

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ СПУТНИКА «БИОН М-1» СРЕДСТВАМИ АППАРАТУРЫ ГРАВИТОН

В.И. Абрашкин¹, К.Е. Воронов², И.В. Пияков², Ю.Я. Пузин¹,
В.В. Сазонов³, Н.Д. Сёмкин², С.Ю. Чебуков³

¹ ОАО «Ракетно-космический центр «Прогресс», Самара

² Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С.П. Королева
(Национальный исследовательский университет), Самара, Россия

³ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва

Автоматизированное рабочее место ГРАВИТОН создавалось как универсальное средство анализа микрогравитационной обстановки на космических аппаратах научного назначения, создаваемых в ОАО «Ракетно-космический центр «Прогресс». АРМ ГРАВИТОН обеспечивает как оперативный анализ во время полета КА посредством обработки телеметрической информации, получаемой с борта, так и послеполетную обработку всех имеющихся данных, позволяющих реконструировать микрогравитационную обстановку во время полета.

Во время полета КА «Бион-М» № 1 с помощью АРМ ГРАВИТОН обрабатывалась следующая ТМ информация: 1) измерения фазового вектора орбитального движения, выполняемые аппаратурой спутниковой навигации; 2) измерения угловой скорости КА, получаемые от его системы управления движением; 3) измерения напряженности магнитного поля Земли (МПЗ), выполняемые бортовой частью аппаратуры ГРАВИТОН. Ниже описана методика и некоторые результаты реконструкции вращательного движения КА «Бион-М» № 1.

Реконструкция вращательного движения выполнялась по измерениям угловой скорости и напряженности МПЗ. Методика реконструкции основана на кинематических уравнениях вращательного движения твердого тела. В рамках этой методики данные измерений обоих типов, собранные на некотором отрезке времени, обрабатываются совместно. Измерения угловой скорости интерполируются кусочно-линейными функциями времени. Узлы интерполяции – моменты измерений, образующие равномерную сетку с шагом 12с. Эти функции подставляются в кинематические уравнения для кватерниона ориентации приборной системы координат КА. Полученные таким образом уравнения представляют собой кинематическую модель вращательного движения. Решение этих уравнений, реконструирующее фактическое движение, находится из условия наилучшей (в смысле метода наименьших квадратов) аппроксимации данных измерений вектора напряженности МПЗ с его расчетными значениями. Методика успешно испытана на данных измерений указанных типов, выполненных на КА «Фотон-12», «Фотон М-2» и «Фотон М-3» [1 – 3], однако тогда использовался другой способ аппроксимации измерений угловой скорости.

Примеры реконструкции движения КА «Бион М» № 1 приведены на рис. 1, 2. Рис. 1 иллюстрирует орбитальную ориентацию КА, рис. 2 – его одноосную солнечную ориентацию. Верхние правые графики на рисунках иллюстрируют интерполяцию измерений угловой скорости. Указанные на рисунках компоненты угловой скорости ω_1 , ω_2 и ω_3 , относятся к приборной системе координат КА. Графики суть ломаные, звенья которых соединяют точки, отвечающие соседним по времени данным измерений. Нижние графики на обоих рисунках иллюстрируют построенную аппроксимацию магнитных измерений. На левых графиках в каждой системе координат приведены две кривые. Одна из них выражает расчетную зависимость соответствующей компоненты МПЗ в приборной системе координат КА, другая – ломаная, звенья которой соединяют точки, отвечающие соседним по времени измерениям. Измерения пересчитаны в приборную систему с учетом поправок за постоянные смещения и

сдвиг времени. Ломаные и расчетные кривые практически совпадают, поэтому для иллюстрации ошибок аппроксимации на правых нижних графиках представлены их разности.

Верхние левые графики на рисунках иллюстрируют движение КА. На рис. 1 α_1 , α_2 и α_3 – углы поворота приборной системы координат относительно ее номинального положения вокруг осей 1, 2 и 3 (α_1 – крен, α_2 – рысканье, α_3 – тангаж). Эта реконструкция выполнена для проверки методики. Рис. 2 иллюстрирует одноосную солнечную ориентацию КА. Здесь α и β (верхние левые графики) – это углы отклонения оси 2 приборной системы координат КА (нормали к плоскости солнечных батарей) от направления на Солнце. Они отсчитываются в перпендикулярных плоскостях, пересекающихся по прямой «Земля – Солнце». Плоскость отсчета угла β содержит ось 3 гринвичской системы координат. Направление отсчета этого угла – на север, направление отсчета угла α – на восток. Функция $\chi(t)$ характеризует тень Земли: в тени $\chi < 0$, на свету $\chi > 0$. Горизонтальная прямая рядом с этим графиком задает значение $\chi = 0$. Как видно из графиков углов α и β , ошибка солнечной ориентации КА на представленных отрезках данных была допустимой – меньше 5° .

В подписях к рисункам приведены оценка τ смещения шкалы времени магнитных измерений относительно бортовой шкалы времени, оценки постоянных систематических ошибок $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ (смещений нуля) в этих измерениях, и оценки стандартного отклонения σ ошибок в измерениях отдельной компоненты напряженности МПЗ. Смещения нуля указаны в приборной системе координат. Стандартные отклонения ошибок определения начальных условий реконструированных движений, если характеризовать их вектором бесконечно малого поворота приборной системы координат, составляют примерно 0.5° по каждой компоненте этого вектора. Более подробно результаты реконструкции вращательного движения «Биона М» №1 представлены в [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-01-00423).

Список литературы

1. *Абрашкин В.И., Волков М.В., Воронов К.Е., Егоров А.В., Казакова А.Е., Панкратов В.А., Сазонов В.В., Семкин Н.Д. Определение вращательного движения спутника по данным измерений его угловой скорости и напряженности магнитного поля Земли с использованием кинематической модели движения. Космические исследования, 2005, т. 43, № 4, с. 295-305.*
2. *Абрашкин В.И., Богоявленский Н.Л., Воронов К.Е., Казакова А.Е., Панкратов В.А., Сазонов В.В., Семкин Н.Д., Стратилатов Н.Р. Определение вращательного движения спутника «Фотон М-2» по данным измерений его угловой скорости и напряженности магнитного поля Земли с использованием кинематической модели движения. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, № 60, 2006.*
3. *Бойзелинк Т., Ван Бавинхов К., Абрашкин В.И., Казакова А.Е., Панкратов В.А., Сазонов В.В. Определение вращательного движения спутника «Фотон М-3» по данным измерений его угловой скорости и напряженности магнитного поля Земли. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2009, № 70.*
4. *Абрашкин В.И., Воронов К.Е., Пяков И.В., Пузин Ю.Я., Сазонов В.В., Семкин Н.Д., Чебуков С.Ю. Определение вращательного движения спутника Бион М-1 средствами аппаратуры ГРАВИТОН. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, № 2, 2014.*

Секция 2. Математическое обеспечение космических экспериментов

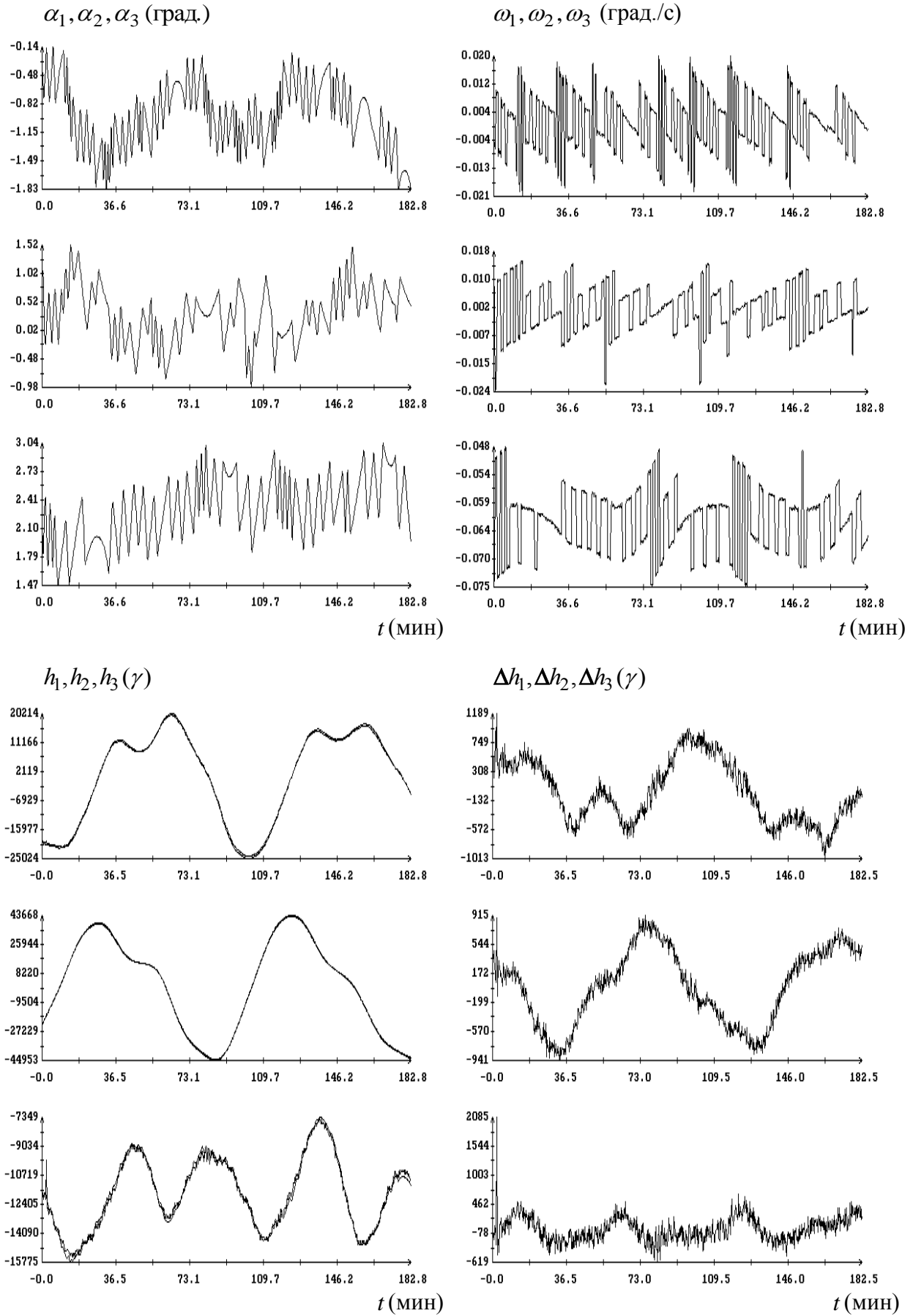


Рис. 1 Движение КА в орбитальной ориентации. Момент $t = 0$ на графиках отвечает 12:05::31.7 UTC 21.04.2013, $\tau = -63.4$ с, $\Delta_1 = 4765\gamma$, $\Delta_2 = 1093\gamma$, $\Delta_3 = -544\gamma$, $\sigma = 409\gamma$.

Секция 2. Математическое обеспечение космических экспериментов

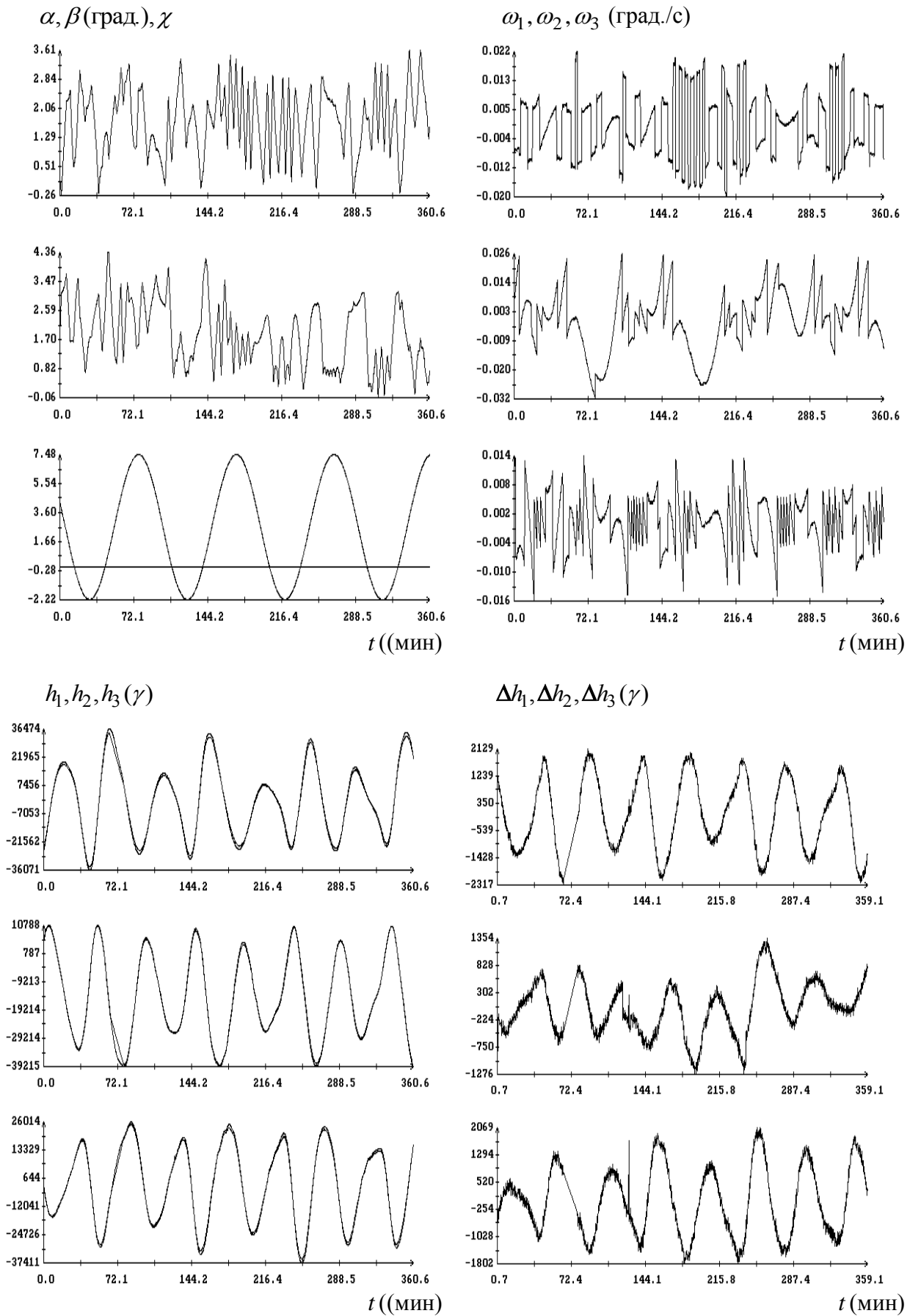


Рис. 2. Движение КА в солнечной ориентации. Момент $t = 0$ на графиках отвечает 22:07:07.7 UTC 14.05.2013, $\tau = -55.5$ с, $\Delta_1 = 5571\gamma$, $\Delta_2 = 1190\gamma$, $\Delta_3 = -791\gamma$, $\sigma = 926\gamma$.