

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ ТРАЛЬЩИКОВ ПРИ ДВУХ СПОСОБАХ ВЫВЕДЕНИЯ НА ОРБИТУ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА**

### **Введение**

Очистка низких околоземных орбит от мелких частиц космического мусора является одной из наиболее актуальных проблем современности. Осуществляемые в настоящее время меры борьбы позволяют пока что только снизить темпы роста космического мусора. Однако его концентрация растет и приближается до опасного уровня, когда использование космического пространства вообще станет проблематичным.

Пожалуй, самой эффективной на данный момент является очистка околоземного космоса от мелких частиц космического мусора путем сбора его космическими тральщиками (КТ), оснащенными двигательной установкой (ДУ) и имеющими в своем составе специальное устройство для улавливания космического мусора (УУ) [1]. Целевая эффективность такого способа очистки определяется временем пребывания тральщика в зоне возможного контакта с КМ, длительность которого зависит от типа используемой ДУ и от количества запасенного рабочего тела (РТ).

Проведенные расчеты [2] показали, что улавливающее устройство может иметь значительную массу (до нескольких тонн), поэтому увеличить массу РТ, а значит, и время функционирования КТ можно за счет отдельного выведения космического тральщика и улавливающего устройства на рабочую орбиту. Освобождающаяся масса в КТ может быть компенсирована за счет дополнительной массы рабочего тела.

Такой вариант маневра выведения КТ и УУ может быть реализован, например, при выведении в космос одновременно нескольких полезных нагрузок в случае имеющегося незаполненного объема под обтекателем ракеты-носителя (РН).

### **1. Решение проблемы**

Целью данной работы является сравнение характеристик и времени работы космических тральщиков при двух вариантах маневра выведения на рабочую орбиту КТ и УУ.

Рассматриваются пояс космического пространства в диапазоне высот от 500 до 1200 км и устройство для улавливания частиц космического мусора, имеющих размер в поперечнике до 10 см. УУ представляется в виде сферы, радиус которой варьируется от 30 до

70 м. Частицы мелкого космического мусора при столкновении с улавливающим устройством либо захватываются им, либо прошивают его насквозь с потерей скорости, либо отражаются от него также с потерей скорости. Потерявшие скорость и незахваченные УУ, они снижаются до входа в плотные слои атмосферы и сгорают.

Предполагается, что улавливающее устройство и космический тральщик совершают такие маневры. УУ с помощью ракеты-носителя выводится на рабочую орбиту высотой 1200 км в количестве, определяемом ее грузоподъемностью. РН может выводить УУ или сразу на рабочую орбиту, либо с опорной орбиты с помощью разгонного блока (РБ). КТ выводится на рабочую орбиту другой РН либо также сразу, либо с помощью РБ с опорной орбиты. Для определенности в статье рассматривается второй способ выведения.

На рабочей орбите тральщик осуществляет стыковку с ранее выведенным УУ и после включения тормозной двигательной установки снижается вместе с улавливающим устройством, захватывая при этом элементы космического мусора. После достижения конечной низкой орбиты тормозная ДУ отключается, а включается разгонная ДУ, входящая в состав КТ. Тральщик с УУ поднимается до указанной высокой орбиты, разгонная ДУ выключается, включается тормозная ДУ, и процесс очистки повторяется. Циклическое движение КТ происходит до выработки рабочего тела ДУ.

Для увеличения времени контакта КТ с космическим мусором, увеличивающим эффективность очистки, возможно применение двигательных установок с электроракетными двигателями, являющимися двигателями малой тяги и обеспечивающими длительное время полета (до года и более), а следовательно, и длительное время контакта с частицами КМ.

## 2. Результаты исследований

В качестве параметров для сравнения двух маневров выведения УУ на высокую орбиту выбраны число циклов движения КТ (спуск с высокой орбиты на низкую и подъем с низкой орбиты на высокую), общее время движения КТ и площадь поверхности УУ, умноженная на число циклов очистки  $F_{УУ_{СУМ}} \cdot F_{УУ_{СУМ}}$  определяется по формуле

$$F_{УУ_{СУМ}} = 4\pi R_{УУ}^2 n,$$

где  $R_{УУ}$  – радиус УУ;  $n$  – общее число циклов движения КТ.

Сравнение было проведено для РН «Titan-405А», «Протон-М» и «Space Shuttle», охватывающих по грузоподъемности весь диапазон известных РН, которые могут быть использованы для выведения космических тральщиков на требуемую орбиту.

Число циклов движения  $n$  космического тральщика при выведении улавливающего устройства с радиусом  $R_{уу}$  в его составе приведено на рис. 1, а при раздельном выведении КТ и УУ – на рис. 2.

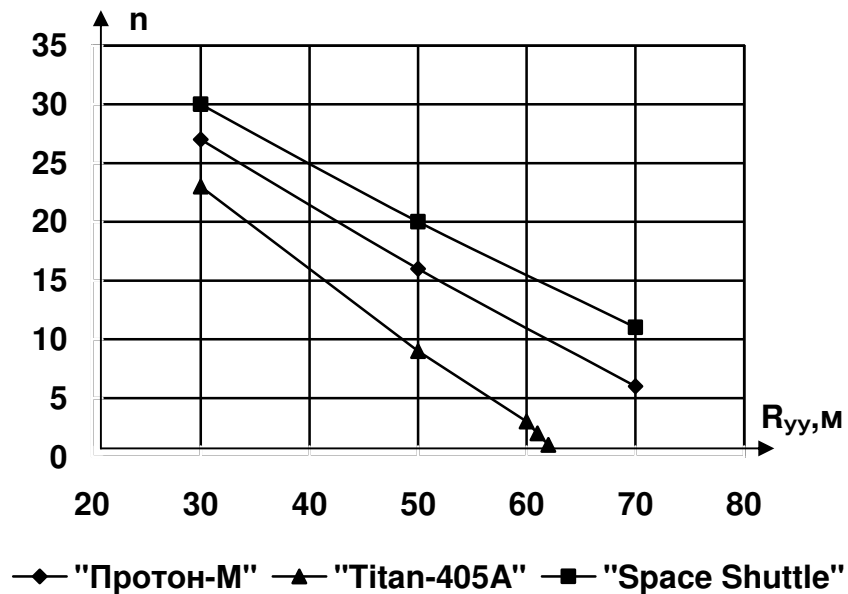


Рисунок 1 – Зависимость количества циклов движения КТ от радиуса УУ при выведении УУ в составе КТ

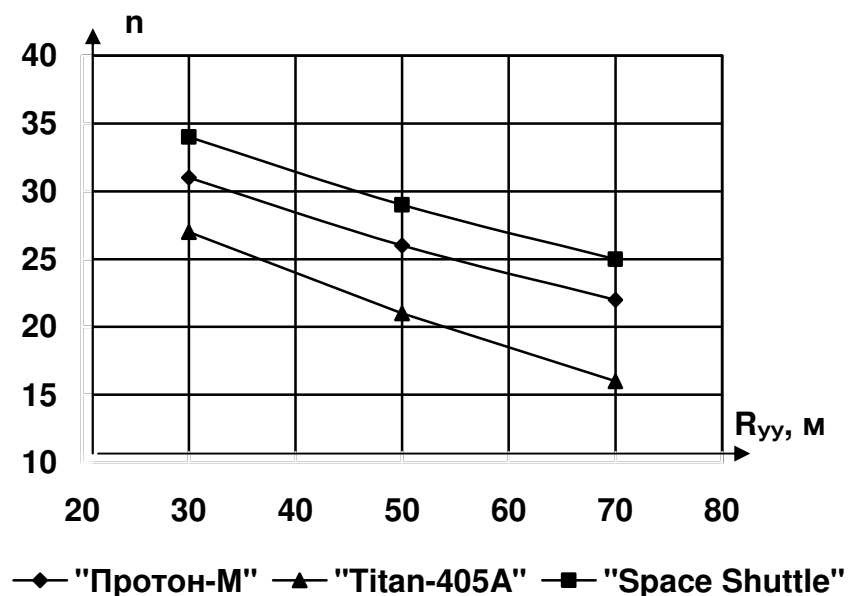


Рисунок 2 – Зависимость количества циклов движения КТ от радиуса УУ при раздельном выведении КТ и УУ

Из сравнения полученных результатов расчета видно, что зависимости числа циклов движения КТ при раздельном выведении с УУ

смещаются вверх и для радиуса улавливающего устройства  $R_{\text{УУ}}$  от 30 до 70 м число циклов увеличивается соответственно на 4–15 по сравнению с выведением УУ в составе КТ. Характер кривых изменения параметра  $n$  от радиуса УУ для обоих маневров одинаковый – падающий. Однако характер изменения  $F_{\text{УУ}_{\text{СУМ}}}$  от радиуса улавливающего устройства  $R_{\text{УУ}}$  (рис. 3, 4) для данных маневров выведения различный.

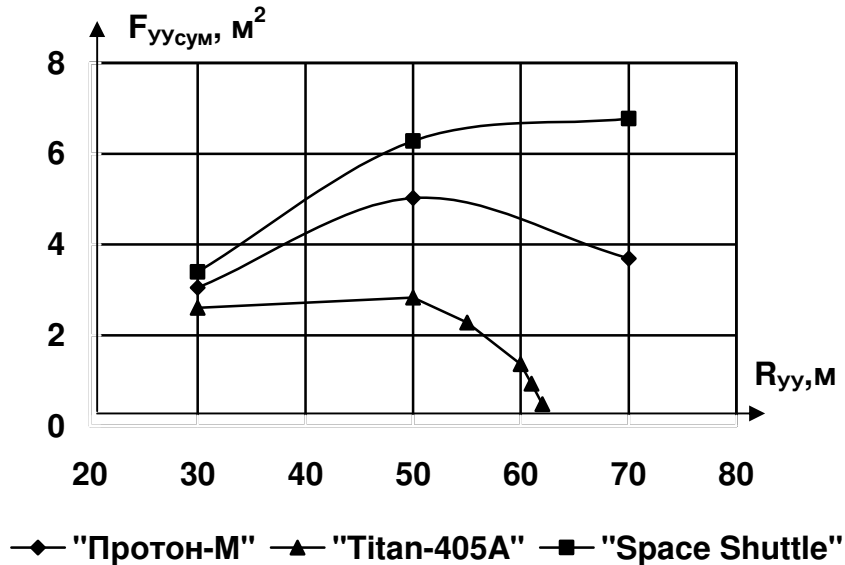


Рисунок 3 – Зависимость суммарной площади поверхности УУ от его радиуса при выведении УУ в составе КТ

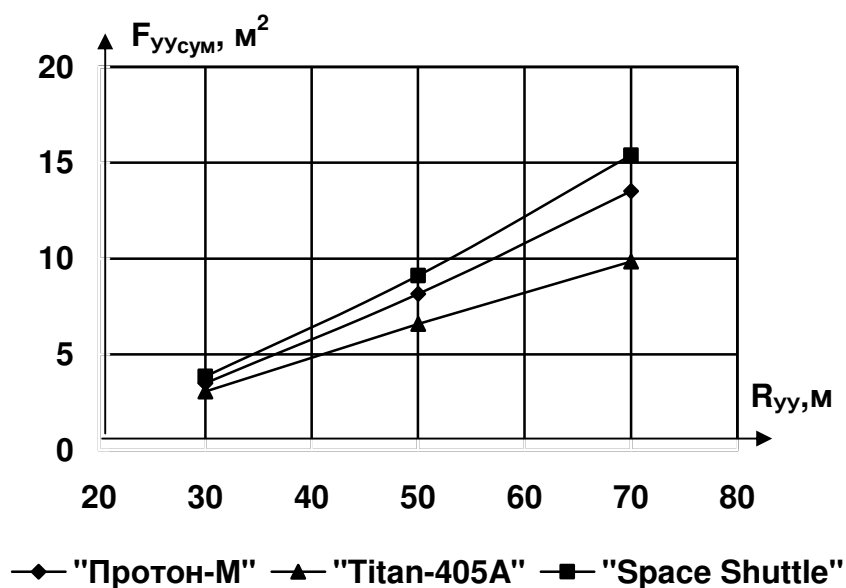


Рисунок 4 – Зависимость суммарной площади поверхности УУ от его радиуса при раздельном выведении КТ и УУ

При раздельном выведении КТ и УУ (рис. 4) кривые растущие, а при выведении УУ в составе КТ (рис. 3) наблюдается падение  $F_{УУ_{СУМ}}$  в области больших значений  $R_{УУ}$ . Кроме этого, при раздельном выведении УУ и КТ для всех радиусов  $R_{УУ}$  значение  $F_{УУ_{СУМ}}$  по абсолютной величине в два раза превышает это значение для выведения УУ в составе КТ. Отсюда следует вывод, что выгоднее раздельное выведение с большим радиусом УУ.

Зависимости времени работы космического тральщика  $T_{КТ}$  от радиуса улавливающего устройства  $R_{УУ}$  приведены на рис. 5, 6.

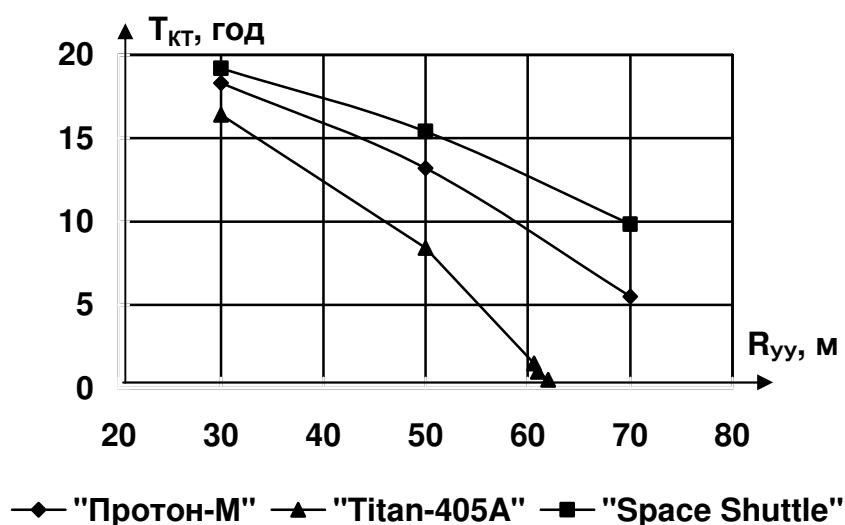


Рисунок 5 – Зависимость времени работы КТ радиуса УУ при выведении УУ в составе КТ

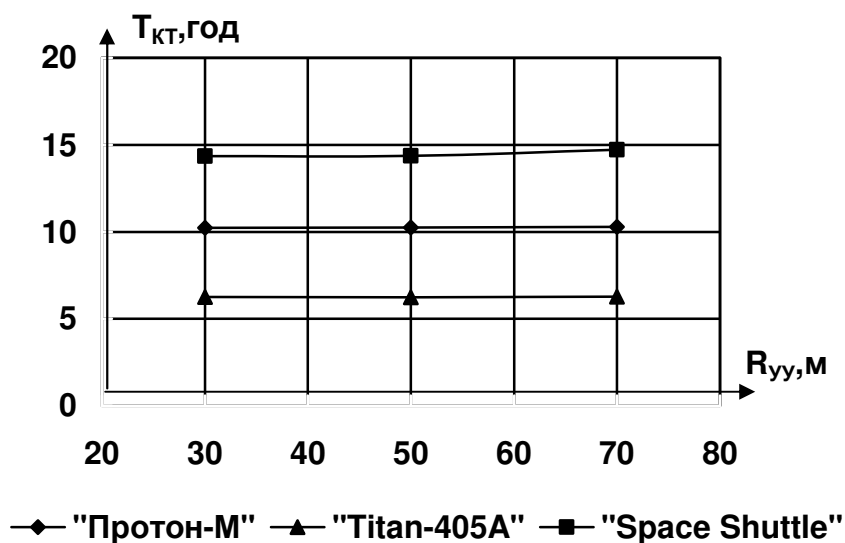


Рисунок 6 – Зависимость времени работы КТ от радиуса УУ при раздельном выведении КТ и УУ

Характер зависимости времени работы КТ от радиуса УУ при выведении УУ в составе КТ падающий, при отдельном выведении эта зависимость постоянная. При этом в первом случае наименьшее время работы наблюдается в области больших радиусов УУ и составляет от одного года до 10 лет соответственно для РН «Titan-405А» и «Space Shuttle». При отдельном выведении КТ и УУ для этих РН время работы космического тральщика находится в пределах от 6 до 15 лет.

#### Выводы

При сравнении двух вариантов маневра выведения космического тральщика и устройства для улавливания космического мусора можно сделать вывод о большей эффективности КТ при отдельном выведении с УУ большого радиуса. Значение  $F_{УУ_{сум}}$  с  $R_{УУ} = 70$  м при отдельном выведении УУ и КТ более чем в два раза выше, чем при выведении УУ с тем же радиусом в составе КТ. Кроме того, применение РН «Titan-405А» с  $R_{УУ}$  выше 60 м невозможно при выведении УУ в составе КТ, а при отдельном выведении УУ и КТ это реально, хотя при этом по эффективности она уступает в 1,5 раза РН «Протон-М» и в 2,6 раза РН «Space Shuttle».

Однако по времени действия КТ в зоне очистки от космического мусора отдельное выведение УУ с радиусом 70 м для РН «Titan-405А» уступает выведению в составе КТ для РН «Протон-М» в 1,5 раза, а для РН «Space Shuttle» в 2 раза.

С точки зрения экономических затрат отдельное выведение КТ и УУ априори дороже выведения УУ в составе КТ. В целом целесообразность применения отдельного выведения требует детальной проработки с учетом эффективности использования и с экономической стороны и является предметом дальнейших исследований.

#### Список использованных источников

1. Шевцов А. В. Мелкий космический мусор. Анализ развития и способы борьбы / А. В. Шевцов, А. С. Макарова // Космічна наука і технологія. Додаток до журналу. – Днепропетровск: ДНУ, 2002. – Т. 8. № 1. – С. 176–179.
2. Кондратьев А. И. Методика расчета тяговых и энергомассовых характеристик мусорособирающего космического аппарата с ЭРДУ / А. И. Кондратьев, П. Г. Хорольский, Л. Г. Дубовик // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2009. – № 10 (67). – С. 82–84.

*Поступила в редакцию 22.11.2010.*

*Рецензент: д-р техн. наук, ст. науч. сотр.  
В.Ф. Забашта, ОАО «Украинский НИИ  
авиационной технологии», г. Киев*