

ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБЛИКА СИСТЕМ ГИРОСИЛОВОГО НАВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

© 2008 Е.И. Сомов¹, С.А. Бутырин¹, А.В. Бутко²

¹ Самарский научный центр РАН

² ГНП РКЦ “ЦСКБ-Прогресс”, г. Самара

Представляется программное обеспечение для формирования требований к бортовой аппаратуре наблюдения и системам гиросилового наведения космических аппаратов.

Введение

При формировании требований к составу и характеристикам бортовой аппаратуры космических аппаратов (КА) землеобзора, входящих в состав космической системы, выполняется системный анализ предъявленных к ней показателей, таких как периодичность, производительность и оперативность наблюдения, разрешение на местности, точность наведения и стабилизации визирной системы координат (ВСК) бортового телескопа КА с учетом возмущений, ограничений и др. факторов. Авторы имеют многолетний опыт [1-16] разработки программных продуктов для автоматизации проектирования гиросиловых систем управления движением КА информационного назначения – спутников землеобзора, связи, навигации, геодезии и т.д., а также опыт их практического применения на предприятиях ракетно-космической отрасли. В статье впервые представляется специализированная программная среда для начального этапа проектирования – формирования функционального облика систем наведения КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Назначение и состав программного комплекса

Описываемый комплекс программ предназначен для разработки функционального облика систем гиросилового наведения КА ДЗЗ и позволяет выявить факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на проектные характеристики. Представляемая программная среда может применяться для сопоставления методов наведения и оптико-

электронной съемки, для сравнения различных вариантов построения бортовой аппаратуры КА и формирования требований к силовому гироскопическому комплексу (СГК) и измерительной аппаратуре КА. Программный комплекс позволяет также выполнять моделирование и анализ космических систем, включающих несколько КА землеобзора, спутники-ретрансляторы и наземную инфраструктуру, провести детальный анализ характеристик функционирования каждого КА наблюдения при решении целевых задач.

Логически комплекс включает диалоговый монитор и подсистемы моделирования, анализа и синтеза, а также технологическую подсистему документирования результатов. Управление работой комплекса выполняется с помощью системы иерархических меню.

Исходными данными для работы комплекса являются: параметры космической системы, в том числе орбитальные данные входящих в нее КА, характеристики измерительной и целевой аппаратуры, параметры конструкции КА и гиродинов (ГД), входящих в состав СГК, режимы работы КА с перечнем ограничений, наборы заданных характеристик качества космической системы и критериев оптимальности.

Выходные результаты программного комплекса представлены сценами маршрутов съемки на картографической основе, таблицами и графиками изменения координат движения корпуса КА и гиродинов СГК в функции времени, характеристиками аппаратуры наблюдения, значениями достигнутых характеристик качества и критериев оптимальности.

Подсистема моделирования

Подсистема моделирования содержит следующие компоненты:

- модель Земли: форма, физические и геометрические характеристики, системы координат, электронные карты с базами данных объектов земной поверхности;
- структурная модель КА: геометрические и инерционно-массовые характеристики конструкции, характеристики целевой аппаратуры (телескопов), гиросиловых исполнительных органов, измерительной аппаратуры, связанные системы координат, ограничения;
- баллистическая модель движения КА: параметры, используемые для расчета орбитального движения центра масс (ЦМ) КА, типовые варианты расчета.
- модели движения КА при выполнении функциональных задач: системы координат, схемы обзора земной поверхности (методы расчета маршрутных движений и межмаршрутных переходов; объектовой съемки; стереомаршрутов; наземных площадок и др.).
- модели внешней обстановки: параметры и методы расчета условий освещенности подстилающей поверхности, угла возвышения Солнца над горизонтом, фоновых характеристик подстилающей поверхности в различных диапазонах электромагнитного спектра, облачности и др.;
- модели взаимодействия КА: номенклатура КА в космической системе, условия взаимодействия со спутниками-ретрансляторами и наземными пунктами приема информации,
- модели оптического тракта: параметры и методы процесса сканирования, модели расчета скоростей движения изображения в фокальной плоскости телескопа и на матрицах ПЗС, разрешающей способности и др.
- модели целевой обстановки: параметры и базы данных типовых задач и объектов наблюдения на земной поверхности с указанием приоритетов.

Подсистема анализа и синтеза

Подсистема анализа и синтеза выполняет такие функции:

- отображения карт земной поверхности с нанесением на нее объектов, необходимых для решения задач комплекса (береговой линией, границами государств, реками, крупны-

ми городами и др.) и возможностью настройки (вида проекции, удаление и добавление объектов, раскраски и др.);

- отображения орбиты и трассы полета КА, полосы обзора, условий освещенности;
- расчета и отображения характеристик орбитального движения КА: координат и линейных скоростей ЦМ КА в функции времени, а также номинальных и оскулирующих элементов орбиты;
- расчета и отображения характеристик движения КА при выполнении целевых задач: высота полета, наклонная дальность до объекта; кинематические параметры перспективы наблюдения; углы ориентации относительно орбитальной системы координат; координаты точки траверса; азимут от точки объекта на подспутниковую точку КА; мгновенный азимут маршрута и др.;
- расчета и отображения кинематических характеристик движения КА при выполнении маршрутов и межмаршрутных поворотных маневров: кватернионов, векторов угловых скоростей, ускорений и производных ускорений;
- проверка реализуемости заданного углового движения КА при доступных ресурсах СГК с учетом возможного накопленного кинетического момента механической системы и детализацией выполнения ограничений для каждого ГД в его составе СГК;
- анализ переходных процессов в системе управления КА при отработке заданного программного углового движения с определением гарантированного времени успокоения колебаний упругих элементов конструкции КА;
- расчета и отображения угла возвышения Солнца над горизонтом в точке наблюдения; видимости и направления на пункты приема информации и другие КА и др.;
- расчета скорости бега изображения в заданных точках фокальной плоскости (зонах компенсации матрицы ПЗС) и достигаемого линейного разрешения на местности;
- расчета эффективности процесса функционирования космической системы по критерию периодичности (временные характеристики попадания объектов наблюдения с заданными координатами в зону обзора КА в различных условиях его полета);
- расчета эффективности космической

системы по критерию производительности (количество объектов и площадь земной поверхности, которые может “снять” КА за один виток (сутки, год) полета);

- расчета эффективности космической системы по критерию оперативности (временные характеристики, связанные с планированием наблюдений, передачей заявки на борт КА, времени подлета к цели, вход в зону радио-видимости и др.);

- сравнительная оценка альтернативных вариантов построения космической системы по различным критериям качества;

- синтез космической системы и процесса ее функционирования, оптимизация баллистического построения орбитальной группировки,

- обоснование тактико-технических требований к космической системе с оптимальным планированием программ работы аппаратуры наблюдения.

Диалоговая среда и примеры применения

Вид основного окна диалоговой среды программного комплекса приведен на рис. 1,

где показано верхнее меню, географическая карта, трасса полета, границы обзора КА, света и тени. Диалог с пользователем осуществляется через всплывающие окна. Для каждого КА выполняется ввод данных и настроек среды, которые запоминаются в файл статуса (меню “Сохранить статус” на рис. 1). В дальнейшем можно загрузить данные конкретного КА и окружающей обстановки, просто выбрав нужный файл статуса.

Меню “КА” предназначено для ввода характеристик КА с гиросиловым управлением. В частности, вводятся такие данные: тензор инерции корпуса КА, характеристики упругих элементов конструкции КА; ограничения на скорость и ускорение корпуса; число гиродинов и схема их установки в составе СГК, кинетический момент каждого ГД и ограничение на угловую скорость и на угловое ускорение относительно оси его подвеса. Естественно здесь вводятся основные данные оптического тракта целевой аппаратуры (телескопа, матрицы ПЗС), измерительных компонентов (астродатчиков, измерителей вектора угловой скорости) и измерительных подсистем (БИНС с астрокоррекцией) и т.д.

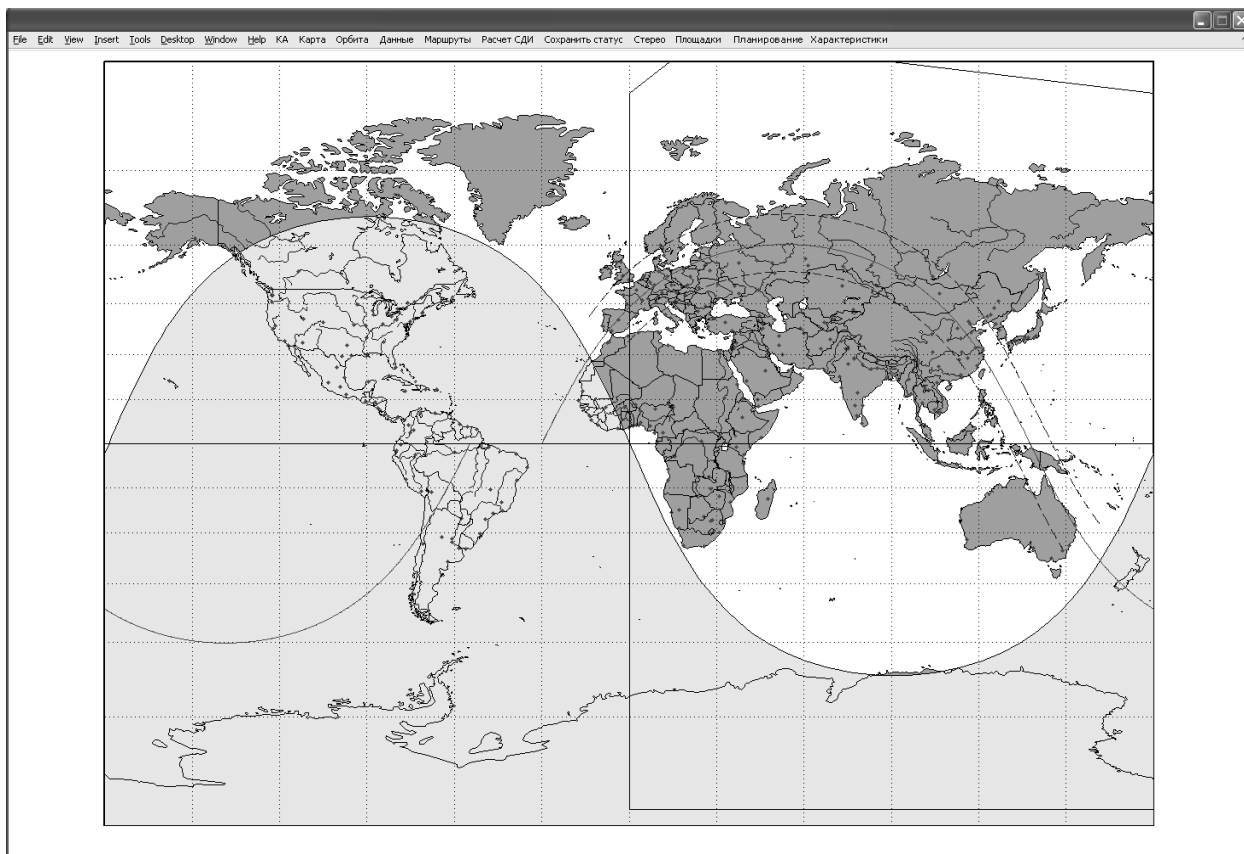


Рис. 1. Основное окно диалоговой среды

Меню “Карта” предназначено для настройки карты, включая конкретный вид цилиндрической, конической или азимутальной проекции, географической точки, через которую проходит направление взгляда и превышения над поверхностью Земли. Также можно настроить раскраску карты, отобразить на ней береговую линию, реки и озера, границы государств, положение центров крупных городов и др.

Меню “Орбита” позволяет выполнить расчет орбитального движения КА или загрузить ранее рассчитанную орбиту. Расчет выполняется с заданным шагом по времени на требуемое число витков. Начальные условия орбитального движения КА могут задаваться как в координатной форме, так и в оскулирующих элементах орбиты с учетом заданного числа гармоник геопотенциала.

Меню “Маршруты” предназначено для расчета и отображении на карте маршрутов съемки и следа линии визирования на земной поверхности. Если запланированные маршруты не могут быть реализованы из-за имеющихся ограничений, пользователю выдаются соответствующие диагностические сообщения.

Меню “Планирование” предназначено для ввода целевой обстановки и открывает доступ к базе данных типовых задач и объектов наблюдения.

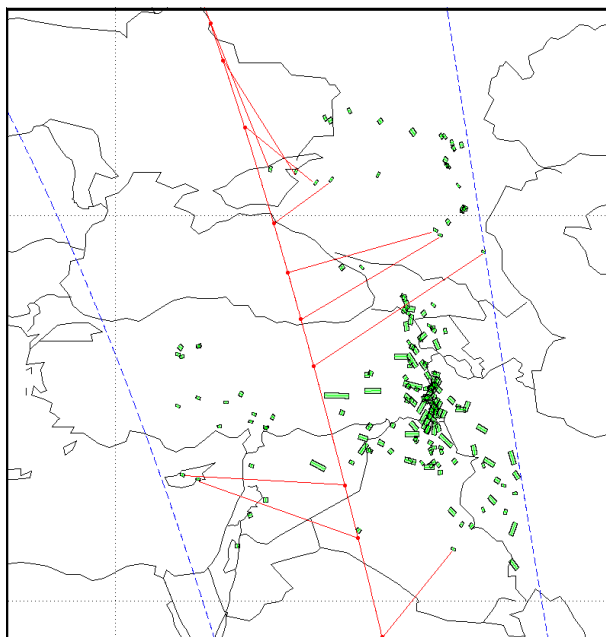


Рис. 2. Целевая обстановка при планировании объектовой съемки



Рис. 3. Отображение сцены стереосъемки

Меню “Характеристики” позволяет выполнить расчет эффективности процесса функционирования КА по различным критериям качества.

Пример визуализации сцены целевой обстановки и решения задачи планирования объектовой съемки по критерию производительности представлен на рис. 2, где показаны трасса полета, границы полосы обзора и направления линий визирования при съемке объектов. Пример отображения сцены стереосъемки приведен на рис. 3, здесь не перекрывающиеся участки полос выделены цветом. Наконец, пример съемки площадки из 4-х сканов приведен на рис. 4.

Рис. 5 и рис. 6 представляют результаты расчета движения КА и ГД в составе СГК при поворотном маневре, а рис. 7 – переходные процессы при поворотном маневре и маршрутном движении КА.

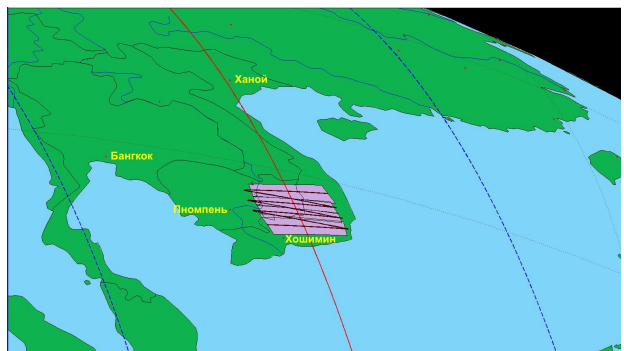


Рис. 4. Отображение съемки площадки

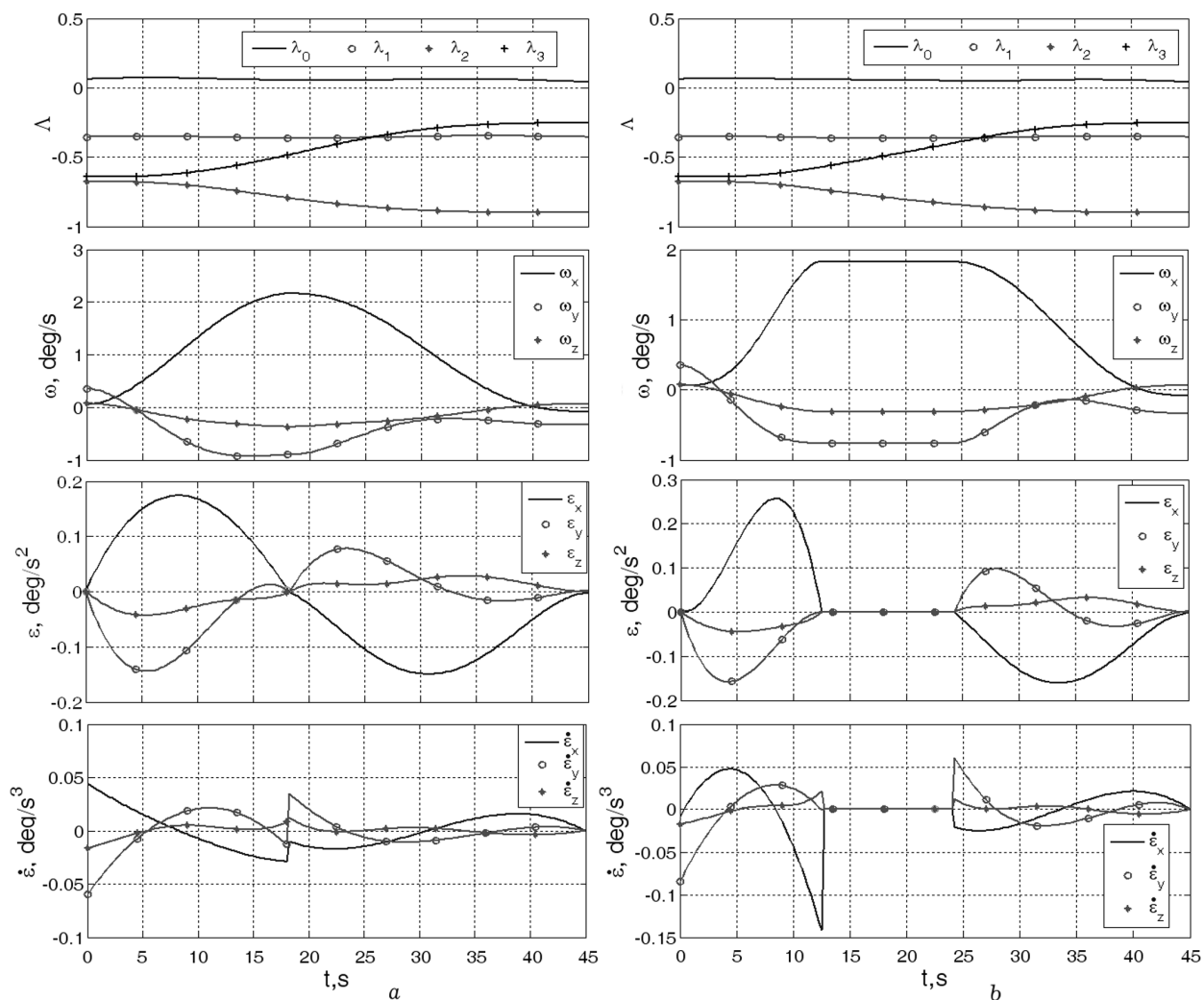


Рис. 5. Кинематические параметры движения КА при поворотном маневре: а – без ограничения на модуль вектора угловой скорости; б – при наличии такого ограничения

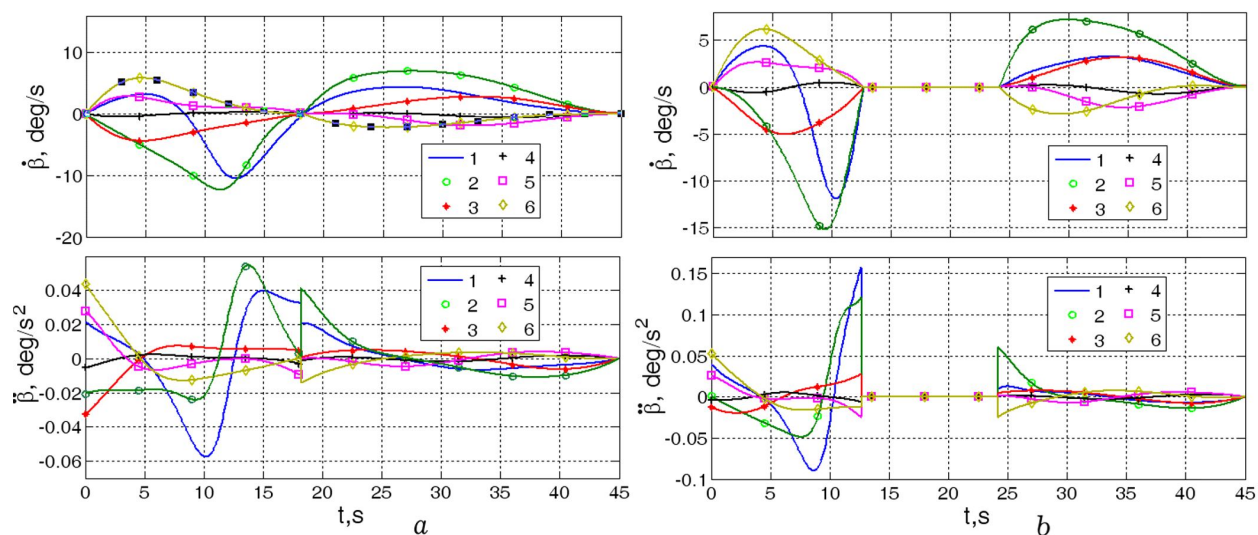


Рис. 6. Кинематические параметры движения каждого из шести ГД в составе СГК при поворотном маневре КА на рис: 5:

а – без ограничения на модуль вектора угловой скорости КА; б – при наличии такого ограничения

Работа поддержана РФФИ (гранты 07-08-97611, 08-08-99101), Президиумом РАН (программа фундаментальных исследований

22) и Отделением энергетики, механики, машиностроения и процессов управления РАН (программа 15).

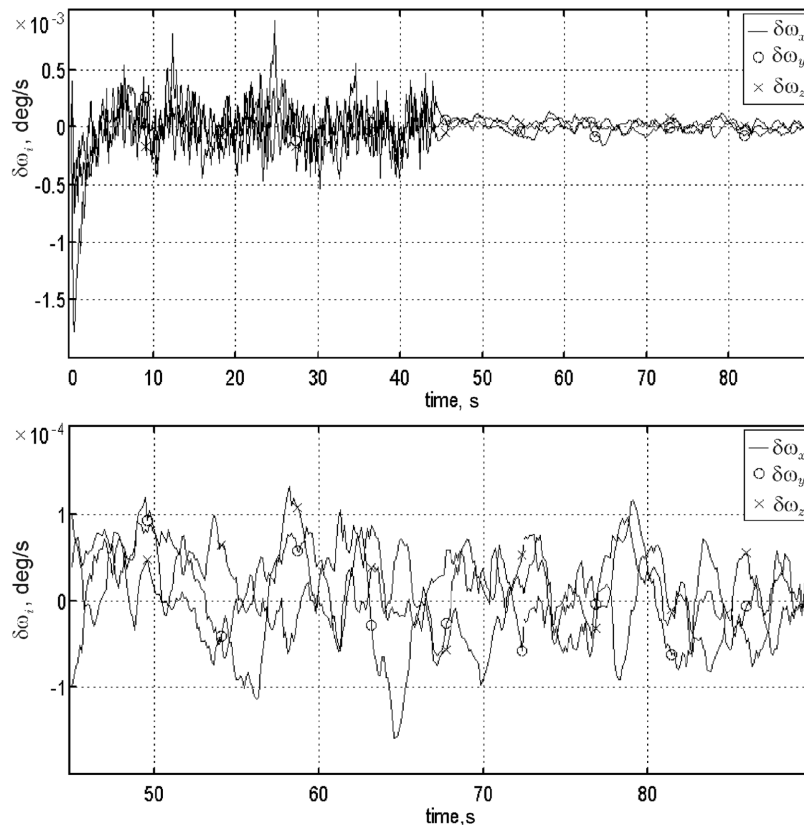


Рис. 7. Переходные процессы по рассогласованиям угловых скоростей при реализации последовательности поворотного маневра и маршрутного движения КА землеобзора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матросов В.М., Раевский В.А., Титов Г.П., Сомов Е.И., Бутырин С.А. и др. Архитектура и функциональные возможности СППО для автоматизации исследования динамики систем ориентации и прецизионной стабилизации космических аппаратов // Управление движением и навигация специальных ЛА. Куйбышев: КуАИ. 1988. Ч. 1.
2. Матросов В.М., Раевский В.А., Сомов Е.И., Бутырин С.А. и др. Система прикладного программного обеспечения ДИНАМИКА для автоматизированного проектирования систем управления и вопросы ее интеллектуализации // Интеллектуальные системы в машиностроении. Самара: СФ ИМАШ РАН, 1991. Ч. 2.
3. Матросов В.М., Раевский В.А., Титов Г.П., Сомов Е.И., Бутырин С.А. и др. Опыт разработки и некоторые результаты опытной эксплуатации СППО ДИНАМИКА // Динамика управляемых космических объектов. Иркутск: ИрВЦ СО АН СССР, 1991.
4. Матросов В.М., Сомов Е.И., Бутырин С.А. и др. Методы и программное обеспечение для автоматизированного проектирования систем управления ориентацией космических аппаратов // Динамика управляемых космических объектов. Новосибирск: Наука, 1992.
5. Матросов В.М., Раевский В.А., Титов Г.П., Сомов Е.И., Бутырин С.А. и др. Итоги разработки и опыт использования СППО ДИНАМИКА для автоматизированного проектирования систем управления ориентацией космических аппаратов // Управление движением и навигация специальных ЛА. Самара: СГАУ, 1992.
6. Сомов Е.И., Бутырин С.А., Герасин С.А., Герасин И.А. АРМ ДИНАМИКА для проектирования систем управления ориентацией космических аппаратов // Сб. трудов Всероссийской научной школы "Компьютерная логика, алгебра и интеллектуальное управление". Иркутск: ИрВЦ СО РАН. 1995, Том 3.
7. Сомов Е.И., Бутырин С.А., Герасин И.А., Макаров В.П., Кандалов И.В. Подсистема имитационного моделирования бортового комплекса управления космического аппарата.

- рата в СППР оператора ЦУП // Управление движением и навигация летательных аппаратов. Самара: СГАУ, 1997. Том 2.
8. *Matrosov V.M., Rayevsky V.A., Titov G.P., Somov Ye.I., Butyrin S.A.* Computer-Aided Modeling and Simulation of the Spacecraft Fail-Safe Control Systems by the Software Tool DYNAMICS // Proceedings of the 2nd International Multiconference "Computational Engineering in Systems Applications" (CESA'98). Lille. 1998. Vol. 1.
 9. *Matrosov V.M., Reshetnev M.F., Kozlov A.G., Rayevsky V.A., Titov G.P., Anshakov G.P., Antonov Yu.G., Makarov V.P., Kandalov I.V., Somov Ye. I., Butyrin S.A., Gerasin I.A., Gerasin S.A.* Software System DYNAMICS – a Tool for Computer-Aided Design of the Spacecraft Fault-Tolerant Attitude Control Systems // Proceedings of the 2nd International Aerospace Congress. Moscow: Petrovka Publ. 1999. Vol. 2.
 10. *Бутырин С.А., Герасин С.А., Герасин И.А., Сомов Е.И.* Технология создания моделей и задач в системе ДИНАМИКА // Программные продукты и системы. 1999. № 1.
 11. *Сомов Е.И., Бутырин С.А., Герасин С.А., Герасин И.А.* Программное средство ДИНАМИКА в имитации гиросиловых отказоустойчивых систем управления ориентацией космических аппаратов // Нави-
гация и гироскопия. 1999. № 2(25).
 12. *Somov Ye.I., Butyrin S.A., Gerasin S.A., Antonov Yu.G., Makarov V.P., Kandalov I.V., Rayevsky V.A., Titov G.P.* Computer Aided Design and Flight Support of Spacecraft Control Systems // Preprints of 14th IFAC World Congress. Oxford: Elsevier Science. 1999. Vol. L.
 13. *Раевский В.А., Титов Г.П., Сомов Е.И., Бутырин С.А.* Автоматизация динамических исследований и проектирования систем управления движением космических аппаратов: от СПО СИРИУС к MATLAB // Аэрокосмическое приборостроение. 2003. № 4.
 14. *Бутырин С.А.* Программные средства проектирования и имитации гиросиловых систем управления космических аппаратов // Материалы VIII Всероссийской научной конференции "Решетневские чтения". Красноярск: СибГАУ, 2004.
 15. *Бутырин С.А.* Моделирующие стенды систем управления ориентацией космических аппаратов // Вестник СамГТУ. Сер. "Технические науки". 2005. № 33.
 16. *Бутырин С.А.* Программный комплекс для расчета и визуализации маршрутов опτικο-электронной съемки Земли // Вестник СамГТУ. Сер. "Технические науки". 2007. № 2 (20).

THE PROGRAM ENVIRONMENT FOR FORMATION OF FUNCTIONAL SHAPE OF GYROMOMENT GUIDANCE SYSTEMS OF SPACE TELESCOPES

© 2008 Ye.I. Somov¹, S.A. Butyrin¹, A.V. Butko²

¹ Samara Science Centre of Russian Academy of Sciences, Samara

² State Research-Production Rocket-Space Centre "TsSKB - Progress", Samara

A software for forming requirements to an onboard observation apparatus and to the spacecraft gyromoment guidance systems, is presented.