

УДК 629.78.05

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ
ПРИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ
ДВИЖЕНИЕМ В БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

© 2012 А. С. Галкина, А. И. Мантуров, Н. И. Пыринов, В. Е. Юрин

ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

Рассматриваются вопросы формирования и реализации программ управления угловым движением современного космического аппарата дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ), особенности их параметризации для различных участков полёта на интервале зондирования в бортовом комплексе управления КА. Систематизированы условия расчёта программы управления, условия её параметризации.

Программа управления угловым движением, организация управления проведением съёмки, условия зондирования.

Степень интеллектуализации бортовых комплексов управления (БКУ) современных космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) постоянно растёт одновременно с расширением круга решаемых БКУ задач. Вместе с тем сложность этих задач по-прежнему не позволяет проводить расчёты баллистических параметров, определяющих угловое движение КА на участках зондирования, в реальном масштабе времени. Рассмотрим особенности реализации управления угловым движением современного КА ДЗЗ на участках зондирования.

На современных КА ДЗЗ аппаратура зондирования (АЗ) жёстко связана с конструкцией КА. Наведение АЗ на земную поверхность, отслеживание оптической осью АЗ центральной линии каждого маршрута съёмки, выполнение условий зондирования – всё это обеспечивается за счёт углового движения самого КА. Управление угловым движением КА в обеспечении реализации целевых задач осуществляется в соответствии с программой управления угловым движением (ПУУД) КА [1,2], которая рассчитывается в БКУ и определяет положение программной системы координат (ПСК) КА в инерциальной системе координат (ИСК).

Принципы формирования ПУУД КА, состав ИД – характеристик маршрутов – для расчёта ПУУД КА на участках зондирования аналогичны принятым для базового КА «Ресурс-ДК1» и освещены в работах [1-4]. Реализуемые виды съёмки и особенности алгоритмов расчёта ПУУД КА на маршрутах подробно описаны в [4].

Предполагается, что в БКУ реализован программно-координатный метод управления КА [1-3], в соответствии с которым расчёт параметров, определяющих программу управления угловым движением КА ДЗЗ, проводится в БКУ на подготовительном участке режима зондирования. Основной вычислительный метод, используемый при расчёте ПУУД КА – численное пошаговое интегрирование. На этом этапе параметры углового движения КА параметризуются в виде аналитических гладких функций. Дальнейший расчёт параметров ПУУД КА в БКУ и непосредственно реализация программного углового движения КА на участке зондирования проводятся по параметризованным законам управления, что говорит о важности выбора алгоритмов параметризации. Результаты методического обоснования алгоритмов параметризации параметров ПУУД КА приведены в статье.

На каждом витке орбитального полёта КА ДЗЗ можно выделить следующие участки полёта (рис. 1):

- участок ориентации КА в орбитальной системе координат (ОСК), в течение которого целевые задачи не выполняются;
- участок получения информации зондирования, включающий в себя интервалы съёмки земной поверхности – мар-

шруты съёмки, интервалы решения функциональных задач АКСО (астроконтроль согласования осей), интервалы перенацеливания между участками работы АЗ – межмаршрутные интервалы (ММИ), переходные участки от ориентации в ОСК к первому участку работы АЗ и от последнего участка работы АЗ к ориентации в ОСК.

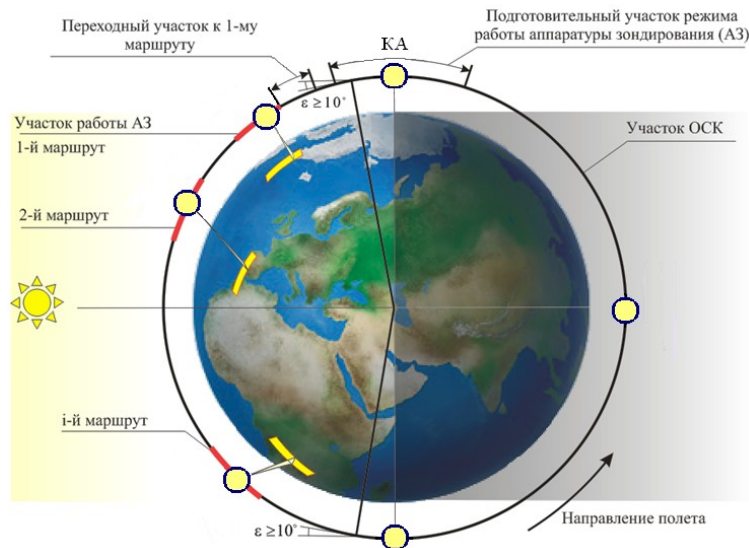


Рис. 1. Участки полёта КА

Параметры, определяющие программу управления, рассчитываются в БКУ как функции изменения углов тангажа, крена и рыскания $\{\vartheta(t), \gamma(t), \psi(t)\}$. Они имеют наглядный физический смысл и однозначно определяют угловое движение ПСК в ИСК – ПУУД КА.

Для каждого типа функциональных задач выделяются специфические условия расчёта программы управления угловым движением КА. Точность их выполнения определяет выбор вычислительных алгоритмов параметризации программы управления угловым движением. Сразу отметим, что требования по точности наведения АЗ на земную поверхность исключают возможность использования алгоритмов аппроксимации параметров ПУУД КА. Необходимое условие расчёта ПУУД КА – непрерывность параметров углового движения: углов, угловых скоростей и ускорений, определяющих движение ПСК КА в ИСК. Стыки перечис-

ленных участков и интервалов внутри них – внешние узлы интерполяции параметров программы управления. Внутренние узлы интерполяции определяются для каждого участка спецификой условий расчёта программы управления. Рассмотрим их подробнее.

1. При азимутальной съёмке маршрутов (рис. 2) должны выполняться следующие условия зондирования:

а) отсутствие поперечного сдвига изображения для центральной линии визирования (ЦЛВ) $W_{\text{ЗП}}/D = 0$;

б) отсутствие продольного сдвига изображения для ЦЛВ, которое достигается для ЦЛВ постоянством параметра продольного бега изображения для ЦЛВ $W_{\text{ХП}}/D = (W_{\text{ХП}}/D)_{\text{ЗЛД}} = \text{const}$,

где $W_{\text{ХП}}$, $W_{\text{ЗП}}$ – проекции вектора скорости бега изображения на маршруте \bar{W} для ЦЛВ на оси ПСК $O\bar{X}_{\text{П}}$ и $O\bar{Z}_{\text{П}}$ соответственно.

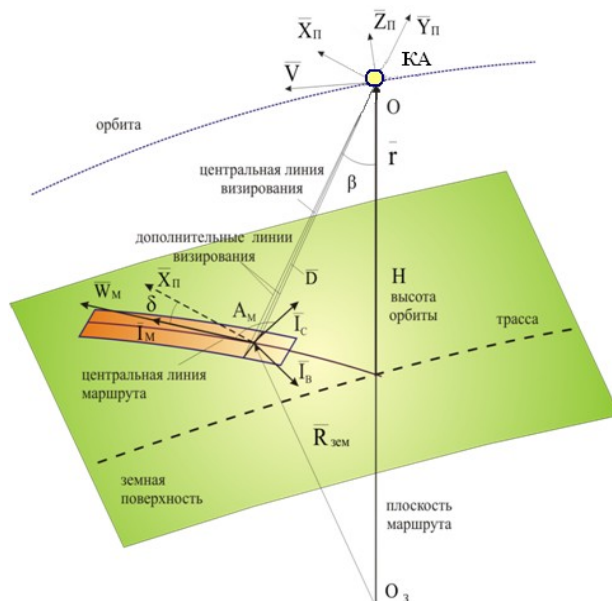


Рис. 2. Геометрия азимутальной съёмки

Кроме того, на маршрутах должны учитываться ограничения СУД по величине угловой скорости $\bar{\omega}(t)$ и ускорения $\bar{\epsilon}(t)$ ПСК относительно ИСК, а также по величине углов отклонения ПСК в ОСК:

$$\begin{aligned} |\bar{\omega}(t)| &\leq \omega_{\text{доп}}, |\bar{\epsilon}(t)| \leq \epsilon_{\text{доп}}, \\ |\bar{\xi}(t)| &\leq \xi_{\text{доп}}, \\ |\vartheta(t)| &\leq 60^\circ, |\gamma(t)| \leq 60^\circ, |\psi(t)| \leq 70^\circ. \end{aligned} \quad (1)$$

Характеристики законов изменения углов тангажа, крена и рыскания на маршрутах при ограничениях (1) позволяют интерполировать их во всём диапазоне изменения исходных данных степенными функциями, в том числе степенными сплайнами. В сравнении с другими классами функций восстановление параметров ПУУД КА после интерполяции степенными функциями проводится в БКУ наиболее быстро.

Основная задача при выборе параметров интерполяции степенными функциями – шага, степени, узлов интерполяции – обеспечить максимальную точность выполнения условий расчёта ПУУД КА:

- рассчитанная величина параметра продольного бега изображения $W_{ХП}/D$ для ЦЛВ (рассчитывается баллистическим алгоритмом по ранее сформированной ПУУД КА на участке зондирования)

должна выдерживать постоянное значение;

- рассчитанное значение параметра поперечного бега изображения $W_{ЗП}/D=0$ для ЦЛВ (рассчитывается баллистическим алгоритмом по ранее сформированной ПУУД КА на участке зондирования).

Точность формирования ПУУД КА на участке зондирования оценивается величиной отклонения значений параметров продольного и поперечного бега изображения ($W_{ХП}/D$ и $W_{ЗП}/D$), рассчитанных баллистическим алгоритмом по сформированной ПУУД КА, от заданных. Допустимая погрешность для $W_{ХП}/D$ не должна превышать 0,2%.

Некоторые примеры законов изменения углов тангажа, крена и рыскания на маршрутах приведены на рис. 3, 5, 7. Результаты оценки точности выполнения условий интерполяции в зависимости от параметров интерполяции для параметров ПУУД КА, приведённых на рис. 3, 5, 7, в виде процентного отклонения значения $W_{ХП}/D$ от заданного при различных способах интерполяции приведены на рис. 4, 6, 8, соответственно.

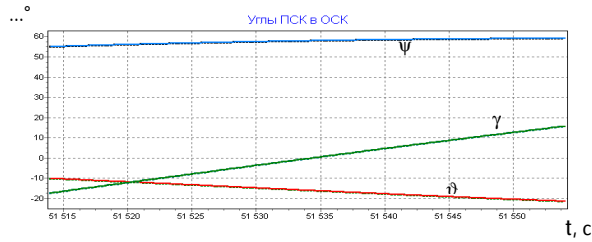


Рис. 3. Изменение углов тангажа, крена и рыскания при азимутальной съёмке маршрута длительностью 40 с, с относительным азимутом $A_{отн} = -60^\circ$

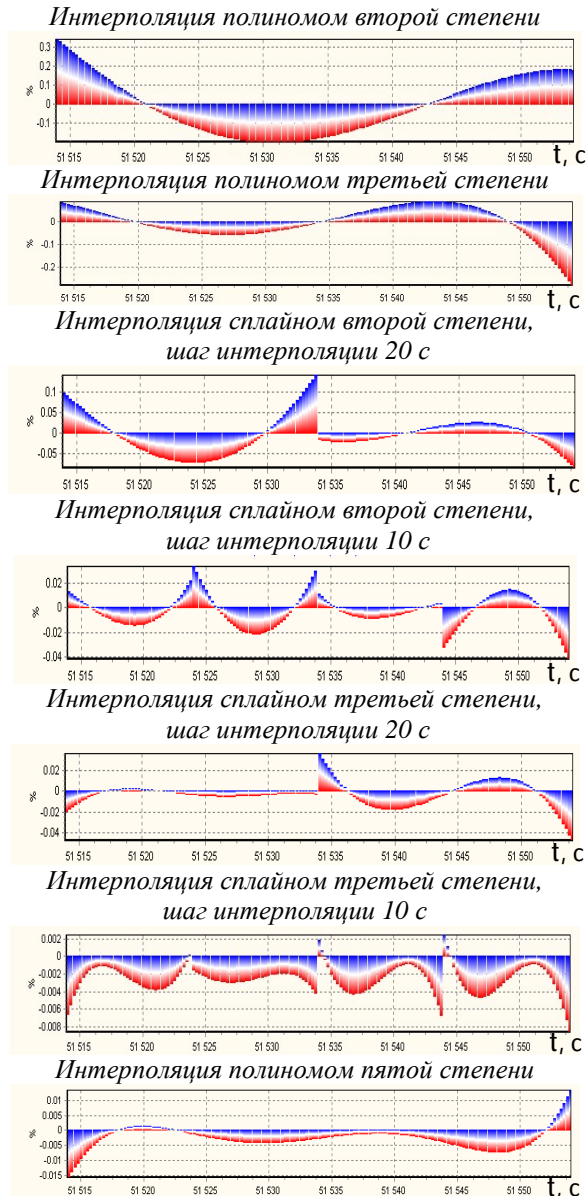


Рис. 4. Отклонение значения параметра продольного бега изображения W_{XIV}/D от заданного

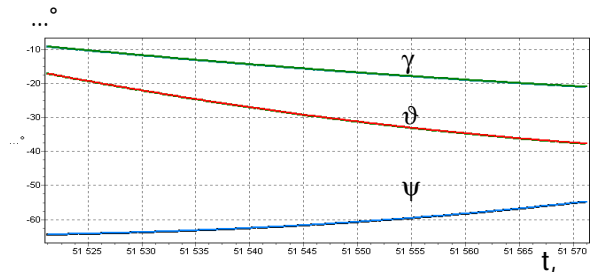


Рис. 5. Изменение углов тангажа, крена и рыскания при азимутальной съёмке маршрута с минимизацией параметра W_{XIV}/D длительностью 50 с, с относительным азимутом $A_{отн} = 60^\circ$

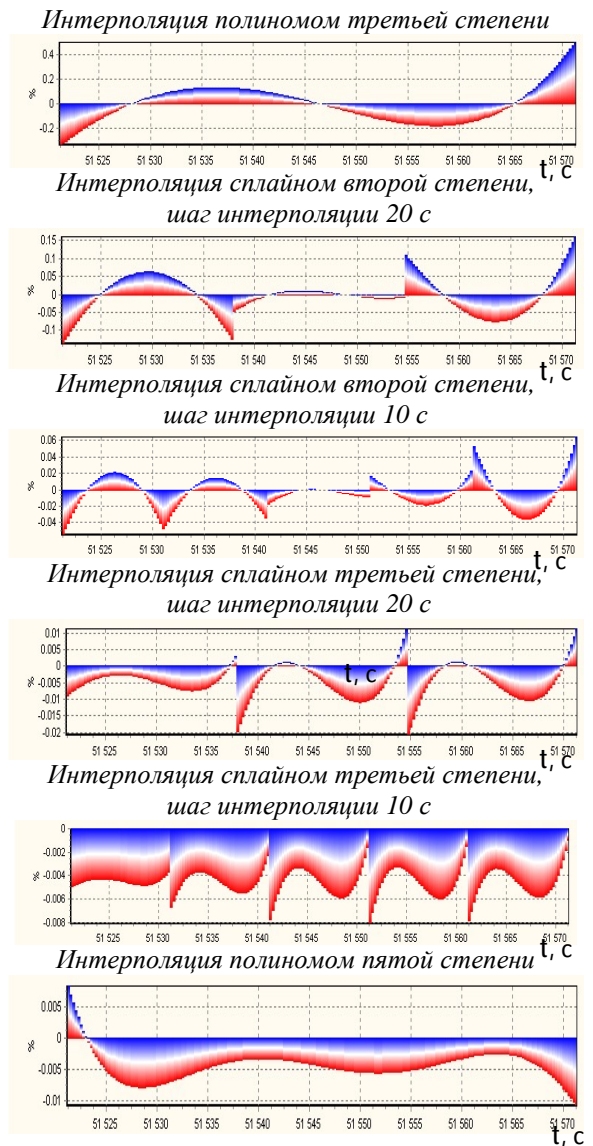


Рис. 6. Отклонение значения параметра продольного бега изображения W_{XIV}/D от заданного

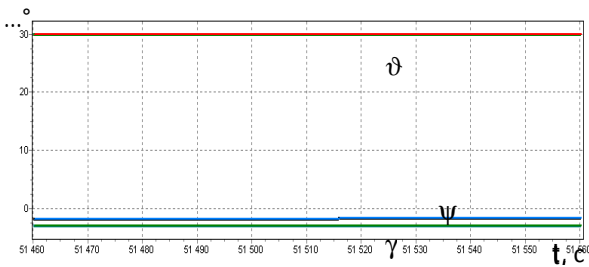


Рис. 7. Изменение углов тангажа, крена и рыскания при съёмке маршрута с постоянными углами тангажа и крена длительностью 100 с

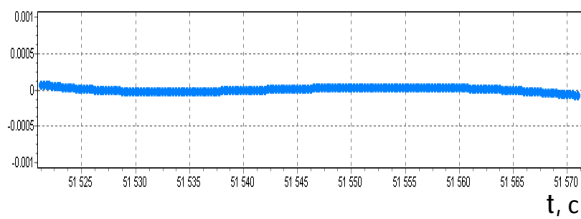


Рис. 8. Изменение значения параметра поперечного бега изображения $W_{ZП}/D$ при интерполяции полиномом второй степени

Величина значения параметра поперечного бега изображения $W_{ZП}/D$ для всех вариантов интерполяции не превышает 10^{-4} 1/с.

При съёмке эквидистантных маршрутов должно выполняться только условие зондирования а).

Одно из важных ограничений реализации в БКУ того или иного алгоритма интерполяции параметров ПУУД КА – объём памяти для хранения результатов расчёта. Кроме того, при выборе алгоритма требуется учитывать точность, реализуемую БВС. Если с точки зрения точности выполнения условий расчёта ПУУД КА предпочтительнее выглядят алгоритмы интерполяции высоких степеней и сплайн-функции с малым шагом интерполяции, то с точки зрения реализации в БКУ предпочтительнее алгоритм интерполяции сплайн-функциями степени не выше третьей с шагом интерполяции 20 с. При съёмке эквидистантных маршрутов с постоянными углами тангажа и крена функция изменения угла рыскания может интерполироваться полиномом второй степени.

2. На интервалах решения функциональных задач АКСО проводится съёмка звёздного неба, при которой БКУ должен выдерживать заданную угловую скорость КА в ИСК $|\bar{\omega}(t)| \approx 0,0025$ радиан/с. Угловое положение на начало участка АКСО задаётся в составе исходных данных.

Для интервалов АКСО $[t_{НФЗi}, t_{КФЗi}]$, $i=1, \dots, N$ (N – общее количество функциональных задач на участке получения информации зондирования), как и для маршрутов съёмки, параметры углового движения ПСК в ОСК – значения углов тангажа ϑ , крена γ и рыскания ψ – рассчитываются в БКУ с заданным шагом по времени, после чего интерполируются дважды непрерывно-дифференцируемыми степенными сплайн-функциями $\vartheta(t)$, $\gamma(t)$, $\psi(t)$, $t \in [t_{НФЗi}, t_{КФЗi}]$, $i=1, \dots, N$.

На интервалах АКСО должны учитываться ограничения по величине углов отклонения ПСК в ОСК:

$$|\vartheta(t)| \leq 180^\circ, |\gamma(t)| \leq 60^\circ, |\psi(t)| \leq 180^\circ. \quad (2)$$

По результатам проведённой оценки для интерполяции параметров ПУУД КА на участке АКСО с учётом ограничений (2) достаточно точности, предоставляемой полиномами третьей степени.

3. На участке ориентации КА в ОСК углы тангажа, крена и рыскания КА тождественно равны нулю.

4. На участках перенацеливания АЗ между интервалами решения функциональных задач – маршрутами съёмки, участками АКСО или участками ориентации в ОСК – $[t_{КФЗi-1}, t_{НФЗi}]$, $i=1, \dots, N$ – параметры углового движения ПСК в ОСК определяются, исходя из обеспечения непрерывности параметров ПУУД КА вплоть до $\bar{\epsilon}(t)$ на этих интервалах, а также ограничений СУД по угловой скорости $\bar{\omega}(t)$ и ускорению $\bar{\epsilon}(t)$ ПСК относительно ИСК:

$$|\bar{\omega}(t)| \leq \omega_{\text{доп}}, |\bar{\epsilon}(t)| \leq \epsilon_{\text{доп}}, |\ddot{\bar{\epsilon}}(t)| \leq \ddot{\epsilon}_{\text{доп}}. \quad (3)$$

Другими словами, ПУУД КА на интервалах $[t_{кФзi-1}, t_{нФзi}]$, $i=1, \dots, N$ является решением двухточечной краевой задачи в классе дважды непрерывно-дифференцируемых степенных сплайн-функций, удовлетворяющих ограничениям (3).

Краевыми условиями являются параметры программы управления угловым движением в момент окончания очередной задачи (маршрута, АКСО либо участка ориентации в ОСК) $t_{кФзi-1}$ и в момент начала следующей задачи (маршрута, АКСО либо участка ориентации в ОСК) $t_{нФзi}$, $i=1, \dots, N$, задаваемые в ОСК в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{нММИ} = t_{кФзi-1}, t_{кММИ} = t_{нФзi}, \\ \varphi_{lнММИ} = \varphi_l(t_{кФзi-1}); \\ \dot{\varphi}_{lнММИ} = \dot{\varphi}_l(t_{кФзi-1}); \\ \ddot{\varphi}_{lнММИ} = \ddot{\varphi}_l(t_{кФзi-1}); \\ \varphi_{lkММИ} = \varphi_l(t_{нФзi}); \\ \dot{\varphi}_{lkММИ} = \dot{\varphi}_l(t_{нФзi}); \\ \ddot{\varphi}_{lkММИ} = \ddot{\varphi}_l(t_{нФзi}), \end{array} \right. \quad (4)$$

где $\varphi_l = \vartheta$; $\varphi_2 = \gamma$; $\varphi_3 = \psi$;
 $i = 1, N, l = 1, 2, 3$.

Простейшим решением поставленной задачи является полином пятой степени, коэффициенты которого находятся из системы уравнений (4). Основным недостатком такого решения – его неустойчивость при $|t_{кММИ} - t_{нММИ}| > 60$ с. Для устранения указанного недостатка на изделии «Ресурс-ДК1» интервал перенацеливания разбивается на три участка: «разгона», движения с постоянной угловой скоростью и «торможения», на которых ПУУД КА описывается сплайн-функцией пятой степени (рис. 9).

Как видно из рисунка, основная цель разбиения – спрямление полинома пятой степени на участке $[t_1, t_2] \in [t_{нММИ}, t_{кММИ}]$.

Тем не менее, даже с учётом введения участка движения с постоянной угловой скоростью, управление угловым движением КА на ММИ по программе управления, основанной на полиномах пятой степени, далеко от оптимального, а ограничения (3) не учитываются при расчёте

параметров ПУУД КА. Их выполнение проверяется для уже рассчитанной ПУУД КА.

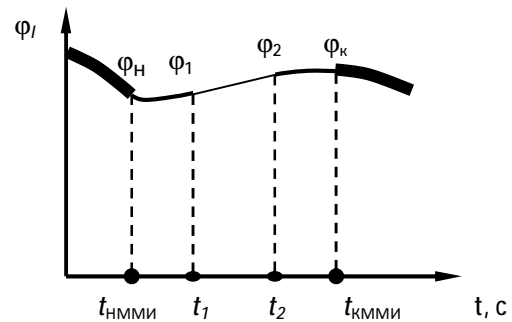


Рис. 9. Разбиение ММИ на участки «разгона», движения с постоянной угловой скоростью и «торможения»

Стремление увеличить эффективность системы управления КА на участках перенацеливания между интервалами решения функциональных задач обусловило поиск решения поставленной двухточечной краевой задачи в классе кубических полиномиальных сплайнов.

Как и для сплайнов пятой степени, для кубического интерполяционного сплайна в общем случае выделяются три участка – «разгона», движения с постоянной угловой скоростью и «торможения». Расчёт параметров углового движения на ММИ начинается с построения кусочно-линейной непрерывной функции $\Phi_l(t) \in C(\mathcal{R})$, интегрируя которую, получим $\varphi_l(t), \varphi_l(t), l=1, 2, 3$ (рис. 10).

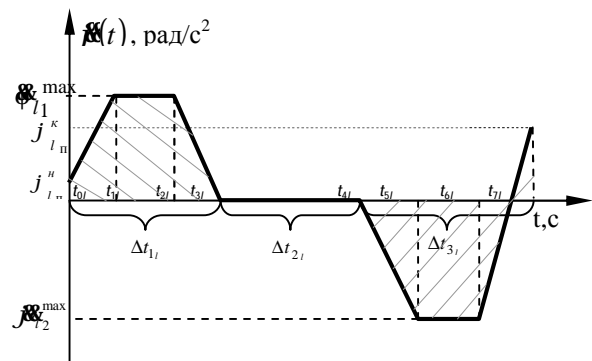


Рис. 10. Общий вид $\Phi(t)$ на ММИ

Участки разгона и торможения Δt_{1l} и Δt_{3l} разбиты каждый на три промежутка, причём на промежутках $[t_{1b}, t_{2l}]$ и $[t_{5b}, t_{6l}]$ движение совершается с ускорением, не превышающим максимально допустимое: $|\ddot{\varphi}_{l1}^{\max}| \leq \varepsilon_{\text{доп}}$, $|\ddot{\varphi}_{l2}^{\max}| \leq \varepsilon_{\text{доп}}$. На участке $[t_{3b}, t_{4l}]$ ускорение равно нулю, то есть угловые скорости в ОСК будут постоянны и равны некоторой величине $\varphi_l^{cp} = \frac{\varphi_{l\text{КМММ}} - \varphi_{l\text{НМММ}}}{t_{7l} - t_{0l}}$, $l=1,2,3$, которая впоследствии подлежит уточнению.

Продолжительность участков $[t_{0b}, t_{1l}]$, $[t_{1b}, t_{2l}]$, $[t_{2b}, t_{3l}]$ и $[t_{4b}, t_{5l}]$, $[t_{5b}, t_{6l}]$, $[t_{6b}, t_{7l}]$, как и значения $\ddot{\varphi}_{l1}^{\max}$, $\ddot{\varphi}_{l2}^{\max}$, определяются из ограничений (3) и краевых условий (4). При этом выполнение ограничений (3) обеспечивается на этапе «построения $\ddot{\varphi}(t)$ ». Площадь заштрихованных на рис. 10 фигур соответствует изменению угловой скорости $\ddot{\varphi}_l(t)$, $l=1,2,3$ на участках $[t_{0b}, t_{3l}]$ и $[t_{4b}, t_{7l}]$:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_l(t) \Big|_{t_{0l}}^{t_{3l}} = \int_{t_{0l}}^{t_{3l}} \ddot{\varphi}_l(t) dt ; \\ \ddot{\varphi}_l(t) \Big|_{t_{3l}}^{t_{4l}} = 0 ; \\ \ddot{\varphi}_l(t) \Big|_{t_{4l}}^{t_{7l}} = \int_{t_{4l}}^{t_{7l}} \ddot{\varphi}_l(t) dt . \end{cases} \quad (5)$$

Аналогично

$$\begin{cases} \varphi_l(t) \Big|_{t_{0l}}^{t_{3l}} = \int_{t_{0l}}^{t_{3l}} \ddot{\varphi}_l(t) dt ; \\ \varphi_l(t) \Big|_{t_{3l}}^{t_{4l}} = \varphi_l^{cp} \cdot (t_{4l} - t_{3l}) ; \\ \varphi_l(t) \Big|_{t_{4l}}^{t_{7l}} = \int_{t_{4l}}^{t_{7l}} \ddot{\varphi}_l(t) dt . \end{cases} \quad (6)$$

Из систем (5)-(6) уточняется значение угловой скорости φ_l^{cp} на участке $[t_{3b}, t_{4l}]$, после чего проводится уточнение параметров t_{jb} , $\ddot{\varphi}_{1l}^{\max}$ и $\ddot{\varphi}_{2l}^{\max}$, $j=1, \dots, 7$, $l=1, 2, 3$.

Сравнение законов изменения параметров программы управления на ММИ

для двух вариантов исходных данных приведено на рис. 11-14.

Эффективность использования кубических интерполяционных сплайнов при решении краевой задачи (4) выше, поскольку их применение позволяет не только учесть ограничения (3) при построении $\varphi_l(t)$, $l=1,2,3$, но и формировать оптимальные законы управления в рамках ограничений (3).

Таким образом, в работе выделены участки полёта КА, для каждого из них показан возможный характер изменения параметров программы управления, проведена оценка точности выполнения условий расчёта ПУУД КА при различных вариантах параметризации параметров программы управления, сформулированы критерии оценки точности интерполяции для различных участков полёта КА сплайн-функциями различного порядка, приведено обоснование выбора параметров интерполяции в обеспечении заданной точности. Показана достаточность использования степенных сплайн-функций при параметризации ПУУД КА.

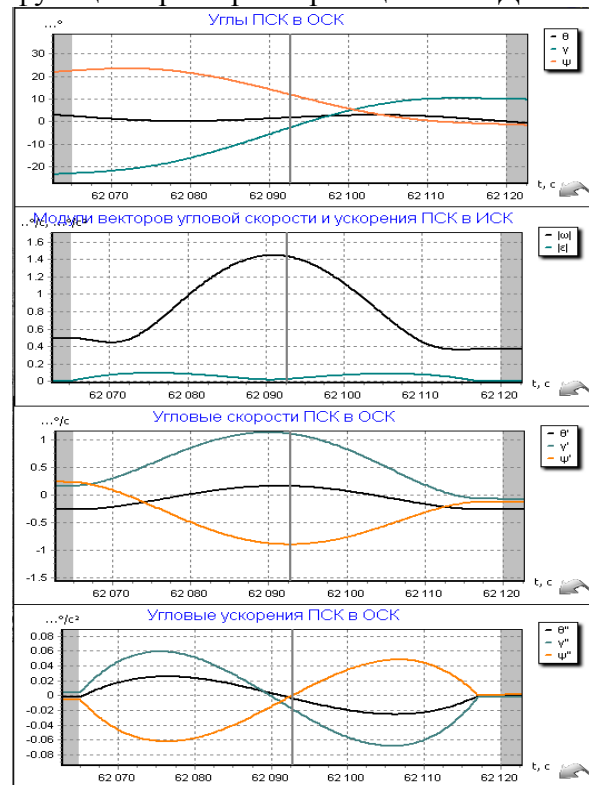


Рис. 11. Пример изменения параметров ПУУД КА на ММИ (вариант 1) при использовании полинома пятой степени

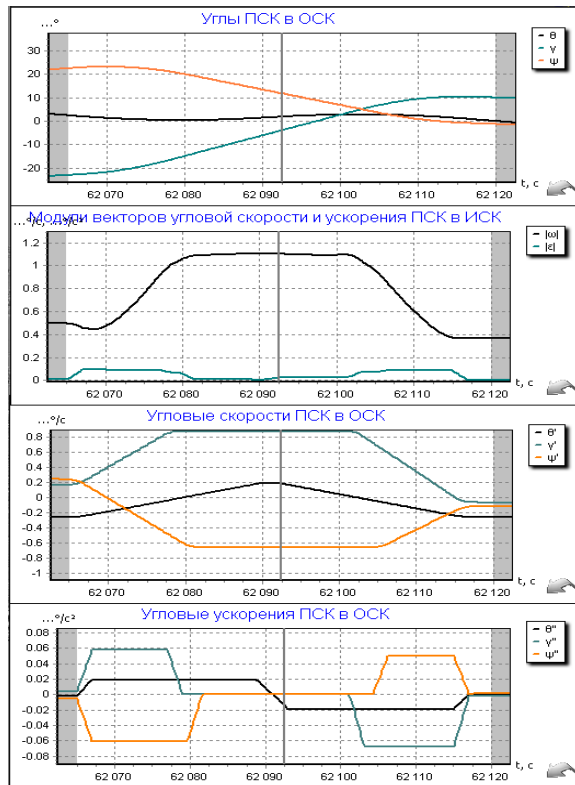


Рис. 12. Пример изменения параметров ПУУД КА на ММИ (вариант 1) при использовании кубического сплайна

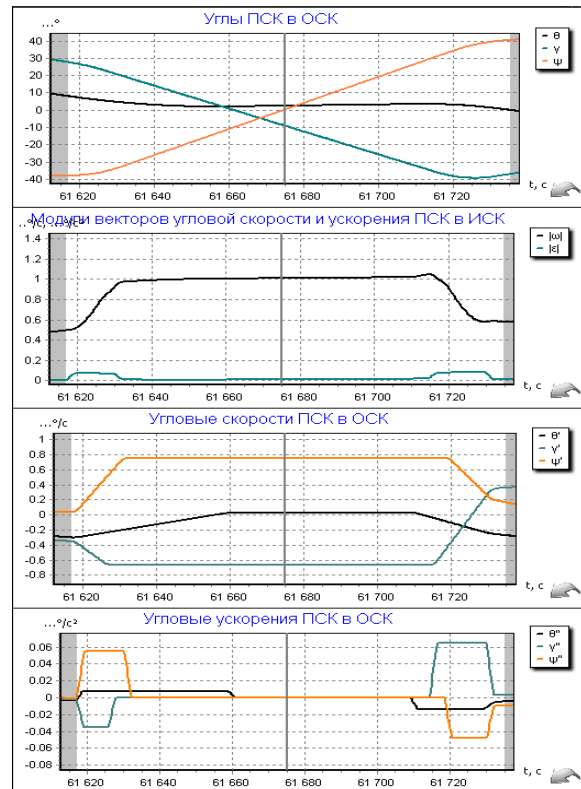


Рис. 14. Пример изменения параметров ПУУД КА на ММИ (вариант 2) при использовании кубического сплайна

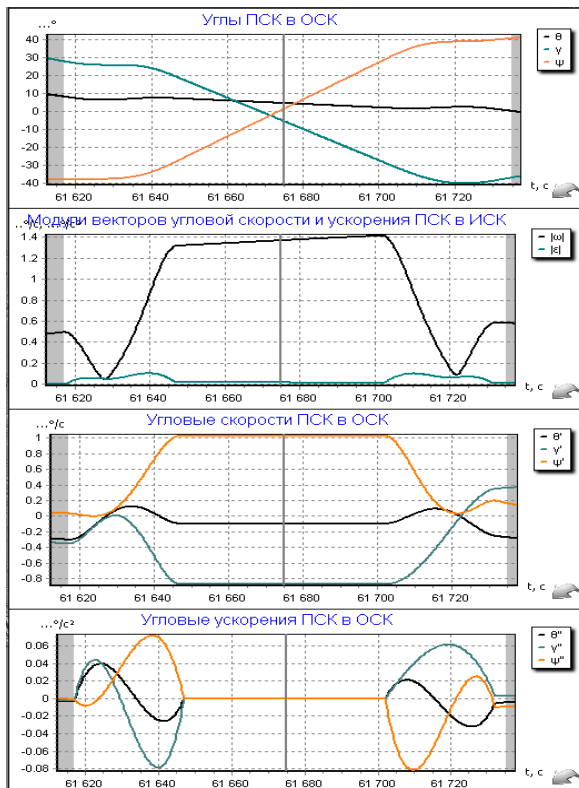


Рис. 13. Пример изменения параметров ПУУД КА на ММИ (вариант 2) при использовании сплайн-функции пятой степени

Библиографический список

1. Управление угловым движением КА ДЗЗ [Текст] / Г. П. Аншаков, А. И. Мантуров, Ю. М. Усталов [и др.] // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2006. – №6. – С. 12-18.
2. Интегрированная система управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования Земли [Текст] / Г. П. Аншаков, Ю. Г. Антонов, А. И. Мантуров [и др.] // Сб. тр. IX Санкт - Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2002. – С. 77-85.
3. Организация решения целевых задач в бортовых комплексах управления КА зондирования [Текст] / Г. П. Аншаков, А. И. Мантуров, В. А. Мочалов [и др.] // Сб. докладов XVIII Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2011. – С. 263-269.
4. Галкина, А. С. Определение кинематических ограничений программы

управления угловым движением КА ДЗЗ для азимутальной съёмки маршрута [Текст] / А. С. Галкина, Г. И. Гвоздев, В. Е. Юрин // Сб. тез. докладов XIV международного науч. конф. «Системный анализ, управление и навигация». – 2009. – С. 82-83.

5. Бородин, М. С. Технология сканирования в оптико-электронной космической съёмке [Текст] / М. С. Бородин // Космонавтика и ракетостроение. – 2008. – №2(51). – С. 75-82.

6. Занин, К. А. Формирование требований к динамике космических аппаратов дистанционного зондирования земли [Текст] / К. А. Занин, М. Н. Хайлов // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2009. – №5. – С. 32-37.

7. Анализ точности формирования и реализации программ управления угловым движением космического аппарата при использовании системы спутниковой

навигации [Текст] / А. С. Галкина, А. И. Мантуров, В. И. Рублёв [и др.] // Научно-технический журнал «Гироскопия и навигация». – 2010. – №1(68). – С. 15-25.

8. К вопросу оценки точности формирования программы управления угловым движением КА на участках зондирования [Текст] / К. В. Бузуев, А. С. Галкина, А. В. Загородний [и др.] // Сб. тез. докладов XV международного науч. конф. «Системный анализ, управление и навигация». – Евпатория, 2010. – С. 47.

9. Носенко, Ю. И. Космический комплекс «Ресурс-ДК1» [Текст]: справочные материалы / Ю. И. Носенко; под ред. д-ра техн. наук, Ю. И. Носенко. – М.: Маджерик, 2006. – Вып. 3. – 68 с.

10. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720 с.

THE USE OF COMPUTATIONAL METHODS FOR THE PARAMETRIZATION OF THE ANGULAR MOTION CONTROL PROGRAM IN ON-BOARD CONTROL SYSTEMS OF EARTH REMOTE SENSING SPACECRAFT

© 2012 A. S. Galkina, A. I. Manturov, N. I. Pyrinov, V. E. Yurin

State Research and Production Space-Rocket Center "TsSKB-Progress", Samara

The paper deals with the problems of generation and implementation of spacecraft angular motion control programs, the peculiarities of their parametrization for different flight legs in the sensing interval for the RESURS-P spacecraft onboard control system. The conditions of design and parametrization of control programs are systematized.

Angular motion control program, organization of imaging control, conditions of sensing.

Информация об авторах

Галкина Анастасия Сергеевна, ведущий инженер-конструктор, кандидат технических наук, ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». E-mail: Mail@samspace.ru. Область научных интересов: управление угловым движением космических аппаратов.

Мантуров Александр Иванович, начальник отдела, доктор технических наук, профессор, ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». E-mail: Mail@samspace.ru. Область научных интересов: динамика полёта космических аппаратов, системы управления космическими аппаратами.

Пыринов Никита Иванович, инженер-конструктор 3 категории, ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». E-mail: Mail@samspace.ru. Область научных интересов: управление угловым движением космических аппаратов.

Юрин Виталий Евгеньевич, начальник сектора, ФГУП ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”. E-mail: Mail@samspace.ru. Область научных интересов: управление угловым движением космических аппаратов.

Galkina Anastasiya Sergeevna, candidate of technical science, leading design engineer, Space Rocket Center "TsSKB-Progress". E-mail: Mail@samspace.ru. Area of research: spacecraft angular motion control.

Manturov Alexander Ivanovich, doctor of technical science, professor, head of department, Space Rocket Center "TsSKB-Progress". E-mail: Grand_forever@inbox.ru. Area of research: spacecraft flight dynamics, spacecraft control systems.

Pyrinov Nikita Ivanovich, design engineer of the 3rd category, Space Rocket Center "TsSKB-Progress". E-mail: Mail@samspace.ru. Area of research: spacecraft angular motion control.

Yurin Vitaly Yevgenievich, head of sector, Space Rocket Center "TsSKB-Progress". E-mail: Mail@samspace.ru. Area of research: spacecraft angular motion control.