

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Игнатова Александра Ивановича** «**Динамика и управление угловым движением космического аппарата, предназначенного для проведения длительных научных экспериментов**», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин (технические науки).

Целью диссертационной работы Игнатова А.И. является решение научной проблемы, состоящей в разработке и исследовании комплекса режимов углового движения космического аппарата (КА), обеспечивающих на борту необходимые условия для проведения длительных научных экспериментов широкого спектра на околоземной орбите. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

1. Построение и реализация законов управления угловым движением КА, соответствующих цели данной работы. В качестве основных режимов углового движения КА при проведении экспериментов рассматриваются поддержание орбитальной и солнечной ориентаций в течение длительных интервалов времени.
2. Исследование установившегося углового движения КА в процессе реализации разработанных режимов управления с целью выбора параметров законов управления, обеспечивающих заданные характеристики движения.
3. Обоснованный выбор параметров схемы расположения и характеристик гироскопических органов системы управления КА, обеспечивающих реализацию построенных законов управления.
4. Оценка минимально возможного уровня квазистатических микроускорений на борту КА.

При этом, ключевым фактором в работе является именно длительность режимов, т.е. продолжительность времени невозмущенного углового движения КА в заданном режиме стабилизации. Решения первых трех задач создают практическую основу для создания системы управления, обеспечивающую длительную стабилизацию КА в инерциальном пространстве, что является весьма

актуальной задачей, поскольку это основной режим функционирования космических аппаратов различного назначения.

В качестве основных практических результатов, полученных авторами можно отметить следующие:

1. Разработана методика численного параметрического исследования устойчивости установившихся режимов угловых движений КА, близких к периодическим, основанная на аппроксимации таких движений последовательностью периодических решений модифицированных уравнений движения. Указанная методика позволяет эффективно выбирать необходимые значения параметров используемых законов управления угловым движением КА.
2. Построены законы управления режимом орбитальной ориентации КА реализуемыми с помощью системы гироскопических исполнительных органов. Построенные законы помимо поддержания заданной ориентации КА ограничивают накопление собственного кинетического момента гиросистемы. Предложена численно-аналитическая методика выбора параметров законов управления.
3. Построены законы управления режимом солнечной ориентации КА, реализуемые с помощью системы гироскопических исполнительных органов в условиях ограничения накопления гиросtatического момента и отсутствия возможности изменения положения солнечных батарей относительно корпуса КА. Такой закон управления позволяет не только поддерживать солнечную ориентацию КА на длительных интервалах времени, но и проводить разгрузку накопленного кинетического момента гиросистемы.
4. Разработан режим солнечной ориентации КА, реализуемым системой магнитных исполнительных органов при наличии постоянного гиросtatического момента и отсутствии возможности изменения положения солнечных батарей относительно корпуса КА.
6. Разработана методика выбора геометрических параметров схемы расположения и физических характеристик двигателей-маховиков, обеспечивающих реализацию предложенных режимов углового движения КА. Получены аналитические зависимости для выбора геометрических параметров системы двигателей-

маховиков, расположенных по схеме «четырехугольная пирамида» при реализации режима программных разворотов КА, а также для поддержания орбитальной и солнечной ориентации КА.

7. Предложен и обоснован способ расчета и построения особых поверхностей систем гиродинов, основанным на методе продолжения по параметру. Реализован соответствующий программно-математический комплекс, используемый при выборе геометрических параметров схемы расположения гиродинов.

Достоверность практических научных положений диссертации подтверждается соответствием результатов теоретических исследований, численного моделирования, а также сравнением с результатами, опубликованными другими авторами по схожим проблемам. Некоторые из полученных Игнатовым А.И. результатов были использованы при разработке систем ориентации различных КА создаваемых в АО «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева» и ООО «Спутникс».

Основные результаты работы отражены в 17 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Из них 11 научных статей в российских периодических изданиях, англоязычные версии которых индексируются в базах Web of Sciences и Scopus. Автором оформлено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и получено 6 актов о внедрении результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на более чем 30 всероссийских и международных научных конференциях и семинарах.

По автореферату диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Интегрирование уравнений орбитального движения проводится в Гринвичской системе координат с учетом возмущающих ускорений от аэродинамических сил и гармоник геопотенциала до 36 степени и 36 порядка. При таком составе возмущающих ускорений, для обеспечения точности вычислений, следовало бы учитывать движение экватора Земли (как минимум, прецессию и нутацию геоэкватора). Судя по автореферату, изменение ориентации геоэкватора в используемой математической модели не учитывается.
2. В выражении для ускорения $\mathbf{b}_a$ в формуле (1), вероятно, пропущен знак «-», так как оно должно быть направлено против вектора скорости.

Приведенные выше замечания не влияют на общую высокую оценку работы и полученных результатов.

Судя по автореферату диссертация «Динамика и управление угловым движением космического аппарата, предназначенного для проведения длительных научных экспериментов» соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 16.10.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Автор диссертационной работы Игнатов А.И. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика и динамика машин (технические науки).

Я, Петухов Вячеслав Георгиевич, даю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы, связанные с защитой диссертационной работы Игнатова Александра Ивановича «Динамика и управление угловым движением космического аппарата, предназначенного для проведения длительных научных экспериментов», и их дальнейшую обработку.

Директор НИИ ПМЭ МАИ,

член.-корр. РАН, д.т.н.



/В.Г. Петухов/

Сведения об организации: Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (НИИ ПМЭ МАИ), 125080, г. Москва, Ленинградское шоссе, д. 5, официальный сайт: <https://mai.ru/>, эл. почта: riame@mai.ru, тел.: 8 (499) 158-00-20.