

## ОТЗЫВ

официального оппонента проф., д.т.н. В.И. Трушлякова на диссертацию Д.А. Гришко "Исследование схем облёта объектов крупногабаритного космического мусора на низких орбитах", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - Теоретическая механика

Диссертация Д.А. Гришко посвящена решению актуальной задачи – разработке методов составления схем облёта пассивных космических объектов на низких околоземных орбитах. Эта задача возникает при планировании перспективных миссий сервисных космических аппаратов, в частности, для одно из актуальных задач по уводу объектов крупногабаритного космического мусора (ККМ).

В настоящее время низкие орбиты и геостационарная орбита являются самыми загрязнёнными областями космического пространства. Большие скорости относительного движения объектов приводят к тому, что при их столкновении образуются многочисленные фрагменты. В том случае, если столкновение происходит на высотах, превышающих 600 км, образовавшиеся фрагменты существуют десятилетиями, а при столкновении с другими объектами каждый отдельный фрагмент способен создать новое поколение фрагментов. Таким образом, могут сложиться условия, благоприятные для возникновения эффекта Кesslera, при

котором увеличение популяции космического мусора имеет цепной характер. Это может привести к потере существующих спутников и спутниковых систем, а, следовательно, и к невозможности предоставления всех услуг на их основе.

Автор классифицирует объекты ККМ по группам, отличающимся между собой по значению наклона орбит, входящих в них объектов. В качестве ККМ автором были рассмотрены последние ступени ракет-носителей и разгонные блоки, как объекты, имеющие относительно простую геометрическую форму, а главное – сопло, в которое можно вставить специальный модуль, обеспечивающий увод объекта на орбиту захоронения.

По результатам анализа автор выделил на низких орбитах 5 групп ККМ. Очевидно, что облёт объектов необходимо осуществлять внутри каждой группы отдельно, так как изменение наклона орбиты является весьма затратным. С другой стороны, изменение долготы восходящего узла (ДВУ) фактически аналогично изменению наклона орбиты, так как в обоих случаях осуществляется поворот орбитальной плоскости. Однако в отличие от наклона, ДВУ обладает свойством прецессии, которое автор заложил в основу построения схем облёта объектов ККМ. В рамках каждой группы ККМ необходимо найти наиболее рациональную последовательность перелётов между объектами.

В первую очередь автор рассматривает кеплеровы элементы орбит объектов каждой группы ККМ и строит для неё портрет эволюции отклонений ДВУ. На этом портрете кривые отклонений ДВУ всех объектов от ДВУ орбиты выбранного объекта могут образовывать два различных случая: квазипараллельное расположение или многократные взаимные пересечения.

Далее автором выполнено комплексное исследование оценки затрат суммарной характеристической скорости (СХС), необходимой для перелёта между двумя объектами на низких околокруговых орбитах. Последовательно рассмотрены перелёт в одной плоскости, перелёт с изменением ДВУ, а также перелёты с изменением ДВУ, большой полуоси и наклона. В основе всех манёвров лежит использование свойства прецессии орбитальной плоскости по ДВУ. Маневрирование осуществляется на двух интервалах, совпадающих с началом и концом общего времени перелёта между объектами. В результате исполнения импульсов скорости первого интервала космический аппарат переводится на орбиту ожидания, скорость прецессии которой отличается от скорости прецессии ДВУ начальной и конечной орбит. За время перелёта ДВУ орбиты ожидания и орбиты цели практически выравниваются, а оставшаяся разница компенсируется бинормальными импульсами скорости.

В ходе исследований затрат СХС автору удалось получить аналитическую зависимость, которая определяет компромиссную продолжительность перелёта между двумя объектами в одной плоскости. Эта же зависимость может быть применена в случае, когда угол некомпланарности между орбитами не превышает нескольких градусов.

Ещё одним важным результатом исследования является подтверждение того, что при изменении ДВУ в сторону прецессии требуются меньшие затраты СХС, чем при повороте плоскости против направления прецессии, причём выигрыш по СХС тем больше, чем больше величина корректируемой ДВУ.

В диссертации Д.А. Гришко увод объектов ККМ рассмотрен в соответствии с двумя вариантами. Первый вариант предусматривает

наличие на борту активного космического аппарата (КА) отделяемых модулей, которые фиксируются на объекте ККМ и обеспечивают его увод на орбиту захоронения. При втором варианте активный КА сам уводит объект на орбиту захоронения, а затем возвращается за новым объектом. При втором варианте увода возможна лишь последовательная схема облёта, при этом в качестве орбиты ожидания выступает орбита захоронения уводимого объекта.

При первом варианте увода предпочтительная схема облёта зависит от вида портрета эволюции отклонений ДВУ. В случае первых трёх групп ККМ орбиты объектов в группе мало отличаются по большой полуоси и являются околосредними, поэтому наиболее затратным при очередном перелёте будет изменение ДВУ. В этих группах наблюдается квазипараллельное расположение орбитальных плоскостей, поэтому наиболее экономичным является последовательный облёт объектов в направлении прецессии ДВУ.

Для групп ККМ №4 и №5 существует возможность построения диагональных схем облёта, при которых орбита очередного объекта ККМ выступает одновременно в качестве орбиты ожидания. Такая схема позволяет в несколько раз уменьшить требуемые затраты СХС, однако определение последовательности перелётов осложнено и было получено автором с применением теории графов.

В диссертации проведено сравнение двух вариантов увода ККМ по количеству требуемых активных КА, продолжительности миссии, а также требуемым запасам СХС для облёта каждой группы ККМ. Сделан вывод о максимальном необходимом количестве отделяемых модулей, которые должны располагаться на борту активного КА при первом варианте увода ККМ.

В целом диссертация Д.А. Гришко даёт достаточно полное представление о методике составления схем облёта объектов ККМ на низких орбитах. Она содержит полезные результаты исследований перелётов между орбитами с использованием прецессии ДВУ и позволяет сравнить два варианта увода группы объектов ККМ с орбиты.

По мнению рецензента, недостатки диссертационного исследования можно разделить на 2 части общие и частные.

Общие недостатки

1. Диссертация отнесена к отрасли наук 01.02.01 «Теоретическая механика» и указаны физико-математические науки, а не технические, поэтому, соответственно, должен быть и сделан крен на фундаментальное изложение представляемого материала (больше физико-математического, а не технического). Значительная часть диссертационного исследования относится к техническим наукам и имеет прикладное (техническое) приложение.

2. В соответствии с требованиями паспорта специальности: «Основные этапы исследования включают в себя постановку задачи, выбор корректной теоретико-механической модели, разработку и применение методов общей механики для исследования поставленной задачи, изучение полученных решений».

Постановка задачи приведена только во 3-ей главе, хотя в главах 2, 4 также рассматриваются конкретные теоретические модели, методы. Приведённая постановка задачи к главе 3 для диссертации, отнесённой автором руководителем и научным консультантом к физико-математическим наукам, фактически носит описательный характер, а не физико-математический.

3. Анализ полученных решений, в части их достоверности, что также необходимо при проведении исследований, в диссертации отсутствует.

К недостаткам частного характера, по мнению рецензента, можно отнести.

4. Исследуемый перечень объектов ККМ в каждой группе может быть нереализуемым из-за невозможности стыковки ним и оказаться недоступным для решения указанных задач, например, из-за наличия вращения вокруг собственных осей объекта ККМ.

5. Разбросы по точности определения координат ККМ, условия стыковки с ними (освещённость, направления подлёта к ККМ), запасы топлива на участок ближнего наведения и т.д. приводят к существенной корректировке требуемым запасов СХС.

6. В части оформления диссертации: много иллюстративного материала, графиков, которые представлены, как правило, без комментариев. Часть материала можно было отнести в Приложение.

7. Требуются дополнительные комментарии наличия одновременно научного руководителя и консультанта, хотя диссертация не находится на стыке наук.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и содержит решение важной и сложной задачи, связанной с изучением проблемы оптимального движения КА при очистке околоземного космического пространства. Основные результаты диссертации Д.А. Гришко полно представлены в его публикациях в высокорейтинговых журналах, цитируемых в Scopus, автореферат соответствует диссертации.

Считаю, что работа "Исследование схем облёта объектов крупногабаритного космического мусора на низких орбитах" удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - теоретическая механика, а ее автор – Гришко Дмитрий Александрович – заслуживает присуждения ему искомой степени.

Отзыв составил официальный оппонент

Трушляков Валерий Иванович

д.т.н., профессор, член-корреспондент Сибирского отделения

Международной академии наук высшей школы,

советник Российской академии ракетно-артиллерийской наук,

профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение», руководитель научно-

образовательного центра «Космическая экология»

ФГБУ ВО «Омский государственный технический университет».

644050, Сибирский федеральный округ, Омская область, г. Омск, проспект

Мира, д. 11, <https://www.omgtu.ru>, моб. тел. 8-913-624-50-14

E-mail: [vatrushlyakov@yandex.ru](mailto:vatrushlyakov@yandex.ru)

  
В.И. Трушляков

Подпись профессора В.И. Трушлякова заверяю

Учёный секретарь учёного совета ФГБУ ВО «Омский государственный  
технический университет»





А.Ф. Немцова