6. Guffanti T., D'Amico S. Linear Models for Spacecraft Relative Motion Perturbed by Solar Radiation Pressure // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 2019. – Vol. 42. No. 6. – P. 1382–1393.

7. Веиси С. О передаче света на солнечные панели спутника с целью подзарядки его аккумулятора // Вестник Московского авиационного института. – 2024. – Т. 31. № 2. – С. 133–143.

УДК 629.783:629.7.058.47

И.В. Платошин

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С НЕПОДВИЖНОЙ АНТЕННОЙ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА НАЗЕМНЫЙ ППИ

Введение. Применяемая на космических аппаратах бортовая аппаратура радиолинии передачи целевой информации (БА РЛЦИ) может быть как широконаправленная [1] так и узконаправленная [2, 3], использование которой потенциально позволяет достичь более высокой скорости передачи ЦИ по сравнению с широконаправленной.

Наведение узконаправленной БА РЛЦИ МКА может обеспечиваться поворотом антенного устройства (АУ) относительно МКА [3] либо поворотом МКА относительно его центра масс. Также оба способа наведения могут применяться совместно.

Рассматривается задача формирования программы углового движения МКА ДЗЗ с жёстко закреплённым АУ узконаправленной БА РЛЦИ для наведения диаграммы направленности антенны (ДНА) на НППИ. Управление угловым движением МКА обеспечивается системой управления движением (СУД) с применением комплекса двигателей-маховиков.

Программа углового движения (ПУД) включает набор параметров, описывающих зависимость изменения ориентации МКА, его скорости и ускорения от времени [4, 5].

В качестве основного условия формирования программы углового движения может быть принято наведение центральной оси ДНА на ППИ или, в общем случае, удержание НППИ внутри ДНА в течение участка

передачи ЦИ. Ориентация МКА при наведении центра ДНА на НППИ приведена на рис.1.

Для однозначного определения ориентации МКА, задаваемого положением программной системы координат ($OX_{П}Y_{П}Z_{П}$) относительно орбитальной ($OX_{О}Y_{О}Z_{О}$), при формировании программы углового движения примем равенство нулю угла рыскания в момент времени $t_{ТР}$ – времени прохождения МКА траверза НППИ.

Без ограничения общности будем считать, что центр ДНА совпадает с отрицательным направлением оси $Y_{П}$ ПСК (рис. 1).

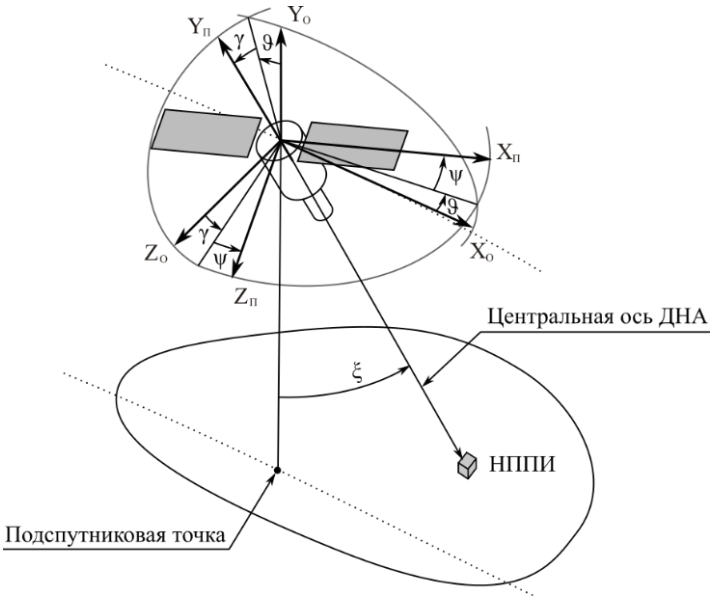
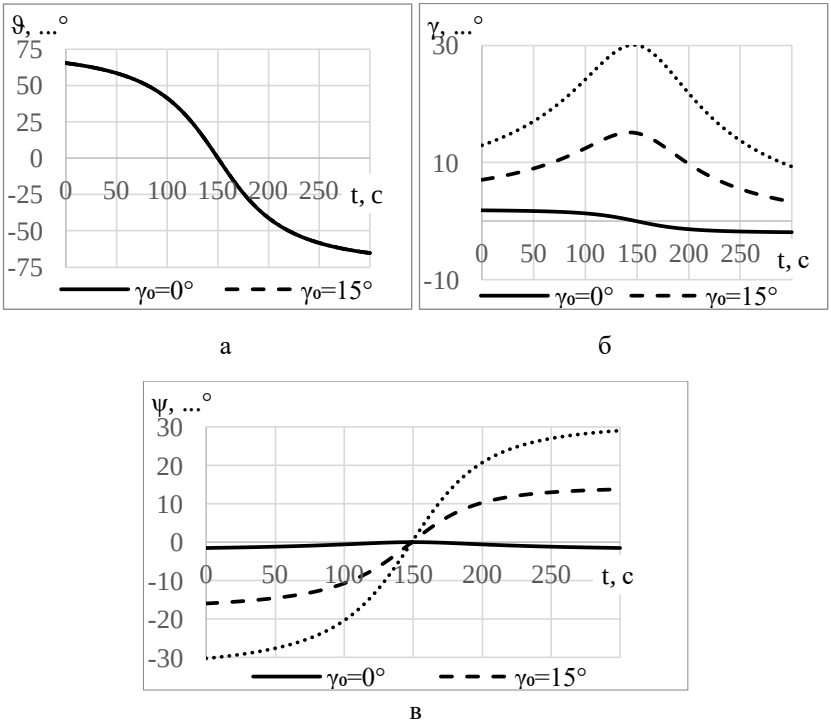


Рис. 1. Положение ПСК при наведении центра ДНА на НППИ

Моделирование программы углового движения

Было проведено моделирование программы углового движения, требуемого для наведения центра ДНА на НППИ. Моделирование проведено для солнечно-синхронной околокруговой орбиты со средней высотой 400 км. Длительность участка передачи ЦИ – 300 с. На рис. 2 приведена зависимость от времени углов тангажа, крена и рыскания для различных углов крена γ_0 в момент времени $t_{ТР}$ = 150 с. На рис. 3 приведена зависи-

мость от времени модуля вектора угловой скорости ПСК для различных углов крена γ_0, на рис. 4 – компоненты ε_X, ε_Z вектора углового ускорения.



а б

в

Рис. 2. Зависимость от времени углов:
а – тангажа, б – крена, в – рыскания для различных углов крена γ_0

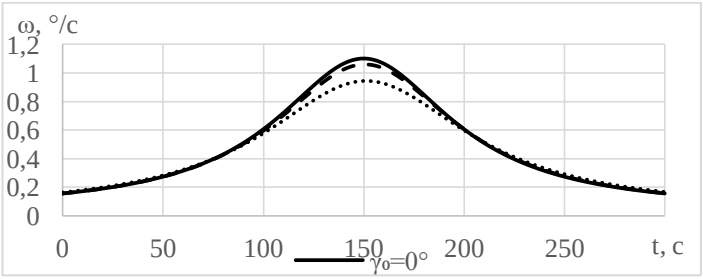
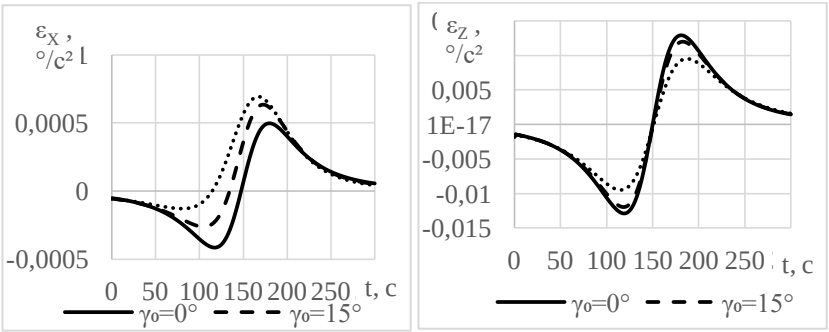


Рис. 3. Зависимость от времени модуля вектора угловой скорости ПСК для различных углов крена γ_0



а б

Рис. 4. Зависимость от времени ускорения МКА:
а – в канале рыскания, б – в канале тангажа для различных углов крена γ_0

Применение комплекса двигателей-маховиков на МКА обеспечивает высокую угловую скорость МКА (более 1 °/с), но малую величину углового ускорения по каждому каналу (около 0,01 °/с^2). Из рис. 4 видно, что программа углового движения, обеспечивающая наведение центра ДНА на НППИ, не удовлетворяет в полной мере кинематическим ограничениям двигателей-маховиков в канале тангажа.

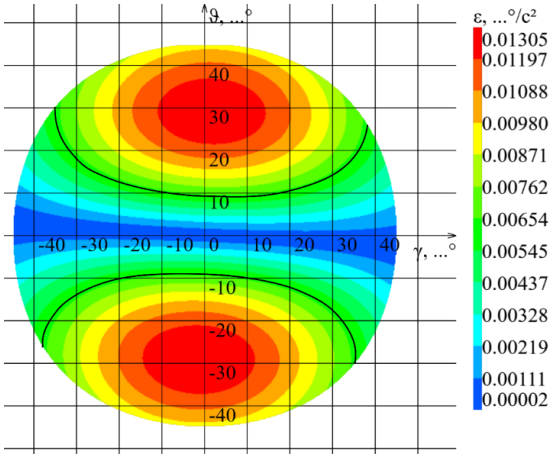


Рис. 5. Диаграмма зависимости требуемого углового ускорения от углов тангажа и крена МКА

На рис. 5 приведена диаграмма зависимости от углов тангажа и крена МКА углового ускорения, требуемого для обеспечения отслеживания НППИ центром ДНА на интервале передачи ЦИ для орбиты со средней высотой 400 км.

Далее рассмотрим МКА с узконаправленной антенной и двигателями-маховиками в качестве исполнительных органов, для которого кинематические ограничения в 2 раза ниже требуемых для обеспечения отслеживания НППИ центром ДНА. На рис. 5 такие ограничения обозначены сплошной линией. Из данных, приведённых на рис. 3-5 следует, что непрерывное наведение центра ДНА на НППИ в течение всего участка передачи ЦИ не может быть реализовано системой управления движением МКА, что в итоге приводит к существенному сокращению длительности сеанса передачи ЦИ.

Вариант условий формирования ПУД с учётом ограничений

Для обеспечения условий передачи ЦИ на участках, где требуемое для наведения центра ДНА ускорение превышает кинематические ограничения, предлагается допускать отклонение центра ДНА от оси МКА-НППИ, то есть осуществлять наведение ДНА со «скольжением» пятна ДНА. С учётом этого условия формирования ПУД примут вид:

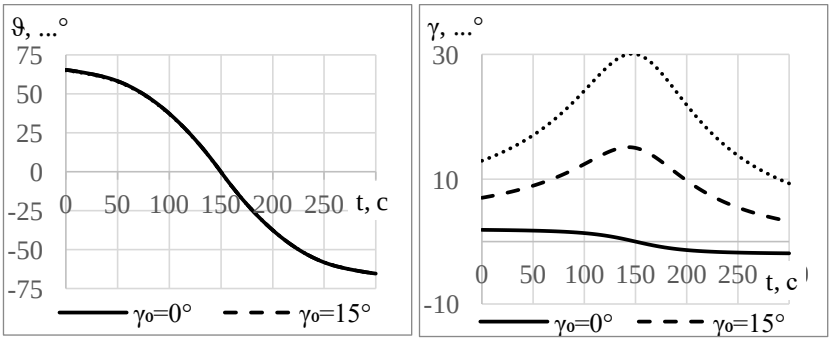
1) наведение центра ДНА на НППИ на время прохождения МКА траверза НППИ и вне участков движения с максимальным угловым ускорением;

2) минимизация углового ускорения МКА вне участков движения с максимальным угловым ускорением;

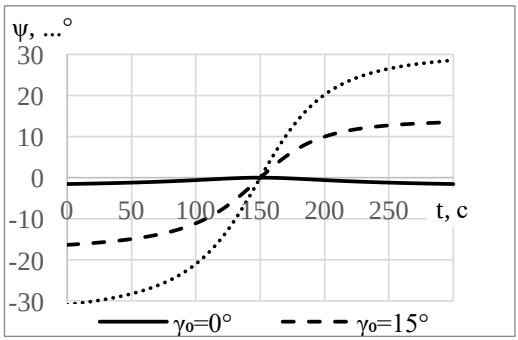
3) нулевое значение угла рыскания на время прохождения МКА траверза НППИ;

4) удержание НППИ внутри границ «пятна» ДНА на участках движения с максимальным угловым ускорением.

Тогда на каждой итерации расчёта ПУД добавляется учёт кинематических ограничений в канале тангажа. Результаты моделирования программы углового движения с учётом этих условий и кинематическими ограничениями СУД МКА приведены на рис. 6-8.



а б



в

Рис. 6. Зависимость от времени углов:
а – тангажа, б – крена, в – рыскания для различных углов крена γ_0

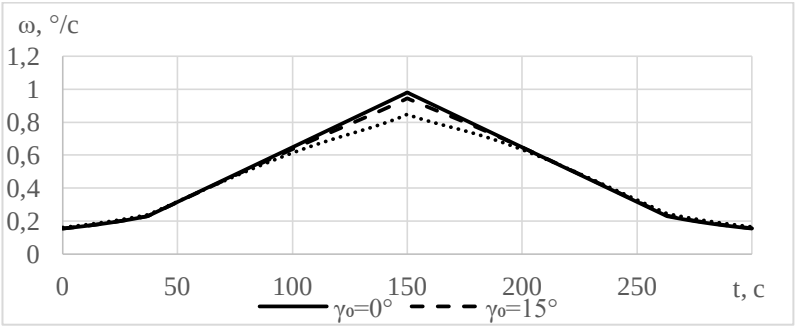
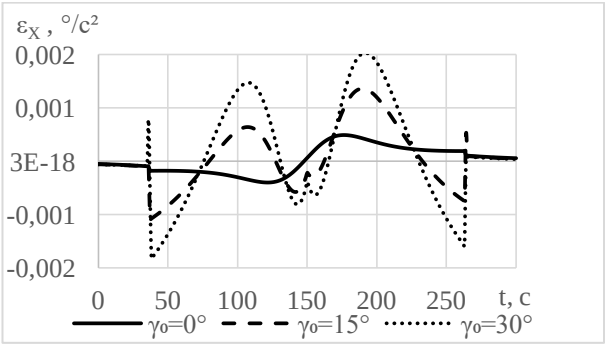
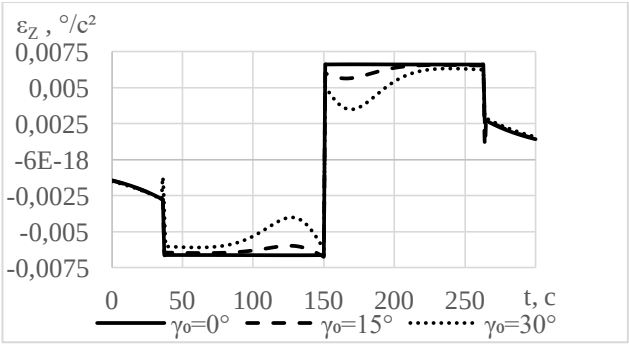


Рис. 7. Зависимость от времени модуля вектора угловой скорости ПСК для различных углов крена γ_0



а



б

Рис. 8. Зависимость от времени ускорения МКА а – в канале рыскания, б – в канале тангажа для различных углов крена γ_0

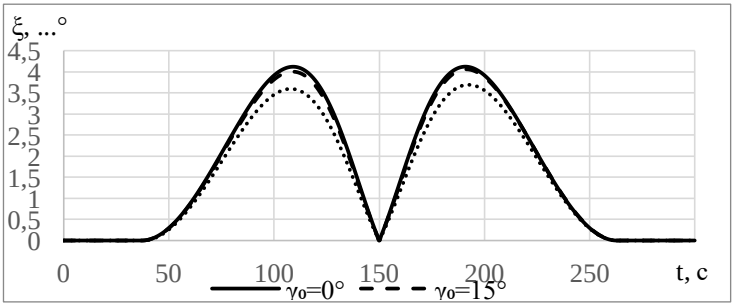


Рис. 9. Зависимость от времени угла отклонения центра ДНА от оси МКА-НППИ для различных углов крена γ_0

Ограничение углового ускорения приводит к тому, что не на всём участке передачи ЦИ обеспечивается наведение центра ДНА на НППИ. На рис. 9 приведена зависимость от времени угла ξ отклонения центра ДНА от оси МКА-НППИ для различных углов крена γ_0.Из рис. 9 видно, что отклонение центра ДНА от оси МКА-НППИ не превышает ширины ДНА МКА [2].

Заключение. Возможность наведения центра диаграммы направленности антенного устройства, жёстко закреплённого на МКА, зависит от нескольких факторов:

1) кинематических ограничений по угловой скорости и ускорению МКА;
2) высоты орбиты;
3) углов места МКА относительно НППИ на участке наведения (углов тангажа и крена МКА).

Программа углового движения МКА, сформированная с учётом предложенных условий, позволяет обеспечить наведение диаграммы направленности антенного устройства направленной БА РЛЦИ, реализуемое СУД МКА с двигателями-маховиками в качестве исполнительных органов.

Также рассмотренные условия позволяют в заданных условиях функционирования МКА определить минимальную угловую величину диаграммы направленности антенного устройства, необходимую для наведения передачи целевой информации.

Список использованных источников

1 Опытно-технологический малый космический аппарат «АИСТ-2Д» / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, Е.В. Шахматов, С.И. Ткаченко [и др.]. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2017. – 324 с.

2 Особенности применения направленных неподвижных антенн высокоскоростной радиолинии связи на малом космическом аппарате «АИСТ-2Т» / В.В. Еремина, И.О. Ерков, А.А. Журавлев, И.В. Маслов, Н.И. Пыринов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение – 2023. – Т. 22, № 4. – С. 52-58.

3 Моделирование кинематических характеристик управляемой подвижной антенны космического аппарата / Ю.Н. Горелов, О.И. Горелова, А.И. Мантуров // Управление движением и навигация летательных аппаратов: сб. [науч.] тр. XI Всерос. науч.-техн. семинара по упр. движением

и навигации летат. аппаратов (Самара, 23-25 июня 2003 г.) / Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П.Королева [и др.]. – Самара, 2003. – С. 68-73.

4 Управление угловым движением КА ДЗЗ / Г.П. Аншаков, А.И. Мантуров, Ю.М. Усталов [и др.] // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2006. – №6. – С. 12-18.

5 Интегрированная система управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования Земли / 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.

УДК 531.36, 629.7

С.А.Ишков, А.В. Мартышенко

НОМИНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ ОДНОТИПНЫХ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ДВИГАТЕЛЯМИ КОНЕЧНОЙ ТЯГИ

Введение. В работе рассматривается задача построения орбитальной группировки (ОГ) малых космических аппаратов (МКА) с двигателями конечной тяги после выведения ракетой-носителем МКА на промежуточную орбиту. Обсуждается схема формирования ОГ и для принятых исходных данных приводится вариант номинальной программы управления тягой каждого из однотипных МКА и даются оценки затрат моторного и общего времени на выполнение всего манёвра.

Вопросы построения ОГ МКА рассматривались многими авторами: Исанченков Н.Ю. в [1] рассматривает оптимизацию одноимпульсного перелёта с целью повышения точности и эффективности управления МКА, Кислицкий М.И. в [2], а также коллектив авторов Кульвиц А.В., Мосин Д.А., Нечаев И.Ю. в [3] предлагают осуществлять выведение ОГ с более низкими затратами используя дополнительное средство разведения (разгонный блок, буксир), однако для МКА стоимость такого выведения всё равно остаётся высокой. Главное отличие проведённых исследований от известных заключается в том, что формирование ОГ осуществляется собственными двигательными установками МКА конечной, не импульс-