

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 629.78.05

Аншаков Г.П., Горелов Ю.Н., Горелова О.И., Данилов С.Б., Мантуров А.И.,  
Усталов Ю.М.

### О ПРОГРАММНОМ УПРАВЛЕНИИ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Актуальность разработки алгоритмов определения программ управления угловым движением перспективных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) обусловлена, главным образом, изменением характера решаемых аппаратами задач. В настоящее время на КА ДЗЗ возлагаются целевые задачи зондирования маршрутов произвольно расположенных относительно трассы их полета, зондирования на поверхности Земли районов различной конфигурации, проведения стереосъемки маршрутов и т.д. [1]. Для обеспечения получения высокоточных программ управления требуется реализация некоторых функций планирования процессов зондирования и формирования программ управления непосредственно на борту КА.

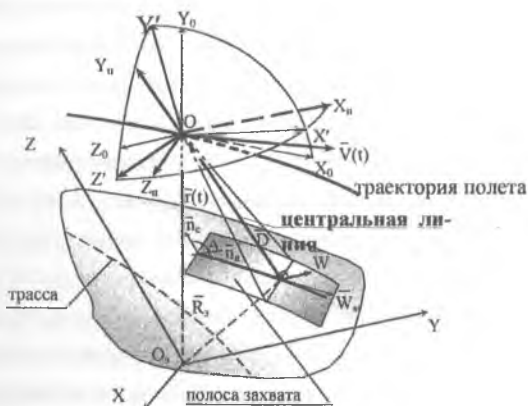


Рисунок 1. Системы координат

Формальное понятие параметров программ управления угловым движением вводится с использованием ряда систем координат, представленных на рисунке 1. Программная систе-

ма координат (ИСК) –  $OX_n Y_n Z_n$  определяет в каждый момент времени полета требуемое для решения соответствующих задач КА угловое движение связанной системы координат (ССК) аппарата. При этом плоскость ССК, соответствующая плоскости  $X_n OZ_n$ , параллельна фокальной плоскости установленной на аппарате аппаратуры зондирования (АЗ). Ось ССК, соответствующая оси  $OX_n$ , совпадает с направлением продольной скорости компенсации сдвига изображения, реализуемой АЗ.

Под углом азимута  $A$  понимается угол между направлением на север, задаваемым в точке начала маршрута единичным вектором  $\bar{n}_c$ , и направлением на восток, задаваемым единичным вектором  $\bar{n}_o$  для той же точки.  $\bar{W}_n$  – вектор относительной скорости движения по земной поверхности точки пересечения с ней центральной линии визирования (ЦЛВ).  $\bar{W}$  – проекция на плоскость, перпендикулярную ЦЛВ, вектора относительной скорости движения по земной поверхности точки пересечения с ней ЦЛВ. На рисунке  $\bar{R}, \bar{r}(t), \bar{V}(t)$  – соответственно радиус-вектор точки наблюдения, радиус-вектор и вектор скорости КА в ИСК. Вектор дальности  $\bar{D}$  от центра масс аппарата до наблюдаемой точки на центральной линии маршрута определяет программное положение оптической оси АЗ, совпадающее с центральной линией визирования. Поперечный размер (ширина) маршрута соответствует ширине полосы захвата АЗ.

Под параметрами программы управления угловым движением понимаются матрица направляющих косинусов  $Q(t)$ , векторы угловой скорости  $\omega(t)=(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$  и ускорения  $\epsilon(t)=(\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z)$  осей ИСК, определяемые в инерциальной системе координат (ИСК)- $O_nXYZ$  или в орбитальной системе координат (ОСК) -  $OX_oY_oZ_o$ , в зависимости от того, какие оси ориентации приняты для аппарата. Вместо  $Q(t)$  могут рассматриваться углы тангажа  $\vartheta(t)$ , крена  $\gamma(t)$ , рыскания  $\psi(t)$ , определяющие положение ИСК относительно ОСК [2].

На каждом витке полета аппарата могут быть выделены участки траектории, отличающиеся условиями формирования программ управления, например - участки зондирования маршрутов, межмаршрутные участки, участки проведения маневров центра масс аппарата, участки наведения панелей солнечных батарей на Солнце и другие. Отметим, что с помощью формирования соответствующих программ управления угловым движением аппарата для сканирования маршрутов могут осуществляться различные виды зондирования районов земной поверхности. К числу таких видов можно отнести - азимутальное зондирование (центральная линия маршрута расположена под заданным азимутом), стереосъемку (один и тот

же маршрут сканируется сначала с положительным значением угла упреждения, затем с отрицательным значением того же угла), конвергентную съемку (сканирование одного и того же маршрута со смежных витков полета КА) и т.д.

Улучшение показателей эффективности процесса зондирования с точки зрения управления угловым движением КА определяется:

- во-первых, повышением точности и оперативности формирования программ управления, определяющих необходимые для процесса зондирования программные траектории углового движения КА (программное движение КА);
- во-вторых, улучшением показателей бортового комплекса управления (БКУ), реализующего требуемое программное движение КА в процессе его полета.

В связи с этим предложены следующие принципы формирования программ управления угловым движением КА ДЗЗ [2]:

- автономное определение программ углового движения аппаратов, исходя из обеспечения требуемых условий сканирования маршрутов и условий гладкости (непрерывности и дифференцируемости) параметров программ управления в процессе полета КА;
- использование для определения программ управления угловым движением параметров движения центра масс КА, получаемых системой навигации на моменты времени, максимально приближенные к началу планируемых интервалов зондирования маршрутов;
- определение параметров программы в рамках ограничений по возможности реализации системой ориентации и стабилизации необходимых угловых скоростей и ускорений КА.

На основе предложенных принципов формирования программ управления угловым движением разработаны алгоритмы, обеспечивающие моделирование программного движения КА ДЗЗ для различных видов зондирования.

*Алгоритмы сканирования произвольно расположенных на поверхности Земли маршрутов.* Алгоритмы включают в себя операции расчета моментов времени начала сканирования каждого маршрута. При заданных характеристиках маршрутов моменты начала сканирования определяются условиями их зондирования (видом зондирования). Для интервалов сканирования маршрутов рассчитываются параметры программ управления в зависимости от заданных в плане зондирования условий сканирования, например, таких как:

- обеспечение требуемых продольных и поперечных значений скорости компенсации сдвига изображения для центральной линии визирования (центральной линии маршрутов, рис. 1);

-- минимизация отклонения продольной скорости компенсации сдвига изображения от заданного значения по всему полю маршрута.

*Алгоритмы планирования последовательности сканирования маршрутов.* Алгоритмы включают операции выбора последовательности маршрутов из возможного их ансамбля, задаваемого планом зондирования. При известных краевых условиях на начало и окончание сканирования каждого маршрута варианты выбора основываются на использовании алгоритмов, определяющих так называемые области достижимости [3]. Последние определяют существование программ управления угловым движением с момента окончания  $i$ -го маршрута до момента начала  $(i+1)$ -го маршрута в рамках ограничений по возможности реализации требуемых угловых скоростей и ускорений аппарата. Принимаемый вариант последовательности сканируемых маршрутов отвечает максимальному количеству маршрутов, реализуемых на интервале планирования с учетом их приоритетов.

*Алгоритмы построения гладких программ управления угловым движением.* Для определения параметров программ управления на маршрутах, межмаршрутных интервалах и других участках полета аппарата используются сплайн-функции в виде степенных полиномов до пятой степени включительно [2].

*Алгоритмы прогнозирования параметров движения центра масс аппарата.* Уравнения движения центра масс аппарата учитывают влияние гравитационного поля Земли с учетом гармоник до четвертого порядка и влияние плотности атмосферы, представляемой статической моделью.

На основе использования указанных алгоритмов проведено моделирование программ управления угловым движением для КА «Ресурс-ДК», результаты которого представлены на рис 2-4.

На рисунке 2 представлены параметры программы управления, обеспечивающие зондирование маршрута, центральная линия которого не эквидистантна трассе полета КА (расположена к ней под углом  $30^\circ$ ). Момент времени начала сканирования маршрута отвечает моменту попадания начальной точки маршрута в траверсную плоскость движущегося аппарата. Сканирование маршрута может осуществляться, исходя из следующих вариантов условий:

а) поддержание заданного значения продольной составляющей скорости сдвига изображения и значения поперечной составляющей скорости, равной нулю для центральной линии визирования;

б) минимизация отклонения продольной составляющей скорости сдвига изображения по всему полю маршрута от заданного ее значения для центральной линии маршрута с обеспечением минимального значения поперечной составляющей скорости для центральной линии маршрута

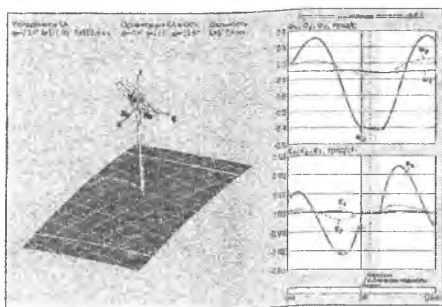


Рисунок 2

На рисунке 3 приведены диаграммы изменения параметров  $W_x/D-(W_x/D)_{зад}$  по маршруту при выполнении условий вариантов а) и б). Указанные параметры пропорциональны соответственно продольной и поперечной скорости компенсации бега изображения,  $\alpha$  – угол захвата АЗ,  $(W/D)_{зад}$  – заданное значение, ДМВ – декретное московское время,  $h$  – высота полета КА.

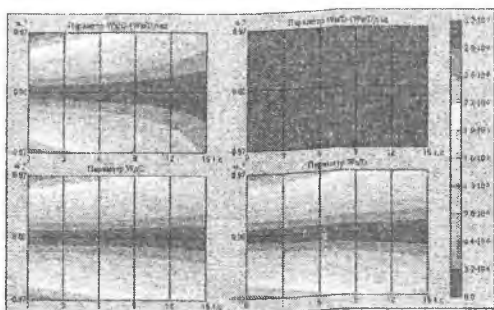


Рисунок 3

На рисунке 4 представлены параметры программ управления для проведения стереосъемки маршрута длительностью 5 секунд. Начало сканирования соответствует углу упреждения  $40^\circ$ , а окончание  $-40^\circ$ . Центральная линия маршрута эквидистантна трассе. Условия сканирования соответствуют варианту а).

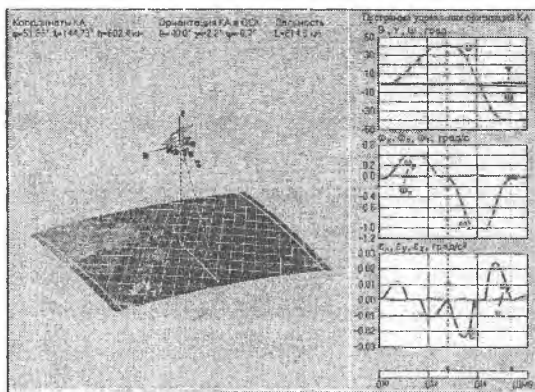


Рисунок 4. Стереосъемка

Предложенный подход к формированию процессов организации управления угловым движением КА ДЗЗ позволяет существенно упростить их целевое использование, повысить автономность управления и производительность аппаратов. Проведены моделирование программ управления с помощью созданного программно-алгоритмического обеспечения и его экспериментальная отработка на универсальных и специализированных отладочных средствах, которые подтвердили возможность реализации в БКУ рассмотренных задач управления КА.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агапов В. Первый снимок метрового разрешения с КА Ikonos // Новости космонавтики. – Москва, 1999, №12. – С.37.
2. Аншаков Г.П., Ландау Б.Е., Мантуров А.И., Пешехонов В.Г. и др. Интегрированная система управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования // IX С.-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – С.-Петербург, 27-29 мая, 2002. – СПб: ЦНИИ «Электронприбор», 2002. – С.77-84.
3. Благов И.А., Горелов Ю.Н., Мантуров А.И., Пермяков А.В. Формирование множества достижимости для кинематических характеристик углового движения космического аппарата в задачах дистанционного зондирования Земли // Вестник Самарского государственного университета. – Самара, 2004, №4. – С.201–214.