

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сазонова Василия Викторовича на тему «Математическое моделирование воздействия внешней среды на космический аппарат с изменяющейся геометрией поверхности», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Деятельность по исследованию, освоению и использованию космического пространства (далее - космическая деятельность) в Российской Федерации осуществляется в соответствии с Законом Российской Федерации от 20 августа 1993 г. N 5663-1 «О космической деятельности», а также с документами, определяющими востребованность космической деятельности для развития социально-экономической сферы и науки, с учетом планов развития других секторов экономики по обеспечению ракетно-космической промышленности необходимым сырьем, материалами и комплектующими изделиями.

К числу государственных интересов Российской Федерации в области космической деятельности отнесены, в том числе, обеспечение возможности полноценного участия в проектах международного сообщества по исследованию, освоению и использованию космического пространства, а также наращивание и использование конкурентных возможностей и преимуществ России в сфере космической деятельности, выхода России в число ведущих участников мирового рынка космических товаров и развитие внутреннего рынка таких товаров (работ и услуг).

На современном этапе освоения космического пространства космическая деятельность связана с осуществлением пилотируемых полетов, включая создание научно-технического задела для осуществления в рамках международной кооперации пилотируемых полетов.

В этом контексте важно отметить, что соискателем определена как важнейшая научно-практическая и технологическая проблема обеспечение эффективной деятельности Международной космической станции (МКС), в том числе необходимость решения задач учета воздействия внешней среды на станцию на более высоком уровне, чем это было при управлении орбитальными станциями «Салют» и «Мир». Объективно причина состоит в существенном увеличении площади внешней поверхности станции, усложнении геометрической формы поверхности, и ее изменениях в течение

полета, связанных с движением солнечных батарей (СБ) российского и американского сегментов.

В настоящее время разработка КА ведется в средах автоматизированного проектирования (САПР). Вопросы создания так называемых интерактивных геометрических моделей внешней поверхности КА, которые поддерживают изменение формы поверхности во время процесса моделирования в зависимости от различных факторов: времени, положения КА в пространстве, положения небесных тел и других КА и т.д., как аргументировано отмечает соискатель, ранее не рассматривались.

Требования к надежности работы КА приводят к необходимости того, что все разрабатываемые методы, алгоритмы и программное обеспечение должны пройти верификацию на реальных КА, совершающих и совершивших космический полет.

В этом контексте тема диссертации, целью которой является выработка общего подхода к разработке быстрых, но достаточно точных методов математического моделирования воздействия внешней среды на космический аппарат для оснащения автоматизированных рабочих мест разработчиков космической техники и специалистов центров управления полетами, способных работать в интерактивном режиме на персональном компьютере и не требующих больших вычислительных ресурсов, является безусловно актуальной.

В основе авторского подхода к решению обозначенных проблемных задач лежит использование геометрической модели внешней поверхности КА на основе применения разработанного программного модуля задания внешней поверхности КА.

С использованием предложенного подхода к построению геометрической модели внешней поверхности КА решаются задачи математического моделирования действия аэродинамического сопротивления на КА, математического моделирования выработки электроэнергии солнечными батареями КА, математического моделирования работы радиолокационной системы, установленной на борту КА.

В работе предложен новый подход к построению геометрической модели внешней поверхности КА, позволяющей задавать подвижные элементы, моделировать изменение состава КА путем добавления или удаления новых модулей. Предлагаемый подход позволяет использовать в полной модели внешней поверхности КА модели отдельных модулей из различных источников, заданных в виде набора крупных геометрических примитивов или элементов, экспортируемых из САПР.

Созданная соискателем интерактивная геометрическая модель внешней поверхности КА, использующая различные источники геометрических данных, крайне востребована предприятиями ракетно-космической отрасли отечественной промышленности.

В диссертации разработан авторский подход к созданию иерархической геометрической модели внешней поверхности КА, учитывающей возможное ее изменение с течением времени, разработка алгоритмов по генерации сеток, вычисления поверхностных интегралов и решение геометрических задач проектирования, удаления невидимых линий и поверхностей.

Соискателем разработаны алгоритмы расчета аэродинамических силы и момента, действующих на КА, совершающего орбитальный полет, а также алгоритмов математического моделирования работы СБ КА с учетом изменения внешней поверхности КА и возможного затенения СБ небесными телами и элементами конструкции КА с использованием геометрической модели внешней поверхности. Верификация разработанных моделей и программ осуществлена путем сравнения результатов моделирования с реальными данными.

Практическую значимость имеют авторские методы и алгоритмы восстановления траектории движения КК относительно ОС при сближении и стыковки по данным автономной системы навигации, а также алгоритма математического моделирования работы радиолокационной системы с активным ответом для измерения параметров движения КК относительно станции и поиска зон возможной неустойчивой работы системы.

Верификация алгоритма и программы осуществляется при помощи анализа данных с семи различных стыковок КК «Союз» и «Прогресс» с МКС.

Таким образом, создана технология решения задач математического моделирования воздействия внешней среды на КА геометрическими методами. Разработанный подход к созданию геометрической модели внешней поверхности КА позволил создать программный модуль, использующийся в различных программных комплексах математического моделирования функционирования КА и планирования космических миссий. Новая математическая модель позволила существенно увеличить период прогнозирования с высокой точностью и может способствовать разработке методов управляемого аэродинамического торможения КА, которые могут быть востребованы при управлении ДОС.

Степень достоверности полученных результатов обеспечивается использованием классических подходов к созданию математических моделей

движения КА, совершающих космический полет по околоземной орбите. Определение положения небесных тел, расчет значений геопотенциала, определение плотности атмосферы производится при помощи общеизвестных верифицированных методик. Интегрирование систем обыкновенных дифференциальных уравнений проводится явными методами типа Рунге-Кутты.

Основным методом, использованным в диссертационной работе, является математическое моделирование, при этом для моделирования исследуемого класса объектов первичным является адекватная модель поверхности КА, использующая минимально возможный объем информации, и только затем использующая адаптированные подходы к решению возникающих задач.

В качестве замечаний по автореферату следует отметить следующее.

В тексте автореферата диссертации целесообразно было бы глубже осветить центральные понятия предметной области диссертационного исследования.

В автореферате утверждается, что все предложенные в работе математические модели, алгоритмы и программное обеспечение проверены на реальных космических аппаратах и кораблях, совершивших или продолжающих космические полеты отечественные КК «Прогресс», «Союз» и др. (стр. 32). Однако реально на практике полеты на МКС осуществляют и иностранные КК Dragon, Cygnus и др. Расширения спектра исследований по стыковке как отечественных, так и иностранных космических аппаратов и кораблей позволит получить новые результаты для проектирования космической техники, управления полетами и анализа результатов космической деятельности, что важно в условиях действующей санкционной политики США и западных стран.

Отметим, что высказанные выше замечания и рекомендации, носящие характер предложений по перспективным направлениям дальнейшего исследования соискателя, только подтверждают объективность высокой оценки теоретического и научно-методического уровня проведенного научно-квалификационного исследования, результаты которого отличаются существенной научной новизной и практической значимостью.

ВЫВОД:

Как следует из системной оценки материалов автореферата, диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решены на высоком научном уровне важные народно-хозяйственные

задачи, востребованные высокотехнологичными промышленными компаниями, занимающимися проектированием, производством и эксплуатацией космической техники. Обоснованные соискателем выводы и рекомендации имеют определяющее значение для развития отечественного оборонно-промышленного комплекса.

Диссертация Сазонова Василия Викторовича полностью соответствует критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), а также требованиям, изложенным в «Изменениях, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 335 от 21 апреля 2016 года, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Старший консультант
генерального директора
Государственной корпорации
«Ростех»

Заслуженный деятель науки РФ
доктор военных наук, профессор

Н.И. Турко

Главный эксперт Научно-
технического совета
Государственной корпорации
«Ростех»

доктор физико-математических
наук, профессор

П.Г. Филиппов

2 апреля 2022 г.

