

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального  
директора по науке – начальник НИЦ  
АО «ЛИИ им. М.М.Громова»,  
кандидат технических наук

К.В. Деев

2020 г.



### О Т З Ы В

на автореферат диссертации Евгения Владимировича Чебакова «Разработка метода определения углового положения космического аппарата на основе анализа внешних тепловых потоков», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Для решения большинства задач, возложенных на космический аппарат (КА), необходимо знание его ориентации. Определение ориентации КА производится различными приборами и датчиками, работающими на различных физических принципах. В диссертационной работе Е.В. Чебакова рассматривается метод определения углов ориентации с помощью анализа тепловых нагрузок, действующих на КА. На внешней поверхности КА устанавливаются датчики радиационных тепловых потоков, которые определяют температуру внешней поверхности КА в различных точках. Анализ распределения температуры на поверхности позволяет определить направления на основные источники тепла – на Солнце и близлежащую планету, что совместно с Кеплеровыми элементами орбиты КА дает возможность получить информацию о его ориентации. Работа Е.В. Чебакова посвящена разработке алгоритмов определения углов ориентации КА по показаниям датчиков температуры на его внешней поверхности и, безусловно, является актуальной.

В работе учитывается влияние на датчики трех потоков: прямого солнечного излучения, отраженного от планеты солнечного излучения и собственного излучения планеты. Рассматривается обратная задача теплообмена, в которой по измерениям температуры определяются направления тепловых потоков. Определение трех неизвестных углов ориентации КА выполняется с помощью метода наименьших квадратов. Вводится функционал, равный сумме квадратов разностей измеренных тепловых потоков и расчетных

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

07 12 2020

тепловых потоков, зависящих от углов ориентации. Метод наименьших квадратов приводит к нелинейной системе из трех уравнений, решение которой производится итерационно с применением метода градиентного спуска. Начальное приближение неизвестных углов ориентации выбирается случайным образом. Для поиска глобального минимума введенного функционала итерационный процесс с различными начальными значениями углов запускается несколько раз. Для каждого процесса фиксируются конечные значения углов ориентации и соответствующая величина функционала. В результате неизвестные углы ориентации КА выбираются равными конечным значениям углов в процессе с наименьшей величиной функционала.

В работе проводится анализ эффективности предложенного алгоритма определения ориентации на примере наноспутника кубической формы. Предполагается, что датчики радиационных тепловых потоков установлены на каждую грань куба. Исследуется сходимость алгоритма и его устойчивость. Сходимость демонстрируется результатами двух итерационных процессов при разных начальных значениях углов. На представленном в автореферате рисунке видна сходимость двух процессов к одним и тем же значениям углов ориентации КА. При анализе устойчивости алгоритма к измеренным тепловым потокам всех датчиков добавляются заданные погрешности. На рисунках изображены зависимости ошибок в значениях получаемых углов ориентации от величины вводимой погрешности.

Для экспериментальной апробации предложенного метода были организованы специальные испытания в термовакуумной камере. В автореферате содержатся в графическом виде результаты восстановления плотности поглощенного теплового потока для различных типов датчиков радиационных тепловых потоков. В Заключении собраны основные полученные результаты работы.

В качестве замечаний к автореферату отметим следующее.

1. В Заключении утверждается, что потенциальное время определения ориентации КА с помощью предложенного метода составляет 13 секунд. Однако в автореферате отсутствует обоснование необходимого времени работы метода для нахождения углов ориентации КА.

2. В автореферате не оговорены условия применимости предложенного метода определения ориентации КА, хотя инерционность тепловых процессов накладывает существенные ограничения на угловую скорость КА.

3. В работе вводится параметр  $j$  – количество рестартов итерационного процесса для получения глобального минимума функционала  $J$ , но не говорится о величине введенного параметра. Возникает вопрос, при выборе случайным образом начальных значений углов ориентации в каждом из  $j$  рестартов с какой вероятностью полученное минимальное значение функционала  $J$  совпадает с его глобальным минимумом?

4. В автореферате содержатся оформительские ошибки. Например, в формулах (1.1), (1.5) присутствует параметр  $\sigma$ , который в тексте не определяется; на рис. 3.2 не указаны единицы измерения параметров.

Диссертационная работа, судя по автореферату, представляет собой завершенное научное исследование. Разработан метод определения углового положения космического аппарата на основе анализа внешних тепловых потоков. Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Чебаков Евгений

Владимирович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Начальник отделения  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник



И.А. Копылов

Старший научный сотрудник,  
Кандидат технических наук



В.П. Болин

Копылов Игорь Анатольевич, д.т.н., специальность 05.07.07 – Контроль и испытание летательных аппаратов и их систем,  
начальник НИО-9 НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова»,  
140180 г. Жуковский, Московская обл., ул. Гарнаева д.2А  
Телефон: (495) 556-56-43

Болин Вячеслав Павлович, к.т.н., специальность 05.07.09 – Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов,  
старший научный сотрудник НИО-9 НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова»,  
140180 г. Жуковский, Московская обл., ул. Гарнаева д.2А  
Телефон: (495) 556-56-43

Деев Константин Валерьевич, к.т.н., специальность 20.02.16 – Системы контроля и испытания вооружения и военной техники, военная метрология,  
первый заместитель генерального директора по науке –  
начальник НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова»,  
140180 г. Жуковский, Московская обл., ул. Гарнаева д.2А  
Телефон: (495) 556-55-58

Сотрудник  
В.А. Деев  
09.12.2020