

УДК 521.3

М.А. БАНЬЩИКОВА, И.Н. ЧУВАШОВ*, А.К. КУЗЬМИН***

**ПРИКЛАДНАЯ ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА «ВЕКТОР-М» ДЛЯ РАСЧЕТА
СОПУТСТВУЮЩЕЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ДЛЯ ПРОСТРАНСТВА НАБЛЮДЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
АВРОВИЗОР-ВИС/МП НА КА МЕТЕОР-МП¹**

Описывается проект «Вектор-М» и прикладная программная система для расчета сопутствующей геофизической и астрономической информации для пространства наблюдений в эксперименте с прибором Авровизор-ВИС/МП на орбите КА Метеор-МП.

Ключевые слова: Авровизор-ВИС/МП, Метеор-МП, программный продукт.

Введение

Начиная с 70-х годов XX века, Ю.И. Гальпериным, Ю.Н. Пономаревым и В.М. Сеницыным [1] был разработан ряд программ Кадр-1, 2, 3, 4, позволяющих решать разнообразные задачи, возникающие при проведении комплексных космических экспериментов магнитосферно-ионосферного направления. Эти программы позволили успешно провести эксперименты на орбитах околоземных спутников серии «Ореол» (проекты Аркад 1,2,3) и ИК-Болгария-1300, а также эксперименты на орбитальных станциях Салют-3,4 и Мир и получить новые научные результаты в области магнитосферно-ионосферной физики.

В 90-х годах В.И. Прохоренко были впервые разработаны программы ситуационного анализа и прогнозирования взаимного расположения нескольких космических аппаратов, находящихся на разных орбитах с целью повышения эффективности научных экспериментов. Данные программы были использованы при реализации проекта Интербол (космические аппараты «Хвостовой зонд» и «Авроральный зонд» со своими субспутниками) [2].

С развитием и реализацией новых идей и методик по дистанционной диагностике энергетических характеристик земной ионосферы с орбит КА [3], появлением новых высокочувствительных детекторов изображений, разработкой новых бортовых средств и технологий передачи информации на Землю в последнее время стремительно повышается информативность и точность получаемых с орбит КА научных данных. Вследствие этого повышаются требования к эффективности программного обеспечения как для сопровождения при управлении экспериментами, так и для обработки и анализа данных научных измерений в научных и мониторинговых орбитальных экспериментах. Новое ПО должно обеспечивать не только оперативность расчета прогнозов орбит и геофизических условий в заданной геометрии наблюдений, необходимых для оперативного управления экспериментами, но и отвечать соответствующей точности самих данных измерений.

Программный комплекс «Вектор-М», разрабатываемый в рамках подготовки экспериментов с приборами гелиогеофизического комплекса аппаратуры ГГЭК-МП проекта Метеор-МП, предназначен для решения вышеуказанных проблем в космических экспериментах магнитосферно-ионосферного направления. Авторы предполагают, что это ПО станет составной частью будущего перспективного программного комплекса «Вектор» для дистанционной диагностики и мониторинга характеристик полярной ионосферы одновременно с нескольких российских космических аппаратов на различных орбитах (высокоапогейных и низкоапогейных), входящих в системный проект «Арктика». Подготавливаемый программный комплекс будет использоваться как для управления экспериментами с приборами: авроральным имаджером Авровизор-ВИС/МП и магнитометром ФМ-МП в полете, так и для последующих оперативной и серийной обработок данных авроральных изображений, получаемых с него, и сопоставления с данными по измерениям энергетических характеристик высыпающихся заряженных частиц (прибор МСГИ-МП). Эти приборы входят в состав гелиогеофизического комплекса аппаратуры ГГЭК-МП на КА Метеор-МП, который формируется НЦОМЗ ОАО «РКС»². Головной заказчик информации с прибора – Институт прикладной геофизики Росгидромет.

¹ Работа выполнена по заданию № 2.4024.2011 Министерства образования и науки Российской Федерации.

² Научный центр оперативного мониторинга Земли, входящий в холдинг ОАО «Российские космические системы».

Описание программы «Вектор-М»

Программный продукт будет включать в себя решение следующих задач:

1. Преобразование начальных условий из одной системы в другую.
2. Прогнозирование движения центра масс КА с использованием численной модели движения ИСЗ [4].
3. Расчет ориентации строительных осей КА Метеор-МП в пространстве для моментов экспозиции авроральных изображений и вычисления географических и геомагнитных координат множества векторов наблюдений в пространственном угле поля зрения аврорального имаджера «Авровизор-ВИС/МП».
4. Трассирование вдоль силовой линии геомагнитного поля как от центра масс КА Метеор-МП вниз до высот наблюдаемых изображений, так и вверх до заданных высот орбит других КА, а также от конкретного выбранного элемента изображения, полученного на одной высоте, до изображения, полученного на другой высоте (определение в нем номера элемента изображения и его координат) с целью их сопряжения и вычисления энергетических характеристик высыпающихся заряженных частиц вдоль данной магнитной силовой линии.
5. Расчет сопутствующей геофизической информации для любого вектора наблюдений (в рамках угла поля зрения прибора «Авровизор-ВИС/МП») на заданной высоте с учетом данных расчета мгновенной ориентации строительных осей космического аппарата Метеор-МП.
6. Вычисление границ полей наблюдения монохроматических all-sky-камер, установленных в конкретных точках поверхности Земли в северном и южном полушариях.
7. Определение (вдоль орбиты КА) интервалов времени пересечения полем зрения прибора Авровизор-ВИС/МП с полями зрения наземных оптических приборов на заданных высотах, а также окрестностей зон действия мощных наземных радиостендов, отдельных радиоисточников, конкретных географических точек.
8. Новое программное обеспечение (ПО) в перспективе должно обеспечивать возможность координации и эффективного управления одновременно несколькими экспериментами по мониторингу состояния системы магнитосфера-ионосфера на нескольких КА, находящихся на разных орбитах, на базе современных методов ситуационного анализа.

Программный комплекс разрабатывается на объектно-ориентированном языке программирования Delphi и по своей архитектуре относится к двухзвездной архитектуре (приложение – база данных). В качестве основных критериев, по которым был выбран именно этот язык программирования, были следующие:

1. Очень удобная разработка многооконного приложения, без существенных трудозатрат со стороны разработчика.
2. Удобная работа с базой данных и использование СУБД Interbase/Firebird, разработанная этой же компанией.
3. Большое количество доступных визуальных компонент третьих фирм.
4. Возможность полного доступа к функциям операционной системы Windows.

В настоящее время есть возможность использовать вместо устаревшей версии Delphi 7, разработанной компанией «Borland» в 2002 г., современную платформу Delphi XE2/XE3, главная особенность которой поддержка платформы x64 и кроссплатформенное компилирование приложения. База данных создана на СУБД InterBase 6.5, при этом большая часть запросов написаны в виде процедур, хранящихся на сервере БД и использующих структурированный язык запросов SQL, что позволит в дальнейшем быстро модифицировать приложение на работу с другой реляционной СУБД.

Интерфейс программного обеспечения представляет собой MDI-приложение, которое дает возможность одновременно работать с несколькими разнотипными объектами. MDI-приложение включает в себя: 1) панель для подготовки циклограмм и планирования эксперимента на КА «Вектор-МП»; 2) форму для визуализации графической информации (карта Земли в различных координатах, трассы КА, линии геомагнитного поля, авроральный овал, координаты станций наблюдения и др.); 3) панель для расчета сопутствующей геофизической информации на заданной высоте с учетом данных расчета ориентации прибора «Авровизор-ВИС/МП» и других объектов; 4) текстовые файлы с численными результатами; 5) панель с настройками пользователя.

Численная модель движения ИСЗ

Для решения задачи подготовки циклограммы для КА «Вектор-МП», по определению положения центра масс КА и ориентации в пространстве множества векторов наблюдения изображающего прибора «Авровизор-ВИС/МП» используется численная модель движения ИСЗ, разработанная в отделе небесной механики и астрометрии НИИ ПМММ ТГУ [4]. Так как программный комплекс «Вектор-М» и численная модель реализованы на разных языках программирования, то, вследствие этого, в численную модель движения ИСЗ были внесены незначительные изменения, которые позволили интегрировать численную модель в разрабатываемый проект. Среди этих изменений можно указать следующее: создание динамической подключаемой библиотеки (DLL), применение в качестве входных и выходных параметров текстовых переменных, использующих язык разметки (XML), использование модели атмосферы NRLMSISE-00 [5] и ряд других модификаций.

Кроме разработки и адаптации программных комплексов был проведен анализ степени влияния некоторых основных возмущающих сил на движения спутника Метеор-МП. Орбитальные характеристики, близкие к характеристикам проектируемого спутника Метеор-МП, приведены в таблице. Для учета светового давления масса спутника была принята равной 2630 кг, а площадь миделева сечения – 2 м².

Кеплеровы элементы орбиты ИСЗ Метеор-МП

Название элемента	Значение
Большая полуось, км	7213,136
Эксцентриситет	0,0003
Наклонение, град	98,068
Аргумент перицентра, град	0
Долгота восходящего узла, град	0
Средняя аномалия, град	0

Влияние возмущающих факторов на орбитальное движение ИСЗ Метеор-МП представлено на рис. 1. Приведенные результаты получены путем численной оценки модельной ошибки вследствие игнорирования тех или иных возмущающих сил на интервале времени равным 15 сут или 225 оборотам спутника.

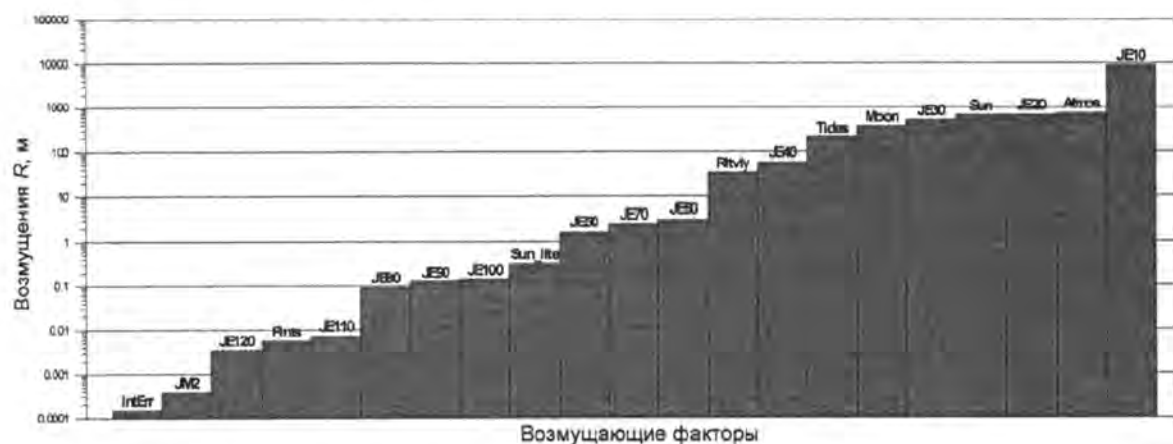


Рис. 1. Возмущения от силовых факторов для ИСЗ Метеор-МП

Из рис. 1 видно, что основными возмущающими факторами в движении ИСЗ Метеор-МП являются влияния первых 10 гармоник гравитационного поля Земли (JE10). Влияние от гармоник (JE20-JE120) убывает с увеличением порядка гармоник. Степень влияние сопротивления атмосферы (Atmos) и притяжения Солнца (Sun) и Луны (Moon), а также приливных сил (Tides) приблизительно одного порядка. Наименьший вклад в движения ИСЗ Метеор-МП вносит возмущение от сжатия Луны. Кроме того, на рисунке приведены оценки возмущений, обусловленные ошибками интегрирования (IntErr), релятивистскими эффектами (Rltvty), световым давлением (Sun_lite) и влиянием больших планет (Plnts).

Блок-схема программы «Вектор-М»

Для разработки структуры программы удобнее пользоваться записью алгоритма в виде блок-схемы. Таким образом, перед началом разработки диалоговой формы программы «Вектор-М» мы построили блок-схему (рис. 2), включающую в себя все блоки решаемых задач по данному договору.

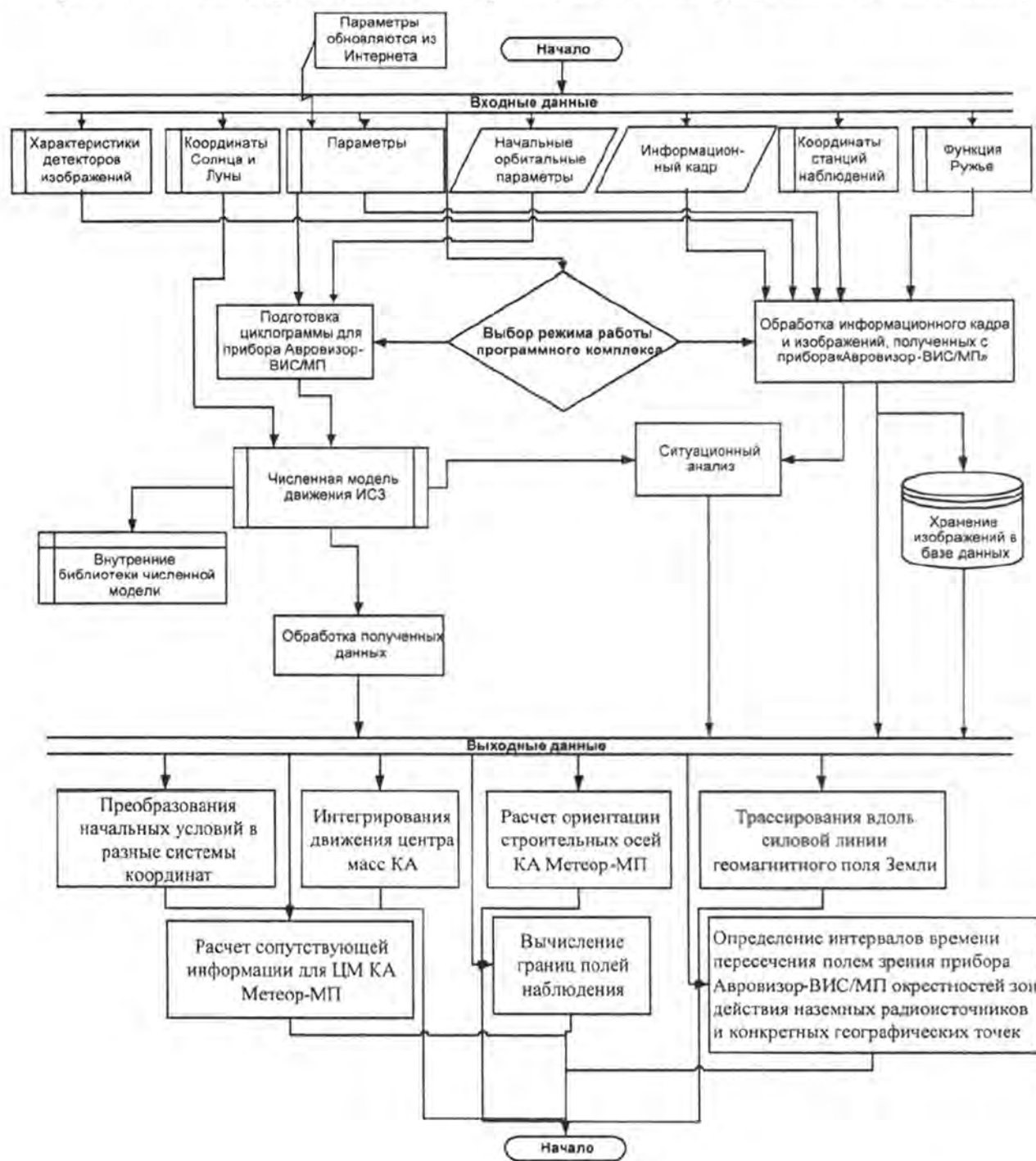


Рис. 2. Блок-схема разрабатываемого программного комплекса

Разрабатываемый программный комплекс будет состоять из следующих блоков:

1. Блок преобразования начальных условий из одной системы в другую (гринвические, абсолютные, оскулирующие).
2. Блок интегрирования движения центра масс КА по точкам с разной степенью точности (0,1 с, 1 с, 10 с, 1 мин, 5 мин). Интегрирование куска одной орбиты t_0-t_k , интегрирование одной орбиты, интегрирование N орбит. Расчет положения ЦМ КА Метеор-МП в заданные времена экспозиций (мс) изображений во время эксперимента.
3. Блок расчета ориентации строительных осей КА Метеор-МП в пространстве и привязки к ним направлений осей (векторов) элементарных пространственных углов полей зрения каж-

- дого элемента детекторов (1, 2 и 3) изображения ($1024 \times 1024 = 1048576$ элементов) в рамках всего пространственного угла поля зрения прибора $\Omega = 2\omega = 30^\circ$.
4. Блок трассирования вдоль силовой линии геомагнитного поля. Определение на момент экспозиции изображений сопряженных (по магнитному полю) номеров элементов Детектора 1, Детектора 2 и Детектора 3.
 5. Блок расчета сопутствующей информации для ЦМ КА Метеор-МП.
 6. Блок расчета сопутствующей информации на заданной высоте с учетом данных расчета ориентации для каждого элемента изображения. Будет предусмотрена возможность расчета сопутствующей информации для любого из элементарных векторов в рамках угла поля зрения. Заданная высота фиксируется (предварительно) как $h_0 = 0$ км, $h_1 = 270$ км, $h_2 = 105$ км, $h_3 = 150$ км.
 7. Блок расчета ситуаций, т.е. прогнозирования моментов пересечения ($\Delta \pm n$ с) окрестности одной и той же магнитной силовой линии двумя и более конкретными российскими и зарубежными КА, находящимися на разных (как низкоапогейных, так и высокоапогейных) орбитах.
 8. Вычисление границ полей наблюдения all-sky ($\Omega \sim 160^\circ$) монохроматических камер, установленных в конкретных точках поверхности Земли в северном и южном полушариях, для высот $h_1 = 270$ км и $h_2 = 105$ км. Определение (вдоль орбиты) интервалов времени пересечения полем зрения прибора Авровизор-ВИС/МП с полями зрения наземных приборов на указанных высотах.
 9. Определение интервалов времени пересечения полем зрения прибора Авровизор-ВИС/МП окрестностей зон действия наземных радиостендов и отдельных радиоисточников.
 10. Определение интервалов времени пересечения полем зрения прибора Авровизор-ВИС/МП окрестностей зон конкретных географических точек.

Нужно заметить, что для некоторых задач 1, 2 необходимо подключать «Численную модель движения систем ИСЗ», а для задач 4 и 5 – использовать базу данных изображений, полученных с прибора Авровизор-ВИС/МП.

Заключение

Таким образом, на данном этапе работы разработана системная идеология и выполнена часть задач, в частности модифицирована численная модель движения ИСЗ и создана на ее основе динамическая библиотека (DLL), проведен анализ степени влияния некоторых основных возмущающих сил на движения спутника Метеор-МП, разработано MDI-приложение, создана форма для визуализации графических данных, построена панель опций, с реализованной навигацией по карте мира, добавлена возможность работы с текстовыми файлами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Ю.И., Пономарев Ю.Н. Программа «Кадр» для расчета географических, геофизических и астрономических координат и других характеристик вдоль траектории спутника / Препринт ИКИ РАН. – 1971. – 32 с.
2. Прохоренко В.И., Назиров Р.Р., Зеленый Л.М. // Космические исследования. – 1998. – Т. 36. – № 6. – С. 648–659.
3. Кузьмин А.К. Дистанционная спектрофотометрическая диагностика характеристик авроральной ионосферы с орбит зарубежных и перспективных российских космических аппаратов / Препринт ИКИ РАН, Пр-2161. – 2011. – 49 с. Доступен на сайте ИКИ РАН <http://www.iki.rssi.ru/>
4. Бордовицына Т.В., Авдюшев В.А. Теория движения искусственных спутников Земли. Аналитические и численные методы: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 220 с.
5. Picone M., Hedin A.E., and Drob D. NRLMSISE-00 Model 2001 [Электронный ресурс]: Naval Research Laboratory. – URL: <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/atmos/nrlmsise00.html>.

*Национальный исследовательский

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

**Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

E-mail: astro.tsu@mail.ru

Поступила в редакцию 15.10.12.