый финансовый стимул операторам для принятия руководящих указаний по предупреждению образования космического мусора.

Тинг Ванг работает в программе "Наука и всеобщая безопасность" Принстонского университета, Принстон, Нью-Джерси, США.

Почтовый адрес для корреспонденций: Ting Wang, 221 Nassau Street, Princeton, NJ 08540, USA.

Адрес электронной почты: mr.wangting@gmail.com

Статья получена 10 июня 2014 года и принята к публикации 9 ноября 2015 года.

ВВЕДЕНИЕ

Космический мусор становится существенной угрозой для спутников. Уже произошло два столкновения между активными спутниками и отслеживаемыми мусорными обломками: французский спутник "Сериз" столкнулся с обломком ракеты "Ариан" в 1996 году, и американский спутник "Иридиум-33" столкнулся с недействующим российским спутником "Космос-2251" в феврале 2009 года.

Еще более важно то, что в космосе скоро будут доминировать микроспутники. Сейчас в космосе находится всего около 1000 активных спутников, но в ближайшие шесть лет прогнозируется запуск 2000 – 2750 микроспутников¹. Поскольку большинство микроспутников маневрировать не может, их присутствие может в будущем создать значительную проблему.

Международные усилия по решению этой проблемы привели к созданию Межагентского координационного комитета по космическому мусору (МККМ)². Комитет разрабатывал набор международных руководящих указаний по предупреждению образования космического мусора, впервые опубликованный в октябре 2002 года и выпустил его в окончательной форме в 2007 году³. На основании этих указаний Комитет Организации Объединённых Наций по использованию космического пространства в мирных целях (ЮНКОПУОС) в 2010 году опубликовал "Руководящие указания по долгосрочному устойчивому развитию"⁴. Хотя руководящие указания помогли сократить некоторые типы мусора, такие, как фрагменты от развала верхних ступеней ракет-носителей, механизма для принудительного осуществления руководящих указаний не существует, и некоторые указания часто не выполняются, например, уничтожение спутника на низкой околоземной орбите в конце его активного существования.

Руководящие указания ЮНКОПУОС также не обращаются к вопросу ответственности. Если фрагмент ударяет по спутнику, то владелец спутника вряд ли получит компенсацию от страны или компании, которая создала фрагмент. Решение проблемы ответственности может наметить путь решения проблемы мусора. Если операторы спутника будут нести ответственность за мусор, который они создали, то для них может появиться финансовый стимул для принятия руководящих указаний по предупреждению образова-

ния космического мусора. В этой статье предлагается создать комитет совместного использования данных космического слежения для решения проблемы ответственности.

ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩЕГО РЕЖИМА

Предупреждение образования космического мусора

Опасения начала 1990-х годов по поводу роста космического мусора, в основном из-за разрушения корпусов находящихся на орбите ступеней ракет-носителей, привели к разработке руководящих указаний МККМ. Эти руководящие указания, которые регулируют деятельность операторов космических аппаратов, задают четыре широких направления сокращения популяции космического мусора: "Ограничение мусора, выбрасываемого в ходе обычных операций"; "Минимизация потенциала разрушения на орбите"; "Утилизация после окончания срока службы" и "Предотвращение столкновений на орбите". Подробнее руководящие указания предполагают, что⁵:

Не должно планироваться или проводиться преднамеренного разрушения, которое приведет к образованию долгоживущих обломков на орбите.

Космические аппараты, закончившие активное существование, должны быть достаточно далеко уведены с геостационарной орбиты.

Космические системы, которые заканчивают свой срок активного существования (на низкой околоземной орбите) должны быть уведены с орбиты, или, там, где это целесообразно, переведены на орбиту с сокращенным сроком существования (руководящие указания рекомендуют в качестве подходящего верхнего предела 25 лет).

Если доступны надежные орбитальные данные, избегать маневрирования космического аппарата и рассматривать координату окон запуска, если риск столкновения не считается пренебрежимо малым.

Руководящие указания МККМ были частично успешными. Федеральное агентство по связи США потребовало, чтобы все геостационарные спутники США, выведенные на орбиту после 18 марта 2002 года, обязательно уводились с геостационарной орбиты⁶. Национальная администрация по океану и атмосфере США требует от частных компаний при подаче заявки на лицензию для спутников дистанционного зондирования предоставить план утилизации после окончания срока активного существования. НАСА и ВВС США также поддержали эти руководящие указания^{7,8}.

Однако, поскольку руководящие указания МККМ являются необязательными, против стран или организаций, не соблюдающих их, не принимается никаких санкций. В частности, плохо реализуется утилизация спутников на низкой околоземной орбите после окончания срока их активного существования.

Многие спутники, и не только дешевые микроспутники, не обладают способностью к маневрированию⁹. Согласно нашим расчетам, основанным на орбитальных данных, опубликованных Объединенным центром космических операций ВВС США (JSpOC), примерно 30% из активных спутников на низкой околоземной орбите между 2011 и 2013 годами не выполняли никаких маневров¹⁰.

Более того, операторы способных к маневрированию спутников могут сопротивляться выполнению схода с орбиты после окончания активного существования. В отличие от спутников на геостационарной орбите, для которых выработка топлива означает конец миссии, даже если их системы работают нормально, спутники на низкой околоземной орбите все еще могут функционировать после выработки топлива, в особенности, если им не нужно поддерживать свои орбиты. Кроме того, уход спутника с низкой околоземной орбиты обходится дорого, поскольку количество топлива, требующееся для такого маневра, может достигать 11% от полной массы спутника для орбиты с высотой 1500 км¹¹. Соответственно, выполнение требования руководящих указаний по размещению спутника на орбиту с временем жизни не более 25 лет также является довольно редким. К сожалению, низкая околоземная орбита является тем местом, где чаще всего могут происходить столкновения на орбите, поскольку 99,9% соединений происходят на таких орбитах¹².

Холгер Крэг и др. рассчитали срок жизни спутников на орбите, закончивших свою работу в 2010 – 2011 годах, и обнаружили, что только 17 из 47 спутников на низкой околоземной орбите соответствовали правилу 25 лет¹³. Мы проверили орбиты 1898 спутников, выведенных на орбиту после 1990 года, и обна-

ружили, что, по-видимому, только 12 спутников на низкой околоземной орбите выполняли маневры в конце срока службы для того, чтобы удовлетворить правилу 25 лет. Четыре из них принадлежали Франции, три принадлежали Соединенным Штатам. По одному спутнику принадлежало Японии, Великобритании, Нигерии, Алжиру, и Европейскому космическому агентству. Россия и Китай, которые соответственно запустили на низкую околоземную орбиту 649 и 151 спутник, не приводили никаких маневров для выполнения правила 25 лет. Поскольку руководящие указания МККМ были опубликованы в 2002 году, можно ожидать, что при разработке спутников после 2002 года более вероятно, что их рекомендации были приняты. Однако, только пять спутников, выведенных на орбиту после 2002 года, выполняли маневр в конце срока активного существования, а более сотни спутников, запущенных после 2002 года, после прекращения работы остались на орбитах со сроком жизни более 25 лет.

Другая проблема связана с выполнением операторами спутников рекомендаций по предотвращению столкновений. Если причиной, по которой МККМ поддерживает маневры для избегания столкновений, является предотвращение образования космического мусора, то стимулом для операторов спутников является предотвращение финансовых потерь. Из-за ошибок в наблюдениях вероятность столкновения для каждого предупреждения о сближении обычно не превышает 1%. Операторы могут считать это допустимым риском, в особенности тогда, когда срок активного существования их спутников подходит к концу. Однако, расчет риска может не полностью принимать во внимание последствия столкновения, в котором может образоваться большое количество фрагментов.

Вызовы со стороны микроспутников

Микроспутники, обычно определяемые как спутники с массой менее 100 кг, представляют новый вызов для предотвращения образования космического мусора. В последние годы количество микроспутников быстро росло. В 2013 году было запущено 92 спутника с массой от 1 до 50 кг, что более чем втрое превысило количество запусков в предыдущем году. Согласно данным SpaceWork, в 2014 году было запущено 158 таких спутников, что составило рост в 72% в исчислении от года к году¹⁴. SpaceWork прогнозирует, что в следующие шесть лет будет запущено 2000 – 2750 микроспутников. На рисунке 1 показано количество спутников, размещенных на низких околоземных орбитах. Даже если в действительности на орбиту будет выведена только половина спутников, прогнозируемых SpaceWork, то есть после 2014 года не будет роста, то на низкую околоземную орбиту все еще будет запускаться примерно 200 спутников в год, больше, чем в любое время в истории, и три четверти из них будут микроспутниками. Популяция космического мусора может расти намного быстрее, чем предполагалось ранее.

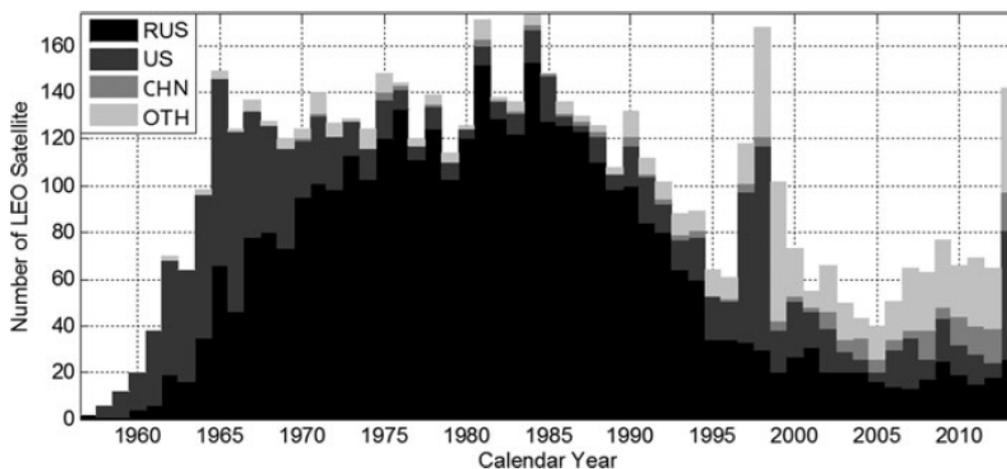


Рисунок 1. Количество спутников, размещенных на низкой околоземной орбите (по вертикальной оси) в период с 1957 по 2013 год. Календарный год отложен на горизонтальной оси. Легенда на рисунке: Россия; США; Китай; Прочие.

В настоящее время большинство микроспутников не являются первичной полезной нагрузкой ракеты-носителя и обычно выводятся на орбиту, близкую к орбите первичной полезной нагрузки. Хотя первичная

полезная нагрузка может иметь способность к маневрированию и может быть удалена с орбиты после окончания срока активного функционирования, большинство микроспутников, если не все, маневрировать не могут. Микроспутники в целом характеризуются более коротким временем жизни на орбите из-за внутренне присущего им большего отношения площади к массе. Однако, имеются микроспутники, время жизни которых превышает 25 лет. На рисунке 2 представлено распределение активных микроспутников (с массой менее 100 кг) по высоте перигея по материалам базы данных UCS (обновлена 1 сентября 2015 года). Согласно рисунку, у почти 23% процентов активных микроспутников высота перигея превышает 750 км. Вероятно, что время жизни таких спутников превысит 25 лет. Учитывая, что в будущем количество размещаемых спутников будет увеличиваться, даже 5%-ая доля несоблюдения руководящих указаний может привести к добавлению более, чем десяти спутников в год, что существенно увеличивает вероятность столкновения¹⁵.

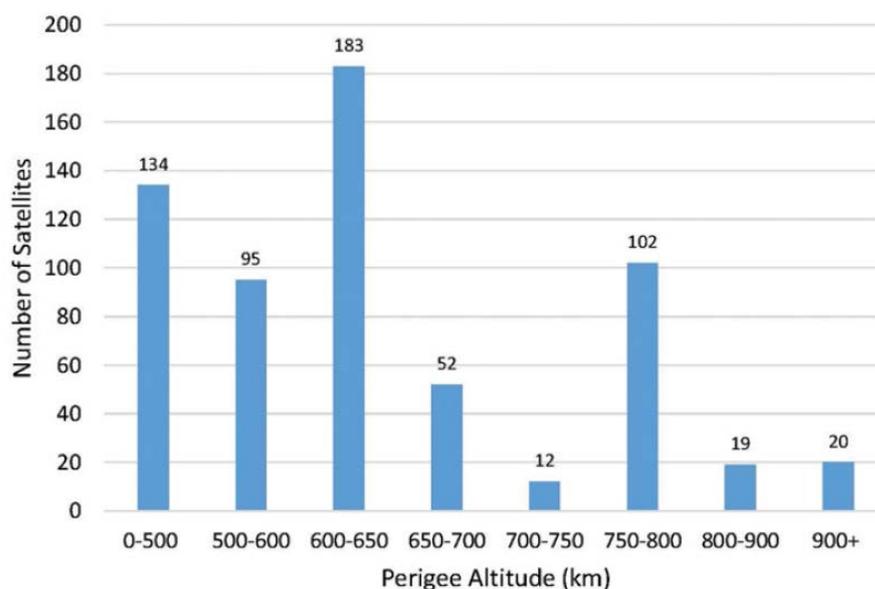


Рисунок 2. Распределение количества микроспутников (по вертикальной оси) по высоте перигея (по горизонтальной оси).

Руководящие указания МККМ разрабатывались в то время, когда микроспутники большей частью существовали только на бумаге. Микроспутниковый бум добавит в космос 2000 – 2500 нетронутых объектов, что потенциально сможет ликвидировать прогресс, который мог бы быть достигнут при полном соблюдении руководящих указаний МККМ¹⁶. Поэтому не ясно, будут ли руководящие указания оставаться пригодными в новой окружающей обстановке, в которой микроспутники будут доминировать на низкой околоземной орбите.

Ответственность за столкновения на орбите

Вопрос ответственности за столкновения на орбите привлек внимание после столкновения спутников "Иридиум" и "Космос-2251". Столкновение в космосе рассматривается в текущем правовом режиме. В Статье VII Договора о космосе утверждается, что:

Каждая страна-участница Договора, которая запускает, или приобретает запуск объекта в космическое пространство, включая Луну и другие небесные тела, и каждая страна-участница Договора, с чьей территории или установки был запущен объект, является международно ответственной за ущерб перед другой страной-участницей Договора, или ее физическими или юридическими лицами, нанесенный таким объектом или его составными частями на Земле, в воздушном пространстве, или космическом пространстве, включая Луну и другие небесные тела.

Одной из проблем текущего режима является то, что в нем отсутствует четкое определение "вины". В случае "Иридиум-Космос" можно было бы аргументировать, что Соединенные Штаты не предупредили операторов системы "Иридиум" о возможном столкновении, и поэтому в данном случае это является виной¹⁷. Однако, даже если бы Соединенные Штаты предоставили такое предупреждение, операторы получили бы оценку вероятности столкновения, которая была бы меньше 1/10000. Еще возможно, что спутник "Иридиум" не выполнил бы маневра ухода от столкновения из-за того, что вероятность столкновения была слишком малой, чтобы запустить этот процесс. В соответствии с орбитальными данными центра JSpOC, "Иридиум-33" проходил на аналогичном расстоянии от многих других спутников. В самом деле, если бы каждое прохождение на расстоянии менее 1 км вызывало маневр, в 2008 году спутник "Иридиум-33" выполнил бы 29 маневров.

Даже в тех случаях, в которых "вина" очевидна, реализация договоров все еще может быть затруднена. Рассмотрим такой пример: российский фрагмент, образовавшийся при испытании антиспутникового оружия (ASAT), сталкивается с активным спутником США, у которого нет возможности маневрировать. Даже в предположении наличия консенсуса в том, что виновен владелец фрагмента, остается проблема, как удостовериться в том, что фрагмент принадлежит России.

Для фрагментов, которые образовались более года назад, трудно с высокой вероятностью доказать, что конкретный фрагмент был образован в конкретном случае разрушения (таком, как испытание противоспутникового оружия). В то же самое время представляется, что сравнительно легко создать фиктивные данные, показывающие, что фрагмент произошел от других столкновений. Хотя Соединенные Штаты уже указывают источник каждого объекта в своем каталоге JSpOC, они не приводят достаточной информации о том, как был определен источник фрагмента. Из-за отсутствия транспарентности, эту базу данных будет трудно использовать в качестве доказательства при присвоении ответственности.

Другой практической проблемой является определение компенсации. Статья XII Конвенции об ответственности заявляет, что компенсация должна быть определена "для того, чтобы предоставить такое возмещение в отношении ущерба, какое восстановило бы лицо, физическое или юридическое, государство, или международную организацию, от имени которой представлен иск, до состояния, которое существовало бы, если бы ущерб не был нанесен".

Однако, не установлено или не разъяснено, как в текущей системе ответственности должны будут компенсироваться недополученные доходы. Когда устанавливалась правовая система, спутники в основном использовались правительствами. Однако, космос коммерциализируется. Уже сейчас большинство спутников на геостационарной орбите составляют коммерческие спутники. Хотя государства продолжают играть основную роль на низкой околоземной орбите, сегодня, согласно данным спутниковой базы данных UCSЭ 50% (327 из 653) спутников на низкой околоземной орбите являются коммерческими или гражданскими.

Более важно то, что "рыночная стоимость" спутника также может сильно отличаться от стоимости замены спутника. Например, на строительство системы "Иридиум" было затрачено около 7 миллиардов долларов. Однако, несколькими годами позднее система была продана за цену в 35 миллионов долларов¹⁸.

Подытоживая, можно отметить, что контролирование количества фрагментов космического мусора требует от стран, организаций и компаний соблюдения руководящих указаний МККМ. Однако, отсутствие финансовых санкций за несоблюдение этих руководящих указаний не поощряет операторов спутников реализовывать дорогие операции, такие, как маневры в конце срока активного существования на низкой околоземной орбите. Знание подробностей спутниковых операций позволяет компаниям легко найти "легитимные причины" несоблюдения руководящих указаний МККМ, и переубедить их будет очень трудно.

Неопределенные положения текущего режима космического мусора затрудняют определение ответственности за столкновение на орбите. Поскольку создание космического мусора не несет никаких наказаний, владельцы спутников могут стремиться избегать реализации дорогостоящих требований руководящих указаний по предупреждению его образования.

Изменение текущего режима

Решение проблемы ответственности за столкновение на орбите может предоставить ключ к убеждению наций, организаций и компаний в необходимости соблюдать руководящие указания МККМ. Возложение ответственности за ущерб, вызванный их спутниками, на операторов может предоставить один из

способов, чтобы сделать это.

Текущий режим уже предоставляет правовые основания для определения ответственности. Сущность Статьи VII Договора о космосе и Статьи III Конвенции об ответственности¹⁹ состоит в том, чтобы создать правило для ответственности на базе вины, а именно, если одна страна определяется как виновная, и если эта вина привела к ущербу для активов другой страны или организации, то виновная сторона несет ответственность за убытки.

Однако, для того, чтобы определить ответственность за столкновение на орбите, значение терминов "вина" и "ущерб" в договорах должно быть ясным. Мы предлагаем, чтобы страны и организации, имеющие не способные к маневрированию объекты, должны будут рассматриваться как "виновные", если их объекты столкнутся с другими функциональными объектами, или если их объекты заставят функциональные объекты использовать дополнительное топливо для выполнения маневра ухода от столкновения. Если оператор спутника не выполнит необходимых действий для того, чтобы избежать столкновения, то "вина" будет лежать на операторе спутника.

"Ущерб" включает в себя как физический ущерб, вызванный столкновением, так и финансовые убытки при выполнении маневра для ухода от столкновения.

На практике все еще нужно будет ответить на несколько вопросов:

1. Кто несет ответственность за космический объект?
2. Как определить функциональный космический объект?
3. Как рассчитать ущерб?
4. Как определить потенциальное столкновение?
5. Как определить обязательные требования для предотвращения столкновения?

В настоящее время не существует никакого международного режима, требующего регистрации космического мусора. Соединенные Штаты и Россия, используя свои собственные системы слежения за космическим пространством, идентифицировали источники для более 10 000 фрагментов. К сожалению, как указывалось ранее, эти национальные каталоги не могут быть использованы в качестве доказательства в судебном расследовании.

Текущая система неспособна также дать ответы на вопросы 4 и 5. После столкновения спутников "Иридиум-Космос" центр JSpOC начал предоставлять сводные сообщения о пересечении траекторий спутников многим операторам спутников²⁰. Однако, данные слежения за космическим пространством показывают только вероятность столкновения. Нет никаких правил для определения, когда должен будет выполняться маневр ухода от столкновения.

Поэтому необходима независимая организация для отождествления источника фрагментов. Эта работа должна быть сделана до того, как произойдет столкновение. В настоящее время не имеется никаких причин для того, чтобы страны и компании создавали фиктивные данные, которые могут замаскировать истинную причину возникновения фрагментов космического мусора. Такая организация может также установить стандарты для ухода от столкновения, быть способной обнаружить потенциальные столкновения на орбите, и предлагать спутниковым операторам, чтобы они выполняли орбитальные маневры.

Одним из способов удовлетворения такой потребности может стать организация комиссии для совместного использования данных слежения за космическим пространством для выполнения таких задач. Комиссия может включать группу экспертов из основных космических держав, включая Соединенные Штаты, Россию, Китай, Индию и Европейский Союз. Основываясь на данных слежения за космическим пространством, совместно используемых странами, операторами коммерческих спутников, и другими неправительственными организациями, эти эксперты могли бы установить научные стандарты для идентификации источников космического мусора, предсказания сближений и предлагать операторам спутников, что им следует выполнить орбитальные маневры.

Каждая страна, организация, или оператор спутника должны будут выплачивать комиссии за свои активные спутники ежегодный регистрационный взнос. Регистрационный взнос должен быть приблизительно равным страховому взносу, который покрывает риск того, что спутники могут столкнуться с другими космическими объектами. Взнос должен будет устанавливаться в зависимости от риска столкновения, доходов от спутника, способности спутника к маневрированию, и желания оператора раскрывать свои орбитальные данные для совместного использования.

Ежегодный регистрационный взнос был разработан для того, чтобы ответить на вопросы 2 и 3. Спут-

ник должен будет рассматриваться как функциональный космический объект до тех пор, пока выплачивается его ежегодный регистрационный взнос.

Комиссия должна будет собирать данные наблюдений из различных мест и предоставлять операторам спутников инструкции по уходу от столкновений. Если комиссия не сможет информировать их о сближениях, или предоставит им неправильные схемы маневра, то комиссия будет нести ответственность за убытки перед странами и организациями, а также за фрагменты мусора, созданные спутниками.

После того, как произойдет столкновение на орбите, комиссия должна будет определить ответственность за столкновение. Присоединившись к комиссии, страны должны будут передать право использовать их собственные данные для того, чтобы оспорить результат, представленный комиссией. Ответственность за столкновения на орбите может быть определена следующим образом.

В том случае, если маневрирующий спутник приближается к не маневрирующему космическому объекту, то владелец не маневрирующего спутника будет нести ответственность за расходы на маневр, и должен будет возместить расходы владельцу маневрирующего спутника. Если оператор маневрирующего спутника решит не выполнять маневр, который может быть подтвержден данными слежения за космическим пространством, и таким образом вызовет столкновение, то он будет нести ответственность за свои собственные потери и за фрагменты мусора, возникшие в столкновении с маневрирующим спутником. Владелец не маневрирующего космического объекта будет нести ответственность за свои собственные потери и за фрагменты мусора, возникшие из его собственного объекта.

Может быть выдвинут аргумент, что владелец маневрирующего объекта должен будет нести все расходы на проведение маневра. Однако, не маневрирующий спутник виновен только потому, что он не может маневрировать, что создает потенциальную угрозу для космической окружающей среды и не приветствуется предлагаемым режимом. Стоимость орбитального маневра может быть определена по топливу, используемому в маневре, и потерь доходов или времени жизни из-за маневра. Расходы могут находиться в пределах от сотен долларов до полумиллиона долларов в зависимости от объекта²¹.

В том случае, если обнаружено сближение между двумя маневрирующими спутниками, операторы спутников должны будут поделить расходы на маневры. Если один оператор обещает выполнить маневр, но не делает этого, то этот оператор будет нести ответственность за убытки и все фрагменты, созданные в результате столкновения. Если ни один из операторов не желает выполнить маневр, но столкновение происходит, каждая сторона будет нести ответственность за убытки со своей стороны, и за фрагменты мусора, созданные с ее собственной стороны²².

В том случае, если будет обнаружено сближение между двумя не маневрирующими космическими объектами, каждая сторона является ответственной за потерю своего собственного спутника и за созданные им фрагменты мусора.

Полезно отметить, что, в соответствии со статьей IX²³ Конвенции об ответственности вместе со статьей VII Договора о космосе, государства несут ответственность за ущерб, вызванный действиями их неправительственных организаций, которые включают частные компании. Поэтому пострадавшие от ущерба не могут требовать компенсации непосредственно от оператора спутника, но только со страны оператора.

Для того, чтобы оградить себя от риска, страны в идеальном случае могут принять внутренние законы, требующие от операторов спутников приобрести страховку ответственности для покрытия рисков правовых компенсаций из-за столкновения их космических объектов с другими спутниками. Страховка может быть предоставлена правительством или частными страховыми компаниями. Такая же логика используется в обязательном страховании автомобильной ответственности и других страховках ответственности. В космической промышленности страховка ответственности уже существует в форме страхования ответственности третьей стороны правительственной собственности для защиты провайдеров услуг запуска и их клиентов в случае нарушения прав и обязанностей, приносящего вред имуществу, или повреждения государственной собственности в случае неудачи запуска или миссии²⁴. Взнос страхования ответственности может быть определен расчетом по методу Монте-Карло, аналогичным уже использованному в прогнозировании будущей обстановки космического мусора²⁵.

Реализуемость режима

Режим будет работать только тогда, когда основные космические державы согласятся на совместное использование их данных слежения за космическим пространством, и страны, организации и компании

будут заинтересованы в участии в режиме. Ниже обсуждаются вопросы, поднимаемые из-за опасений национальной безопасности и анализа соотношения стоимость-эффективность для различных стран и компаний.

Возможно ли совместное использование данных слежения за космическим пространством? Совместное использование данных слежения за космическим пространством улучшит повышенную готовность к космическим ситуациям во всем мире и поможет уменьшить риск столкновения для всех спутников. Однако, системы слежения за космическим пространством обычно контролируются военными, они обычно не желают раскрывать данные. Хотя Объединенный центр космических операций ВВС США (JSpOC) в течение многих лет предоставляет данные низкой точности для орбит 15 000 космических объектов, он все еще не желает совместно использовать свои данные высокой точности. В настоящее время Россия и Китай вообще не предоставляют публичного доступа к своим каталогам.

Одно из главных опасений военных относится к потенциальному раскрытию информации о секретных спутниках и возможностях систем слежения за космическим пространством. Для того, чтобы понизить уровень опасений в отношении секретных спутников, комиссия может не требовать от стран регистрировать каждый их спутник. Незарегистрированные спутники будут трактоваться как дисфункциональные космические объекты. Поскольку Соединенные Штаты, Россия и Китай имеют независимые системы слежения за космическим пространством, источник "дисфункциональных космических объектов" определить будет несложно.

Для того, чтобы обратиться к опасению того, что участие в режиме может привести к раскрытию подробных сведений о национальной системе слежения за космическим пространством, комиссия может установить особый формат для данных с согласованным уровнем точности. Чтобы обеспечить такой уровень точности, страны могут добавлять шум к своим высокоточным данным. В будущем, по мере построения взаимного доверия, когда данные слежения за космическим пространством не будут рассматриваться как совершенно секретная информация, страны могут согласиться на то, чтобы совместно использовать более точные данные.

Для того, чтобы способствовать совместному использованию данных, комиссия может давать скидки на ежегодный регистрационный взнос для тех, кто предоставляет орбитальные данные для своих собственных спутников. Комиссия может также давать другую скидку операторам спутников из тех стран, которые предоставляют данные слежения за космическим пространством. Режим будет также предоставлять стимул для совместного использования данных странам, которые хотят доказать, что они не ответственны за фрагменты.

Поэтому совместное использование данных слежения за космическим пространством будет трудно, но не обязательно невозможно, начать. Уже сейчас, в дополнение к публично доступным данным каталога, центр JSpOC заключил юридические соглашения с 16 коммерческими предприятиями для того, чтобы избегать столкновений на орбите²⁶, и публичный портал центра JSpOC был недавно обновлен для того, чтобы предоставлять больше данных.

В действительности, даже если Соединенные Штаты будут единственной страной, желающей совместно использовать данные, предлагаемая система все еще будет работать. В современной системе из-за отсутствия прозрачности, приписывание США может быть опротестовано как предубежденное. В предлагаемой системе Соединенные Штаты смогут предоставить больше данных и информации о том, как они готовили приписывание, а источники фрагментов могут быть определены по правилам, установленным учеными из всех ведущих космических держав. Поэтому приписывание будет базироваться на международном консенсусе, а не на внутреннем определении США.

Анализ соотношения стоимости и эффективности для стран и организаций. Отношение возможных вовлеченных лиц (наций, так же как и организаций) к предлагаемому изменению может зависеть от количества активных спутников и дисфункциональных космических объектов.

Соединенные Штаты занимают второе место по количеству дисфункциональных спутников и фрагментов космического мусора за всю историю. В предлагаемом изменении от Соединенных Штатов потребуется принять на себя ответственность за все убытки, вызванные этими объектами. Однако, количество активных спутников у Соединенных Штатов такое же, как у всего остального мира, вместе взятого, и США потенциально понесут самые тяжелые последствия, если проблема космического мусора выйдет из под контроля. Полагают, что несколько спутников США были жертвами космического мусора. Поэтому Соединенные Штаты были основным адвокатом руководящих указаний МККМ, и они официально одобрили их, приняв соответствующие национальные законы.

Европейские страны, Япония и большинство развивающихся стран имеют лишь небольшое количество дисфункциональных объектов. Поскольку у них нет исторического бремени, очевидно, что в их интересах присоединиться к режиму.

У Китая и России есть много фрагментов, но относительно малое количество функциональных спутников. Эти страны могут стать основными препятствиями для режима. Однако, контролирование роста космического мусора находится и в их интересах. Переговоры с этими двумя странами неизбежны. Режим можно сделать более привлекательным для них, если установить "дату амнистии" так, чтобы страны не были ответственными за фрагменты мусора, созданные до такой даты. Освобождение от ответственности за такие обломки может быть практичным и потому, что технически трудно будет "доказать" их источник, и что создание космического мусора 30 лет назад не считалось неправильным.

Предлагаемый режим по существу является регулятивным и рыночным решением проблемы ожидаемого космического мусора. Он не создает никаких проблем безопасности или политических проблем для космических держав. По сравнению с другими методами, такими, как активное удаление массивных космических объектов, предлагаемый метод может стать одним из наиболее эффективных по стоимости способов решения проблемы мусора.

Если крупная космическая держава, такая, как Соединенные Штаты, захочет взять на себя инициативу, то другие космические державы могут присоединиться к ним. Хотя спутники есть у многих стран, есть только восемь стран и организаций, способных запускать спутники. Иран, Израиль и Северная Корея не включены в этот список, поскольку они не предоставляют коммерческих услуг для других стран. Если эти страны и организации присоединятся к новому режиму, то они смогут заставить присоединиться к нему весь мир, не предоставляя услуг по запуску странам, не желающим присоединиться к режиму. На самом деле, страны без возможностей запуска вряд ли будут иметь в космосе много дисфункциональных объектов, и их присоединение к комиссии скорее всего принесет им экономическую выгоду.

Анализ соотношения стоимости и выгоды для частных компаний. Частные операторы спутников в текущем режиме оплачивают имущественное страхование для защиты своих спутников. Они также платят за уход от столкновений. В предлагаемом режиме операторы спутников будут платить ежегодный регистрационный взнос и страховку ответственности за столкновение для своих спутников. Ежегодный регистрационный взнос рассчитывается так, чтобы он был близок к расходам на имущественное страхование от риска столкновения с фрагментами космического мусора. Оплачивая ежегодный регистрационный взнос, операторы могут сократить свои расходы на имущественное страхование. Так произойдет потому, что если спутник будет разрушен фрагментом, то расходы будут покрываться ответственной страной или организацией, а не страховой компанией. Кроме того, расходы на маневры для ухода от столкновения могут быть возмещены.

Страхование ответственности за столкновение является реальным дополнительным финансовым бременем. Однако, для компаний, уже подчиняющихся руководящим указаниям МККМ, страхование ответственности будет очень низким. Их неработающие спутники либо быстро затормозятся, либо будут оставаться на орбите без шансов столкнуться с активными спутниками. Даже если их спутники столкнутся с другими объектами, фрагменты мусора, образованные в таком столкновении, также будут иметь очень короткое время жизни. Более важно то, что эти компании не окажутся в невыгодном положении, конкурируя с компаниями, игнорирующими руководящие указания МККМ.

Образование и поддержка комиссии по совместному использованию данных. Для стран будет очень трудно согласиться на создание новой организации, которая будет заниматься столкновениями на орбите, происходящими крайне редко.

Однако, хотя столкновения в космосе редки, маневры для ухода от столкновения – это рутинная обязанность для операторов спутников. Например, в 2010 году было выполнено 126 таких маневров²⁷. Как только американская система слежения за космическим пространством будет модернизирована и добавится еще 200 000 объектов, то маневры будут производиться еще чаще²⁸. Предлагаемая организация будет предоставлять операторам спутников информацию, руководство и стандарты. Более важно то, что она создаст механизм для компенсации этих маневров. Агентство будет не только определять ответственность за столкновения на орбите, но и будет играть свою роль в управлении космическим трафиком. Расходы на поддержку комиссии составляют отдельный вопрос.

Ежегодный регистрационный взнос будет составлять несколько тысяч долларов для типичного спутника на низкой околоземной орбите стоимостью в 100 миллионов долларов. Поскольку на низкой околоземной орбите находится примерно 600 действующих спутников, нетрудно будет собрать по миллиону

долларов каждый год, если все спутники будут зарегистрированы²⁹.

Операционные расходы на комиссию будут очень невелики. Технологии определения источника фрагментов мусора, обнаружения возможных сближений и планирования орбитальных маневров уже хорошо разработаны. Самой тяжелой работой будет установление стандартизованных процедур для рассмотрения всех этих вопросов. Однако, после того, как будут установлены стандартные процедуры, большая часть работы может быть проведена с минимальными расходами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема космического мусора часто описывается как пример трагедии ресурсов общего пользования: каждый работает в своих краткосрочных интересах, не обращая внимания на общую окружающую среду, или на свои долговременные интересы³⁰. Текущий режим, основанный на рекомендательных руководящих указаниях, показывает, что моральные стимулы, по-видимому, не решают проблему, в особенности на низких околоземных орбитах. Растущее количество микроспутников, вероятно, сделает жизнь еще сложнее. Хотя компании могут приобрести страховку для того, чтобы оградить себя от риска попадания под удар космического мусора, вряд ли это повлияет на рост количества фрагментов космического мусора.

Тем не менее, у проблемы космического мусора есть уникальные свойства: можно точно узнать, кто вызвал столкновение и кто создал образовавшийся фрагмент. Более того, потери собственности, происшедшие в космосе, могут быть легко оценены. Эти особенности позволяют определить ответственность за столкновения и за убытки в столкновениях.

В предлагаемом механизме ответственность за столкновения на орбите может быть определена путем совместного использования данных слежения за космическим пространством. После того, как будет определена ответственность, операторы, потерявшие свои спутники, могут получить компенсацию. Поэтому предлагаемый режим предоставит мощный финансовый стимул для стран и компаний для соблюдения руководящих указаний по предупреждению образования космического мусора.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор желает поблагодарить Кристофера Чива, Джудит Рей, Джорджа Льюиса, Нэнси У. Галлахер и Джоан Джонсон-Фриз за обсуждения и комментарии к данной статье.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Автор благодарит Фонд Джона Д. и Кэтрин МакАртур за финансовую поддержку этой работы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Дополнительные материалы к этой статье можно получить с веб-сайта издателя и веб-сайта журнала.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Elizabeth Buchen, "2014 Nano / Microsatellite Market Assessment," Spaceworks, http://www.sei.aero/eng/papers/uploads/archive/SpaceWorks_Nano_Microsatellite_Market_Assessment_January_2014.pdf.
2. Члены комитета МККМ13 включают большинство космических держав, таких, как Соединенные Штаты, Россия, Китай, Япония, Европейский Союз, и Индия.
3. Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, "IADC Space Debris Mitigation Guidelines," 2002; Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, "Inter-Agency Space Debris Coordination Committee Space Debris Mitigation Guidelines Update." <http://www.unoosa.org/pdf/pres/stsc2008/tech-35E.pdf>.
4. United Nations Office for Outer Space Affairs, "Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space" United Nations, Vienna, 2010.
5. Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, "IADC Space Debris Mitigation Guidelines," 2002

(ссылка 3).

6. Mitigation of Orbital Debris, Federal Register, <http://www.federalregister.gov/articles/2004/09/09/04-20362/mitigation-of-orbital-debris#p-78>.
7. National Oceanic and Atmospheric Administration, Commercial Remote Sensing Regulatory Affairs, "About the Licensing of Private Remote Sensing Space Systems," <http://www.nesdis.noaa.gov/CRSRA/licenseHome.html>.
8. Michael V. Nayak. "Implementation of National Space Policy on US Air Force End of Life Operations and Orbital Debris Mitigation," SpaceOps 2012 Conference (11-15 June 2012, Stockholm, Sweden).
9. На спутнике можно будет разместить панели из фольги для увеличения атмосферного торможения, как, чтобы спутник сошел с орбиты намного быстрее. Однако, это может увеличить стоимость объекта, и, что более важно, дополнительные панели из фольги могут увеличить краткосрочный риск столкновения с другим космическим аппаратом. С учетом того, что относительная скорость в космосе равна 10 км/с, даже панель из фольги может вывести спутник из строя.
10. Объединенный центр космических операций ВВС США (JSpOC) публикует орбитальные данные на сайте space-track.org.
11. Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, "Space Debris Handbook," NASDA-CRT-98006, 1998.
12. Мы рассчитали сближения по американскому каталогу "Space track" в период с 1 января 1998 года до 1 августа 2008 года. Критическое расстояние составляло 5 км. Было найдено 8 430 372 сближения, более 99,9% из них (8,423,342) находились на низкой околоземной орбите.
13. Krag, Holger, Tim Flohrer, and Stijn Lemmens, "Consideration of Space Debris Mitigation Requirements in the Operation of LEO Missions," SpaceOps 2012 Conference (11-15 June 2012, Stockholm, Sweden).
14. SpaceWorks Enterprises, Inc., 2015 Small Satellite Market Observations, http://www.spaceworksforecast.com/docs/SpaceWorks_Small_Satellite_Market_Observations_2015.pdf.
15. Предположим, что каждый год запускается 400 микроспутников, срок жизни 2,5% из которых превышает 50 лет, у 2,5% срок жизни находится в интервале от 25 до 50 лет, у 30% срок жизни находится в интервале от 10 до 25 лет, у 25% срок жизни находится в интервале от 3 до 10 лет, и у 40% срок жизни находится в интервале от 1 до 3 лет. Через 50 лет на орбите будет находиться примерно 3000 микроспутников $[(2,5\% * 400 * 50) + (2,5\% * 400 * 25) + (30\% * 400 * 10) + (25\% * 400 * 3) + (40\% * 400 * 1) = 2410]$. Это количество может показаться небольшим по сравнению с 17 000 каталогизированных объектов, уже находящихся на низкой околоземной орбите. Однако, из этих 17 000 объектов целыми являются только 3500, а все остальные будут фрагментами. Масса фрагмента обычно не превышает 1 кг. Даже если фрагмент столкнется с целым объектом, это не обязательно приведет к полному разрушению спутника. Столкновения между микроспутниками и целыми спутниками, однако, будут катастрофическими, в которых целый объект будет полностью разрушен. С добавлением 2500 микроспутников вероятность катастрофических столкновений (столкновений, в которых спутники полностью разрушаются) с разрушением целых спутников, существующих на низкой околоземной орбите, возрастет примерно на 70%.
16. В соответствии с расчетами по модели НАСА LEGEND, количество объектов (размером более 10 см) на низкой околоземной орбите увеличится примерно на 2000 в течение следующих 50 лет и на 11000 в течение следующих 100 лет, если спутники будут запускаться сегодняшними темпами, и если руководящие указания для предупреждения образования космического мусора не будут выполняться. Если 90% спутников и ракет будут соблюдать правило 25 лет и запускаться сегодняшними темпами, то количество объектов (размером более 10 см) на низкой околоземной орбите в течение следующих 50 лет не изменится, и увеличится на 3000 в течение следующих 100 лет (Liou, J.-C. "An Active Debris Removal Parametric Study for LEO Environment Remediation." *Advances in Space Research*, 47 (2011): 1865-76.) Следовательно, применение руководящих указаний МККМ сократит количество объектов на 2000 в течение следующих 50 лет и на 8000 в течение следующих 100 лет. Предположим, что каждый год будет запускаться 400 микроспутников и срок жизни половины из них будет больше 10 лет. Количество микроспутников на низкой околоземной орбите в течение десятилетия вырастет до 2000, а в течение 50 лет – до более чем 2500 (смотрите предыдущую сноску). Рассмотрим возможные столкновения между целыми объектами и этими микроспутниками. Будет создано больше фрагментов. Микроспутниковый бум фактически обесценит прогресс, достигнутый при возможном соблюдении руководящих указаний МККМ.
17. Ram S. Jakhu, "Iridium-Cosmos collision and its implications for space operations," *Yearbook on Space Pol-*

- icy (2010): 254-275.
18. David Vernon, "A Heavenly Sign—The Iridium satellite story," *The Canberra Times*, 2007. http://www.davidvernon.net/David_Vernon/The_Canberra_Journal/Entries/2007/2/20_A_Heavenly_Sign_-_The_Iridium_satellite_story.html.
 19. В случае ущерба, нанесенного в любом месте, кроме земной поверхности, космическому объекту одной запускающей стороны, или лицам или имуществу на борту такого космического объекта, космическим объектом другой запускающей стороны, то последняя будет нести ответственность только если ущерб был нанесен по ее вине, или по вине лиц, перед которыми она несет ответственность.
 20. D. Bird, "Sharing Space Situational Awareness Data," Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, in Wailea (1-4 September 2010, Maui, Hawaii).
 21. Стоимость строительства Международной космической станции (МКС) составляет 200 миллиардов долларов и проектный срок службы МКС равен 30 годам. Если предположить, что маневр ухода от столкновения прекратит операции на МКС на один час, то потери от продолжительности жизни МКС составят 760 000 долларов.
 22. Спутники движутся по различным орбитам. Фрагменты, образующиеся при разрушении, движутся по орбитам, близким к орбитам их родительских спутников. Отследить источник фрагментов технически несложно.
 23. Иск по компенсации за ущерб должен быть представлен запустившему государству по дипломатическим каналам. Если государство не поддерживает дипломатических отношений с запустившим государством, оно может запросить другое государство представить его иск запустившему государству, или иным способом представлять его интересы по данной Конвенции. Оно может также представить свой иск через Генерального секретаря Организации Объединенных Наций, при условии, что и заявляющее государство, и запускающее государство являются членами Организации Объединенных Наций.
 24. U.S. Department of Transportation, and Federal Aviation Administration, "Liability Risk- Sharing Regime for U.S. Commercial Space Transportation: Study and Analysis," April 2002.
 25. Самый прямой путь оценки страхового взноса является метод Монте-Карло. Первый шаг состоит в создании базы данных, содержащей информацию, включая размеры, орбиту и стоимость для всех искусственных объектов. Затем орбиты каждого объекта прогнозируются вперед по времени. Рассчитываются столкновения между спутником и другими объектами и оценивается потенциальный ущерб. Если спутник сталкивается с другими объектами, фрагменты, создаваемые при столкновении, могут быть оценены по стандартной модели разрушения спутника. Рассчитываются орбиты этих фрагментов и оценивается потенциальный ущерб. Процесс может быть повторен десятки раз для получения среднего результата.
 26. Jeff Foust, "A New Eye in the Sky to Keep an Eye on the Sky," *The Space Review*, 10 (2010).
 27. Micah Zenko, "The danger of space debris," Fareed Zakaria GPS, Global Public Square Blogs, <http://globalpublicsquare.blogs.cnn.com/?s=The+danger+of+space+debris>.
 28. Christian Davenport, "Lockheed Martin wins 'space fence' contract," *The Washington Post*, 2 June 2014, http://www.washingtonpost.com/business/economy/lockheed-martin-wins-space-fence-contract/2014/06/02/f302413e-ea97-11e3-93d2-edd4be1f5d9e_story.html.
 29. Ежегодный регистрационный взнос должен быть меньше, чем потенциальный финансовый ущерб, нанесенный орбитальным мусором. Вероятность того, что спутник на орбите получит удар, оценивается следующим образом. За последние 50 лет два активных спутника столкнулись с каталогизированными объектами. Следовательно, частота столкновений составляет примерно один раз в 25 лет. На низкой околоземной орбите находится примерно 400 крупных спутников. Предположим, что частота столкновений для всех спутников одинакова. Тогда частота столкновений для спутника будет равна одному разу в десять тысяч лет (1/25/400). Поэтому ежегодный регистрационный взнос для спутника стоимостью в десять миллионов долларов не может быть больше, чем 10 000 долларов (*может быть, 1000? – прим. перев.*).
 30. Garrett Hardin, "The Tragedy of the Commons," *Science*, 162 (1968): 1243-1248.