

РЫНОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Григорьев С.М.

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Аннотация

Космическая инфраструктура тесно взаимосвязана с системами на Земле и имеет решающее значение для многих видов деятельности человека. Стремительно прогрессирующая цифровизация нашего общества с массовым ростом интернет-трафика и подключенных устройств, а также новые применения искусственного интеллекта еще больше ускорят развитие новой космической инфраструктуры и сделают ее еще более жизненно важной. Однако эта инфраструктура находится под угрозой из-за растущей перегруженности. Космический мусор, являющийся побочным продуктом космической деятельности, создает опасность столкновения с действующими космическими аппаратами. Если не принять активные меры по снижению этого риска, будущие расходы, связанные с космическим мусором, могут стать огромными. Правильное управление околоземным орбитальным пространством приобретает решающее значение для получения новых выгод от использования космоса и защиты важнейших объектов инфраструктуры. Основываясь на обзоре современной литературы, мы утверждаем, что рыночные инструменты могут стимулировать меры по снижению и устранению последствий космического мусора и помочь обойти препятствия на пути к официальному международному распределению ответственности за нынешнюю популяцию мусора.

Ключевые слова

Космическое пространство, техногенные риски, космический мусор, спутниковые группировки, рыночные механизмы, устойчивость космической инфраструктуры.

Введение

Быстро развивающаяся космическая инфраструктура – это актив, который обеспечивает не только устойчивое развитие экономики на Земле, но также является причиной для беспокойства в отношении устойчивости в космосе. Околоземное пространство – ценнейший природный ресурс для человечества, который используется для навигации, связи, наблюдения Земли, развития технологий и других целей. Практически все общества стали зависеть от космических услуг в самых разных областях, таких как транспортные и финансовые системы, реагирование на чрезвычайные ситуации, мониторинг климата и окружающей среды, прогнозирование погоды и управление ресурсами. Спутники фактически являются ключом к повышению устойчивости многих видов человеческой деятельности и источниками прогресса.

Цифровизация экономики и растущие потребности в (меж)коммуникациях в настоящее время стимулируют создание крупных спутниковых группировок для широкополосного Интернета [1] и Интернета вещей [2]. В то же время быстрый прогресс в области искусственного интеллекта позволяет разрабатывать и эксплуатировать все более сложные системы спутниковой связи [3]. Спутниковые интернет-системы часто рассматриваются как способ обеспечения доступа в Интернет по всему миру и преодоления цифрового неравенства. Однако критики также

выражают опасения, что такие услуги будут недоступны для тех, кто больше всего в них нуждается [4], и подчеркивают различные проблемы устойчивости, связанные с запуском этих гигантских систем из тысяч спутников [5], ставя под сомнение соотношение риска и выгоды.

За последние 15 лет стоимость запуска спутников снизилась, а их компоненты стали более миниатюрными, что привело к развитию частной космической индустрии, известной как «новый космос». Переход от космических программ, финансируемых в основном государством, к комбинации последних и динамичной новой частной космической экономики быстро увеличивает экономическую ценность околоземных орбит. Если в 2018 году доходы мировой космической отрасли оценивались в 360 миллиардов долларов США, то в последних отчетах Goldman Sachs, Morgan Stanley и Bank of America Merrill Lynch к 2040-м годам прогнозируется космическая экономика в размере 1-2,7 триллиона долларов США [6].

В силу своей открытости и невосполнимости околоземное орбитальное пространство стало подвержено типичной трагедии общего пользования, которая наблюдается в отношении природных ресурсов на Земле. Ключевой проблемой в этом контексте является быстро растущее количество космического мусора – нефункционирующих искусственных объектов (рис. 1). Эти неконтролируемые объекты создают риск столкновения с действующими космическими аппаратами и увеличивают стоимость эксплуатации.

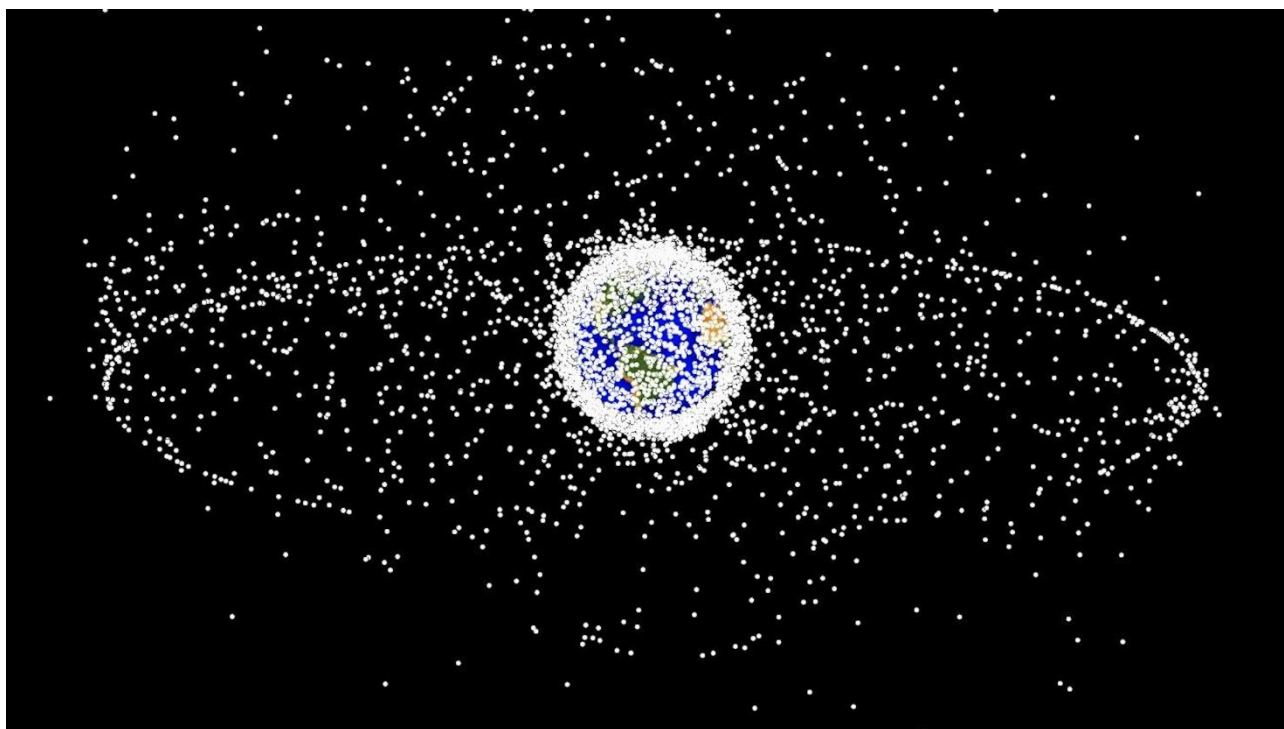


Рисунок 1 – Примерное распределение крупных фрагментов космического мусора на околоземной орбите, хорошо виден геостационарный «пояс» и полярные орбиты

Источник: ESA

Озабоченность по поводу накопления аппаратуры растет, а меры по ограничению роста космического мусора остаются пока очень слабыми. Растущая милитаризация космоса и потенциально катастрофические последствия распространения конфликта на околоземные орбиты также вызывают растущую озабоченность [7]. Испытания противоспутникового оружия фактически уже способствовали росту популяции космического мусора (рисунок 2) [8].

Что касается противоспутниковых систем ASAT, второго основного источника образования космического мусора, то по отчёту Secure World Foundation (SWF) между 1959 и 2020 гг. было проведено 74 испытания противоспутниковых систем: 32 у России, 30 у США, 10 у Китая и 2 у Индии. В результате их образовалось более 5000 только крупных фрагментов космического мусора, 3200 из которых до сих пор остаются на орбите.

Советский Союз был первым, кто разработал и поставил на вооружение спутники-камикадзе (ещё в 1968 г. «Космос-252» сблизился с мишенью «Космос-258» и взорвался, поразив её осколками). Но в конце 1980-х наша страна взяла на себя одностороннее обязательство воздерживаться от проведения таких испытаний, а потом и сняла их с вооружения.

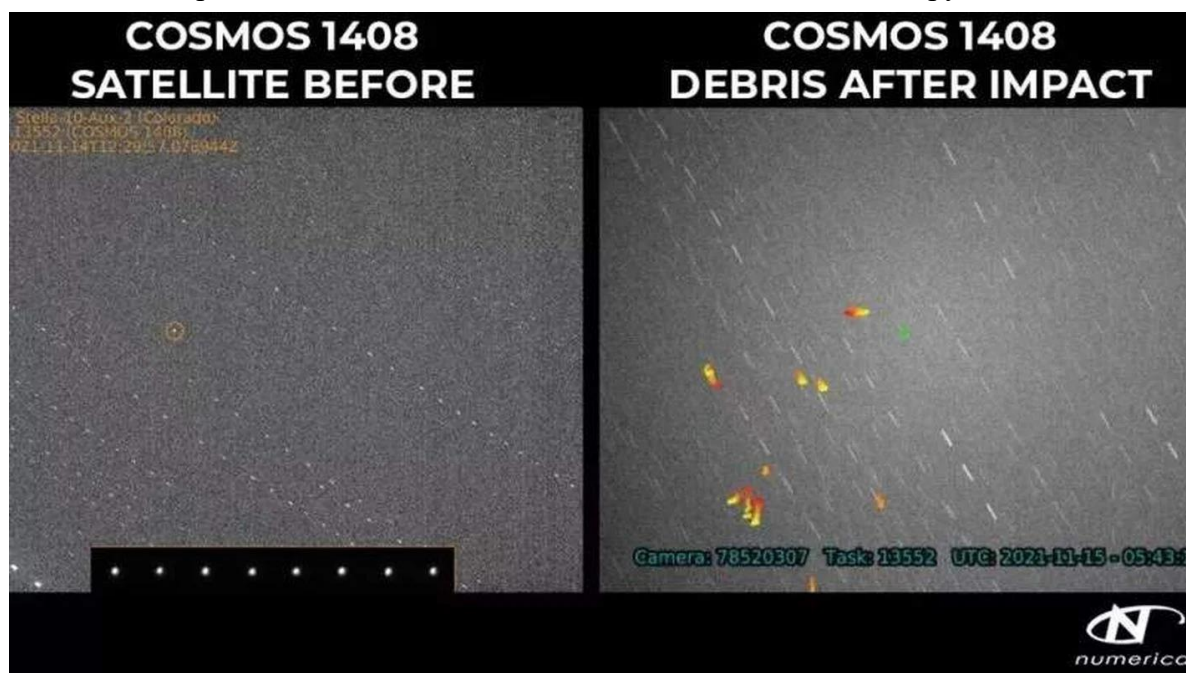


Рисунок 2 – Спутник «Космос-1408» до и после взрыва

Источник: Numerica Corporation

Космическая деятельность предполагает классический компромисс между ожидаемыми выгодами и предполагаемыми рисками, поскольку развитие этой инфраструктуры вызывает проблемы с устойчивостью. Эти два аспекта устойчивого использования космоса показаны на рисунке 3.



Рисунок 3 – Устойчивое пространство как устойчивость космической инфраструктуры

Стремительная экспансия человечества в космос требует соответствующего руководства и эффективных механизмов управления, чтобы избежать деградации окружающей среды и обеспечить устойчивую выгоду. Все чаще звучат призывы рассматривать орбитальное пространство вокруг Земли как экосистему, заслуживающую защиты, и рассматривать широкие проблемы экологической устойчивости, связанные с космической деятельностью [9]. Прогнозы будущих масштабов космической экономики основаны на акценте на потенциальные выгоды, но подвержены значительной неопределенности из-за предполагаемых рисков. Перегруженность околоземной орбиты является ключевой проблемой в этом отношении, поскольку она может стать серьезным препятствием на пути реализации дополнительных выгод от использования космоса.

На основе обзора современной литературы в данной работе рассматриваются движущие силы надвигающейся трагедии в космосе, описывается природа и уровень риска столкновений, а также рассматриваются существующие подходы к управлению этой проблемой как на международном, так и на национальном уровне. В статье обсуждаются предлагаемые в литературе меры рыночной политики и утверждается, что они могут обеспечить более значительные стимулы для снижения риска и помочь обойти ограничения, существующие в настоящее время в этой области.

Надвигающаяся трагедия общего пользования

Космический мусор бывает самых разных форм и размеров. Это и потерянные или покинутые космические аппараты, и корпуса ракет, и объекты, выброшенные в ходе обычных операций, и фрагменты, образовавшиеся в результате столкновений и взрывов. По состоянию на 1 января 2023 года на орбите вокруг Земли находится около 6718 действующих спутников [10], однако отслеживается и каталогизируется более 32 000 объектов размером более 10 см на низкой околоземной орбите (НОО) и более 80 см на геостационарной околоземной орбите (ГСО) [11]. Ключевой вклад в быстро растущее число объектов мусора вносят события, связанные с фрагментацией искусственных объектов. Доминирующими причинами разрушений являются преднамеренные разрушения, взрывы, связанные с двигательной установкой, взрывы батарей и случайные столкновения [12].

Для удаления нефункционирующих объектов с орбит существует только два механизма: атмосферное сопротивление и прямое извлечение. Остаточная атмосфера тянет объекты вниз. Но этот процесс может занять от нескольких дней до миллионов лет, в зависимости от начальной высоты объекта и его способности преодолеть сопротивление. Прямое извлечение обломков без экипажа пока не проводилось, но первая миссия по извлечению обломков с орбиты была недавно профинансирована Европейским космическим агентством (ЕКА) [13].

Основная проблема устойчивости космической деятельности, связанная с космическим мусором, заключается в том, что он создает угрозу столкновения с действующими космическими аппаратами. При наличии возможностей маневрирования оперативные космические аппараты могут избегать объектов, занесенных в каталог. Однако прогнозируемое положение объектов может иметь большие погрешности. Это может привести к тому, что вероятность столкновения будет выявлена слишком поздно, чтобы успеть совершить маневр. Лишь небольшая часть отслеживаемых космических объектов является маневренной, что означает, что большинства столкновений не избежать. От объектов, слишком малых для отслеживания, невозможно уклониться, но они все равно могут привести к катастрофическому столкновению, в результате которого космический аппарат будет полностью разбит на фрагменты, либо выведен из строя в зависимости от интенсивности столкновения.

Наибольшую опасность представляет каскадный эффект – синдром Кесслера, – который может возникнуть, когда количество объектов на орбите превысит критическую точку. Столкновения между объектами-резидентами могут привести к образованию большего количества фрагментов, чем может очистить атмосфера, что постепенно сделает некоторые орбиты экономически непригодными [14]. Модели, экстраполирующие текущее поведение на будущее,

показывают экспоненциальный рост числа столкновений, что говорит о том, что мы уже прошли переломный момент. Рост расходов, связанных с космическим мусором, затронет не только космические державы, но и не космические страны, поскольку жизненно важные услуги, предоставляемые с этих орбит, станут дороже или вообще станут недоступными.

Слабые международные правила

Основная причина растущей перегруженности околоземного орбитального пространства – проблема коллективных действий. Космические субъекты генерируют мусор, поскольку не учитывают издержки, которые они накладывают на других. Космический субъект имеет лишь слабые стимулы для ограничения создания новых объектов мусора, поскольку он несет все издержки, связанные с такими усилиями, но выгоды распределяются между всеми космическими субъектами. Финансирование мероприятий по очистке космоса от мусора сталкивается с аналогичной проблемой коллективных действий. Управление околоземным орбитальным пространством затруднено из-за его открытого доступа и конкурентной природы. То есть очень трудно, а зачастую и невозможно помешать космическому субъекту получить доступ к орбите, но как только субъект использует орбиту, другие не могут ее использовать [15].

Традиционно деятельность в космосе осуществлялась правительствами в гражданских и военных целях, но все чаще ее осуществляют частные компании, что усложняет процесс управления. Бурно развивающаяся космическая экономика, планирующая запуск десятков тысяч спутников в следующем десятилетии, неизбежно усугубит проблему космического мусора. Несмотря на то, что проблема носит глобальный характер, ее решением пока занимаются в основном национальные правительства, а Организация Объединенных Наций (ООН) разрабатывает в основном инструменты «мягкого права».

Единственными обязательными правовыми документами в области глобального управления космосом являются пять договоров ООН, принятых в 1960-х и 1970-х годах. Хотя ни один из этих договоров не содержит правил, касающихся космического мусора, они по-прежнему актуальны для проблемы космического мусора. Договор о космосе возлагает на государства ответственность за их национальную деятельность, даже если она осуществляется неправительственными организациями, и требует от государств соответствующих разрешений и постоянного надзора за этой деятельностью [16]. Конвенция об ответственности создает режим ответственности за ущерб, причиненный в космосе, на основе вины, но не дает определения вины [17]. Учитывая расплывчатые положения и слабые механизмы обеспечения соблюдения этих соглашений, остается неясным, могут ли они помочь в решении проблемы космического мусора и в какой степени.

Односторонние действия и многосторонние рекомендации

В связи с этим пробелом в глобальном управлении космосом появились некоторые односторонние усилия по управлению. Сначала национальные космические агентства разработали руководящие принципы по предупреждению образования орбитального мусора, на основе которых были разработаны международные необязательные руководящие принципы [18]. Последние затем были включены в национальные лицензионные требования. Первое и наиболее актуальное международное руководство было разработано в 2002 году Международным координационным комитетом по космическому мусору (IADC) и в последний раз обновлено в 2021 году [19]. Оно легло в основу Руководства по предупреждению образования космического мусора, принятого Комитетом ООН по использованию космического пространства в мирных целях (UNCOPUOS) в 2007 году [48]. В 2019 году UNCOPUOS утвердил набор из 21 Руководящих принципа по долгосрочной устойчивости космической деятельности, которые представляют собой рекомендации высокого уровня, касающиеся не только космического мусора [20].

Стандарт высшего уровня по предупреждению образования космического мусора, разработанный Международной организацией по стандартизации – ISO 24113, – является важнейшим инструментом, поскольку его можно постоянно пересматривать по мере развития мировой космической отрасли и легко применять в коммерческих космических целях [21]. Руководства IADC и UNCOUOS, а также стандарт ISO часто используются в качестве требований в процедурах лицензирования, которые определены в национальном космическом регулировании или законодательстве. Эти руководства дополняются более амбициозными требованиями, разработанными отраслью, такими как «Лучшие практики по обеспечению устойчивости космической деятельности» Коалиции по космической безопасности [22]. Чтобы привлечь больше внимания к участникам космической деятельности, которые разрабатывают устойчивые космические миссии, недавно был создан рейтинг устойчивости космической деятельности [23]. Этот инструмент оценки будет оценивать миссии по комплексному показателю и может стать стимулом для операторов к внедрению более устойчивых проектов и практик.

Вероятно, самым важным руководящим принципом, ограничивающим рост космического мусора, является требование ограничить орбитальный срок службы космических аппаратов и корпусов ракет на НОО после завершения эксплуатации 25 годами. Однако, спустя 20 лет после его принятия, в руководящих принципах IADC анализ утилизации после запуска показывает очень низкий уровень соответствия этому принципу. Хотя с годами уровень соблюдения этого требования повысился, только около 50 % космических аппаратов, не отвечающих требованиям естественной среды, успешно выполняют маневр схода с орбиты [24]. Недавние исследования показали, что для ограничения роста популяции космического мусора потребуется гораздо более высокий уровень соблюдения этого правила, особенно в случае крупных спутниковых группировок [25, 26].

Еще одна проблема заключается в том, что созданные на сегодняшний день необязательные международные рекомендации и требования на национальном уровне касаются только создания новых фрагментов мусора, но не затрагивают проблему наследия бесхозных объектов. Это существенный пробел, учитывая, что текущее моделирование показывает, что даже при полном соблюдении действующих руководящих принципов для поддержания устойчивости орбит в долгосрочной перспективе потребуется удаление крупных бесхозных объектов [27]. Кроме того, национальные требования часто касаются космического мусора только путем предписания использования определенных процедур или предварительной оценки потенциального образования космического мусора в ходе миссии. После выхода на орбиту политика, проводимая на национальном уровне, не стимулирует операторов к снижению образования мусора для достижения социального оптимума.

Технические подходы к решению проблемы риска столкновений

Деятельность по управлению риском столкновений, согласно существующей литературе, можно сгруппировать в три компонента: космическая ситуационная осведомленность (КСО), координация (ККД) или управление космическим движением (УКД) и управление космической средой (УКС) [63,64]. Чтобы прояснить роль этих компонентов, мы разделили ККД и УКД, а также добавляем компонент оценки космической среды (ОКС). Их взаимосвязь показана на рис. 4.

КСО является основой для всех действий, связанных с мусором, поскольку она предоставляет необходимые данные о космической среде для ОКС, ККД и УКД. Она включает в себя обнаружение, каталогизацию и прогнозирование орбит объектов, что имеет фундаментальное значение для предотвращения столкновений и безопасных космических операций. ККД – это планирование, координация и синхронизация космической деятельности, которая требует международного сотрудничества. Это касается лишь небольшой части объектов в космосе, поскольку только часть из них является маневренными. ККД дополняется УКД, которая касается лицензирования и надзора за космическими аппаратами, осуществляемого на нацио-

нальном уровне. Чтобы избежать столкновений между неуправляемыми космическими объектами, необходимы мероприятия ОКС и УКС. ОКС включает в себя оценку уровня риска и экономической эффективности мер по смягчению и устранению последствий, которые затем осуществляются УКД и УКС соответственно. Рассеивание космического мусора заключается в уменьшении источников космического мусора (например, предотвращение взрывов и повышение надежности спутников). Моделирование космической среды и данные о низком уровне соблюдения международных руководящих принципов указывают на то, что меры по предупреждению образования космического мусора, скорее всего, окажутся недостаточными.

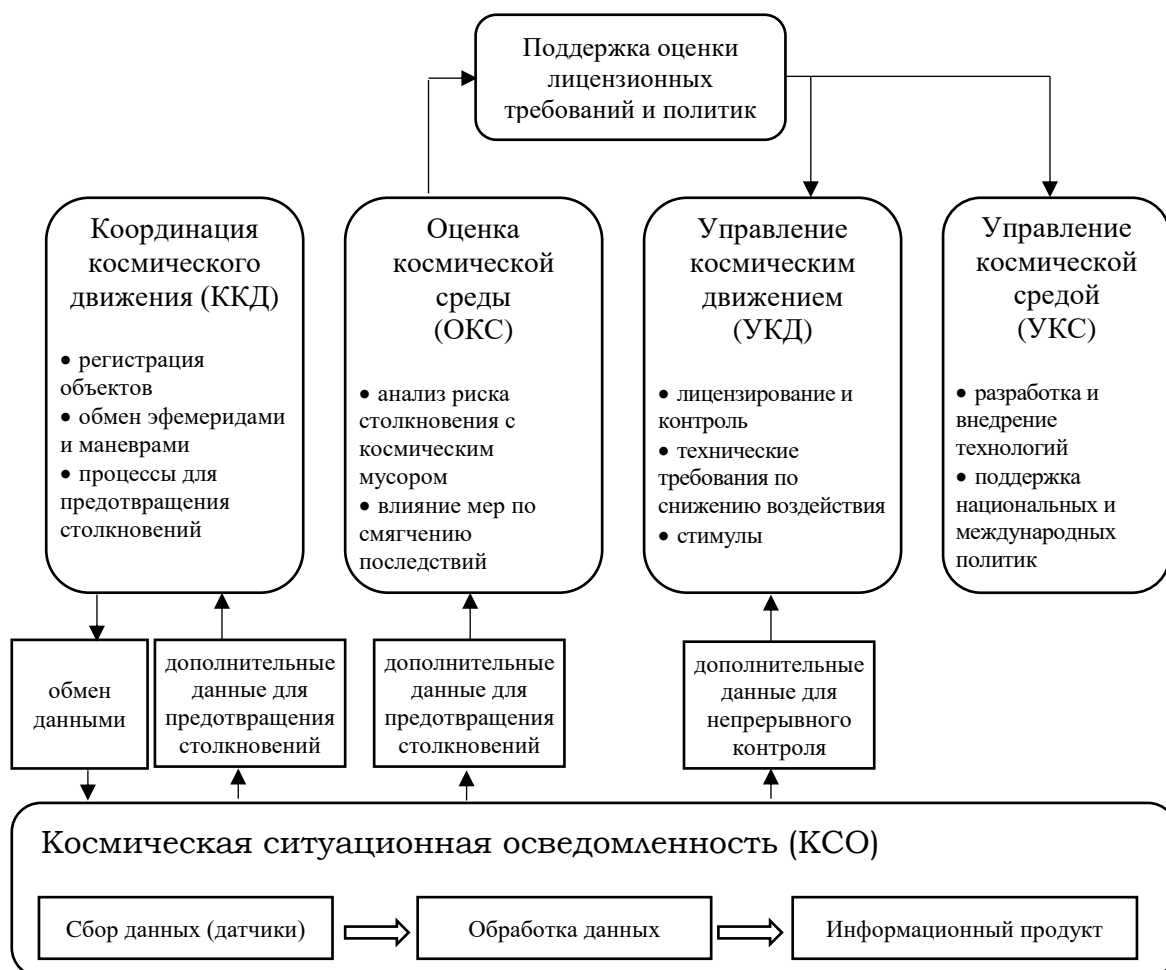


Рисунок 4 – Взаимосвязь между действиями, связанными с космическим мусором

Для решения проблемы неустойчивого роста популяции мусора требуются мероприятия по восстановлению, которые могут принимать три формы: активное удаление мусора (АУМ) [28], своевременное предотвращение столкновений (СПС) и восстановления мусора (ВМ). АУМ заключается в активном удалении мусора, СПС включает снижение вероятности предсказанного столкновения путем внешнего воздействия на траекторию одного из двух обломков до предсказанного времени столкновения. ВМ основан на использовании нано-тюков для модернизации бесхозных объектов с возможностью предотвращения столкновений. Были предложены различные методы АУМ, СПС и ВМ. В то время как применение СПС и ВМ остается пока только перспективными, разработки АУМ уже финансируются, и первая уборка мусора без экипажа может быть осуществлена уже в 2025 году [29]. Поскольку ликвидация последствий, скорее всего, будет более дорогостоящей, чем смягчение последствий, в литературе существует общее согласие с тем, что при перед проведением операций по удалению мусора необходимо вначале обеспечить более строгое соблюдение стандартов по смягчению послед-

ствий. В то время как меры по смягчению последствий лежат в основе международных руководящих принципов, меры по восстановлению привлекают лишь ограниченное внимание исследователей, политиков и финансистов. На рис. 5 представлены технические подходы к минимизации риска столкновения с космическим мусором.



Рисунок 5 – Краткое описание технических подходов к минимизации риска столкновений

Рыночные инструменты

Могут ли рыночные подходы к снижению рисков быть полезными, как это происходит во многих областях внутренней и, в более ограниченной степени, международной экологической политики?

В принципе, наиболее экономически эффективным подходом к снижению рисков, связанных с космическим мусором, является предотвращение, однако в настоящее время оно осуществляется в недостаточной степени. Единственные существующие международные механизмы управления в этой области слабы и не имеют обязательной силы. Когда международные руководящие принципы переводятся в национальные законы или правила, что происходит не всегда, обычно выполняются только предварительные требования. Операторы, как правило, обязаны представить план по предупреждению образования космического мусора для получения лицензии. Отсутствие контроля и санкций приводит к слабым стимулам для выполнения плана и низкому уровню соблюдения существующих руководящих принципов. У участников космической деятельности есть лишь ограниченные стимулы прилагать больше усилий для уменьшения образования космического мусора, поскольку они понесут все расходы, не получая всех выгод. Обычно используемый командно-административный подход, который предписывает, что разрешено, а что нет, можно частично заменить или дополнить экономическими стимулами.

Применяя рыночные инструменты, такие как субсидии или налоги, национальные и международные регулирующие органы могут поощрять или сдерживать определенное поведение.

Часто утверждается, что рыночные инструменты дают множество преимуществ и рассматриваются как экономически эффективный способ устранения провалов и неэффективности рынка [30]. При командно-административном подходе выгоды от улучшения деятельности, например, от удаления мусора с орбит, не интернализируются, а значит, инвестиции в данный вид деятельности не стимулируются. Рыночные меры могли бы интернализовать выгоды от инвестиций в устранение космического мусора и тем самым стимулировать их.

Предварительные требования, применяемые единообразно к операторам с разными затратами на соблюдение, неэффективны, часто неадекватны для регулирования быстро меняющейся отрасли и создают ограниченные стимулы для разработки и внедрения технологий по снижению возникновения мусора. Ниже мы рассмотрим рыночные инструменты, предлагаемые в литературе для стимулирования поведения по снижению риска в космосе:

Страхование ответственности. Благодаря классификации рисков и установлению цен на страховые премии страхование может выступать в качестве суррогатного регулятора [31]. Хорошо функционирующий рынок страхования ответственности может обеспечить необходимые стимулы и требует ограниченного вмешательства государства. Однако слабая международная система ответственности за деятельность на орбите в сочетании с удаленным характером космоса, который не позволяет проводить расследование ущерба, значительно затрудняют это решение. Поскольку ставки страховых взносов устанавливаются соразмерно риску предъявления претензий, а не вероятности столкновения, механизм ценообразования ставок страховых взносов по страхованию ответственности в настоящее время не может стимулировать поведение, направленное на снижение риска. Улучшение возможностей отслеживания с помощью услуг, предоставляемых частными компаниями, и активизация коммерческой космической деятельности, приводящая к подаче исков в суд, могут изменить способность страхования ответственности стимулировать поведение, направленное на снижение риска.

Лицензирование. Лицензии на создание определенного уровня риска, связанного с обломками, за определенный период времени могут интернализовать стоимость образования обломков [32]. Наиболее эффективным механизмом в этом контексте может быть схема «квоты и торговля», поскольку она ограничивает количество новых обломков заранее определенным количеством [33]. Однако разработка пригодной для квотирования и взаимозаменяемой единицы риска, которая охватывала бы все каналы образования обломков, представляет собой сложную задачу [34]. Улучшение возможностей отслеживания и каталогизации поможет определить всеобъемлющую единицу риска, которую легко будет отслеживать тот или иной регулирующий орган. Такая схема создаст стимулы для устранения космического мусора, поскольку деятельность по снижению риска, например, АУМ, будет приносить ценные разрешения.

Регулирующие сборы. Пользователей космоса можно обязать платить регулирующий сбор за создание рисков, связанных с мусором [35-37]. Определение единицы риска, которая влечет за собой обязательства по уплате сбора, сталкивается с теми же проблемами, что и в случае рыночных разрешений. Регулятивные сборы обеспечивают большую определенность в отношении стоимости соблюдения требований и мотивируют долгосрочные инвестиции в смягчение последствий. Однако определение эффективного уровня платы затруднено, поскольку регулирующие органы, скорее всего, не располагают информацией о текущих и будущих затратах регулируемых субъектов на борьбу с загрязнением [38]. В нескольких экономических моделях рассматривается влияние регулирующих сборов на образование космического мусора, но в них часто используется запуск в качестве единицы риска [39-42]. Недавнее исследование показывает, что введение оптимального по размеру налога на использование орбиты в 2020 году увеличит чистую приведенную стоимость спутниковой индустрии с примерно 600 миллиардов долларов США до примерно 3 триллионов долларов США к 2040 году [6]. Наиболее конкретным примером в этой области является недавнее предложение Федеральной комиссии по связи США о введении залога на утилизацию спутников после запуска [43]. Схемы депозитов и возврата средств будут стимулировать операторов к сокращению незапланированного образования мусора и проведению послепусковой утилизации.

Все три механизма могли бы стимулировать как снижение уровня засоренности космоса, так и ликвидацию последствий. Средства, полученные от регулирующих сборов или аукциона по продаже разрешений, можно использовать для финансирования разработки и развертывания технологий восстановления. Эти механизмы также помогут обойти трудности, связанные с распределением между участниками космической деятельности затрат на ликвидацию последствий прошлой космической деятельности. С точки зрения распределительной справедливости, это заставит нынешних участников платить за неустойчивое использование общего достояния в прошлом.

Еще одним вариантом решения проблемы космического мусора может стать распределение прав собственности [44]. Однако такой подход несовместим с существующим правовым режимом, а определение орбитальных слотов на НОО сопряжено с трудностями. Учитывая трудности создания централизованного координационного механизма для управления околоземным пространством, некоторые авторы утверждают, что децентрализованный подход может способствовать более рациональному использованию околоземных орбит. Однако необходимые условия для создания эффективной полицентрической системы управления космосом еще далеко не выполнены.

Заключение

Космический мусор представляет собой серьезное препятствие на пути к созданию процветающей и устойчивой космической экономики. Он повышает стоимость работы в космосе и может привести к серьезным сбоям в работе важнейших объектов инфраструктуры. Для борьбы с этим растущим риском требуется сочетание решительных мер по снижению риска (например, эффективное предотвращение столкновений, утилизация мусора после миссии) и устранению последствий (например, удаление уже существующего мусора), а обе эти меры в настоящее время недостаточно эффективны. Наша оценка текущих исследований и политики показывает, что нормативно-правовая база (пока) не обеспечивает достаточных стимулов для принятия обоих комплексов мер. Вмешательство государства может способствовать более устойчивой космической практике, но оно потребует поддержки со стороны ключевых заинтересованных сторон в правительстве и частном секторе, а также общественности в целом.

Рыночные политические инструменты могут помочь обойти некоторые из нынешних проблем, связанных с международным распределением ответственности за образование исторического мусора, сосредоточившись на текущем поведении и генерируя средства на восстановление. Политики, пытающиеся разработать, создать и внедрить их, вполне могут столкнуться с теми же препятствиями, что и при попытках традиционного регулирования. Действительно, остается неясным, какие рыночные инструменты окажутся более приемлемыми для ключевых заинтересованных сторон, например, таких как военные и частные компании. Вероятность того, что та или иная форма политического вмешательства будет более (или менее) политически осуществимой, зависит от того, как затраты и выгоды от политического вмешательства распределяются между фирмами, государственными структурами и потребителями [99,100]. Однако мы считаем, что стоит расширить «пространство решений», рассмотрев и рыночные инструменты, причем реалистично, как дополнение к традиционному регулированию, а не как его замену.

Библиография

1. Распоряжение Правительства РФ от 24.11.2023 N 3339-р «Об утверждении Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года». – URL: <https://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-24112023-n-3339-r/strategiia-razvitiia-otrasli-sviasi-rossiiskoi>.
2. В России создают спутниковую группировку для интернета вещей. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Telum_Leo_1_\(спутниковая_группировка\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Telum_Leo_1_(спутниковая_группировка)).

3. Балухто А. Н., Романов А. А. Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы 2019, том 6, выпуск 1, с. 65–75. DOI 10.30894/issn2409-0239.2019.6.1.65.75.
4. Rawls ML, Thiemann HB, Chemin V, Walkowicz L, Peel MW, Grange YG: Satellite constellation Internet affordability and need. *Res Notes AAS* 2020, 4:189.
5. United States Government Accountability Office: Large Constellations of Satellites: Mitigating Environmental and Other Effects. GAO; 2022.
6. OECD: The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy. OECD Publishing; 2019.
7. Митрофанов А. Милитаризация космоса – следующий шаг США. SpaceX и лазеры на орбите. – URL: <https://topwar.ru/155082-militarizacija-kosmosa-sledujuschij-shag-ssha-spacex-i-lazery-na-orbite.html>.
8. Lauer RS: When states test their anti-satellite weapons. *Astropolitics* 2022, 20:1-26.
9. Lawrence A, Rawls ML, Jah M, Boley A, Di Vruno F, Garrington S, Kramer M, Lawler S, Lowenthal J, McDowell J, et al.: The case for space environmentalism. *Nat Astron* 2022, 6:428-435.
10. Спутниковая база данных UCS. <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database> (дата обращения 14.12.2023).
11. Европейское космическое агентство Управление по космическому мусору: Космический мусор в цифрах. ESA; 2022.
12. Усовик И.В. Методика оценки долговременной эволюции техногенного засорения низких околоземных орбит при реализации активного удаления космического мусора : дисс... канд. техн. наук. – Москва, 2015, 112 с.
13. Европейское космическое агентство: ЕКА приобретает у стартапа первую в мире миссию по удалению мусора. ESA; 2020.
14. Kessler DJ, Cour-Palais BG: Collision frequency of artificial satellites: the creation of a debris belt. *J Geophys Res Space Phys* 1978, 83:2637-2646.
15. Salter AW: Space debris: a law and economics analysis of the orbital commons. *Stanf Technol Law Rev* 2016, 19:221-293.
16. Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела [Договор по космосу]. 610 UNTS 205; 1966.
17. Конвенция о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами [Конвенция об ответственности]. 961 UNTS 187; 1971.
18. Stewardson L, Freeland S: Addressing the inevitable: legal and policy issues related to space debris mitigation and remediation. In *Space Debris Peril: Pathways to Opportunities*. Edited by Madi M, Sokolova O. CRC Press; 2020.
19. Международный координационный комитет по космическому мусору: Руководство по предупреждению образования космического мусора. IADC; 2021.
20. Комитет Организации Объединенных Наций по использованию космического пространства в мирных целях: Руководящие принципы предупреждения образования космического мусора Комитета по использованию космического пространства в мирных целях. UNCOUOS; 2007
21. Международная организация по стандартизации: Космические системы - Требования к предупреждению образования космического мусора. ISO; 2019.
22. Коалиция по космической безопасности: Лучшие практики для обеспечения устойчивости космических операций. SSC; 2019.
23. Saada A, David E, Micco F, Kneib J-P, Letizia F, Udriot M, Wood D, Rathnasabapathy M, Weber D, Letizia F, et al.: The Space Sustainability Rating: An Operational Process Incentivizing Operators to Implement Sustainable Design and Operation Practices. In *Proceedings of the 73rd International Astronautical Congress*; 2022.
24. Управление Европейского космического агентства по космическому мусору: Ежегодный доклад ЕКА о космической среде. ESA; 2022.

25. Liou J-C, Matney M, Vavrin A, Manis A, Gates D: NASA ODPO's large constellation study. *Orbit Debris Q News* 2018, 22:4-7.
26. Lucken R, Giolito D: Collision risk prediction for constellation design. *Acta Astronaut* 2019, 161:492-501.
27. Liou J-C, Johnson NL: Risks in space from orbiting debris. *Science* 2006, 311:340-341.
28. Международный космический университет: Активное удаление мусора и смягчение последствий (ADAM). ISU; 2018.
29. Hugo A: ESA Funding 2025 ClearSpace Debris Removal Spacecraft. ESA; 2020.
30. Латышенко Г.И., Сычева Е.М., Анищенко Ю.А. Оценка и мониторинг рисков космических проектов // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 7-2. – С. 403-407; – URL: <https://fundamental-reOKCrch.ru/ru/article/view?id=38708> (дата обращения: 14.01.2024).
31. Двирный, В. В. Страхование космических проектов на основе вероятностного анализа рисков / В. В. Двирный, В. В. Голованова, М. В. Елфимова, Г. В. Двирный, Н. Н. Петяева // *Исследования наукограда, 2017, № 4, Том 1, с. 193-199*
32. Постановление Правительства РФ от 14 февраля 2022 г. N 168 "Об утверждении Положения о лицензировании космической деятельности и признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации". – URL: <https://base.garant.ru/403534348>.
33. Сотрудничество России и США в области космической деятельности в настоящее время. Проблема квот. – URL: <https://studentopedia.ru/pravo/sotrudnichestvo-rossii-i-ssha-v-oblasti-kosmicheskoy-deyatelnosti-v-nastoyashee-vremya--problema.html>.
34. Salzman J, Ruhl JB: Currencies and the commodification of environmental law. *Stanf Law Rev* 2000, 53:607-1613.
35. Pusey N: The case for preserving nothing: the need for a global response to the space debris problem. *Colo J Int Environ Law Policy* 2010, 21:450.
36. Garber SJ: Incentives for keeping space clean: orbital debris and mitigation waivers. *J Space Law* 2017, 41:201.
37. Carroll JA: Bounties on Orbital Debris? In *Proceedings of the First International Orbital Debris Conference*; 2019.
38. Андреева Е.С. Экологические риски функционирования объектов космической отрасли / Е.С. Андреева, И.С. Нестерова // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2023. — №2 (128). — URL: <https://reOKCrch-journal.org/archive/2-128-2023-february/10.23670/IRJ.2023.128.74> (дата обращения: 14.01.2024). — DOI: 10.23670/IRJ.2023.128.74
39. Adilov N, Alexander PJ, Cunningham BM: An economic analysis of earth orbit pollution. *Environ Resour Econ* 2015, 60:81-98.
40. Macauley MK: The economics of space debris: estimating the costs and benefits of debris mitigation. *Acta Astronaut* 2015, 115:160-164.
41. Béal S, Deschamps M, Moulin H: Taxing congestion of the space commons. *Acta Astronaut* 2020, 177:313-319.
42. Rouillon S: A physico-economic model of low earth orbit management. *Environ Resour Econ* 2020, 77:695-723.
43. Federal Communications Commission: Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking in the Matter of Mitigation of Orbital Debris in the New Space Age. FCC 2020.
44. Coase RH: The problem of social cost. *J Law Econ* 1960, 3:1-44.

MARKET MECHANISMS OF TECHNOGENIC RISKS REDUCTION IN OUTER SPACE

Grigoriev S.M.

Financial University under the Government of the Russian Federation

Abstract

Space infrastructure is closely interconnected with the systems on the Earth and is crucial for many human activities. Rapidly progressing digitalization of our society with massive growth of Internet traffic and connected devices, as well as new applications of artificial intelligence will further accelerate the development of new space infrastructure and make it even more vital. However, this infrastructure is threatened by increasing congestion. Space debris, a by-product of space activities, poses a collision hazard to operational spacecraft. Unless active measures are taken to reduce this risk, the future costs associated with space debris could become enormous. Proper management of the near-Earth orbital space becomes critical to reap new benefits from space utilization and protect critical infrastructure. Based on a review of the current literature, we argue that market-based instruments can incentivize space debris mitigation and remediation measures and help circumvent obstacles to formal international sharing of responsibility for the current mu debris population.

Keywords

Space, man-made risks, space debris, satellite constellations, market mechanisms, sustainability of space infrastructure.