

УДК 629.7

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПЛАНИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТОМ КА «КОРОНАС-ФОТОН»

Жигастова О.К.

*Центр управления полётами, Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Королёв*

Подробная информация об авторах размещена на сайте

«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

**В статье описаны структура, аппаратно-программные средства, алгоритмы и специальное программно-математическое обеспечение комплекса планирования и моделирования, позволяющие решать задачи управления полётом космического аппарата (КА) "Коронас-Фотон". Также даётся описание решения некоторых задач баллистического и командно-программного управления обеспечивающей и научной аппаратурой КА.**

КА "Коронас-Фотон" является научным спутником и предназначен для исследования процессов накопления свободной энергии в атмосфере Солнца и её трансформации в энергию ускоренных частиц, а также изучения механизмов ускорения частиц солнечных вспышек и исследования корреляции солнечной активности с магнитными бурями на Земле.

Управление КА "Коронас-Фотон" будет осуществляться из Центра управления полётами, расположенного в г. Королёве.

Для обеспечения управления полётом КА "Коронас-Фотон" был разработан программно-математический комплекс (ПМК) планирования полёта и моделирования состояния бортового комплекса управления (БКУ). ПМК позволяет решать весь спектр задач долгосрочного и оперативного планирования, а также моделирует состояние БКУ в части баллистического и командно-программного обеспечения.

Специальное программно-математическое обеспечение (СПМО) ПМК планирования полёта КА "Коронас-Фотон" было разработано для работы с кластером серверов на языке C++ и работает под управлением ОС Windows XP. СПМО состоит из базы данных (БД) сектора управления, расположенной непосредственно на серверах, модулей долгосрочного и оперативного планирования

полёта КА, модулей имитационной модели БКУ. Модули ПМК расположены на специализированных рабочих местах группы управления КА. Информационное взаимодействие между модулями осуществляется через БД сектора управления по протоколам FTP, TCP/IP.

В качестве системы управления базами данных используется СУБД реляционного типа Oracle. БД физически состоит из файлов операционной системы и содержит управляющие, журнальные файлы и файлы данных. Структурно БД состоит из: таблиц, индексов, хранимых процедур, триггеров и др. Таблицы БД сектора управления содержат технологические данные для планирования полёта и моделирования состояния БКУ, исходные данные для расчёта и формирования баллистической, командно-программной информации и данных планирования полёта КА, таблицы для хранения и передачи сформированных файлов и документов организациям, участвующим в процессе управления КА.

Основные модули программ ПМК:

1. СПМО формирования плана взаимодействия наземных средств управления (ПЗС);
2. СПМО моделирования работы БКУ;
3. СПМО формирования общего плана полёта КА (ОПП);

4. СПМО по формированию детального суточного плана полёта КА (СПП);

5. СПМО сервисных задач, предназначенных для работы с БД.

ПМК планирования полёта КА "Коронас-Фотон" был разработан по модульному принципу. Каждый модуль ПМК выполняет определённую операцию планирования и формирует выходные документы.

Исходные данные в ПМК поступают из БД сектора управления, далее формируется план задействования средств, производится расчёт координат и витков планирования БКУ, моделируется работа координатно-временных программ управления, моделируется процесс закладки информационного массива в БКУ и получения информации оперативного контроля, формируются общий и суточный планы полёта. Полученные в результате работы ПМК расчётные значения, файлы и документы сохраняются в БД сектора управления.

СПМО ПЗС предназначено для формирования плана задействования средств, в табличном виде, который включает в себя номера задействованных командно-измерительных пунктов, их средств и режимов для управления КА. СПМО сохраняет сформированный ПЗС в БД сектора управления, выдаёт на печать соответствующие документы.

СПМО моделирования работы БКУ делится на четыре взаимосвязанные задачи:

1. СПМО счёта координат и планирования витка. Исходными данными для расчета являются:  $T_{др}$  – драконический период,  $\Delta L_v$  – межвитковое расстояние,  $Гр1CB$  – граница первого суточного витка,  $T_{ву}(1)$  – время восходящего узла (ВУ) первого витка,  $L_{ву}(1)$  – долгота восходящего узла первого витка,  $\Delta T_c$  – значение поправки определения времени ВУ в течение суток, вызванной непостоянностью драконического периода на витках. Параметры орбиты, содержащие неизменяемые в процессе полета части, представляются в виде суммы двух слагаемых:  $T_{др} = T_{cons} + T_{var}$ ,  $\Delta L_v = \Delta L_{vcons} + \Delta L_{vvar}$ , где  $T_{cons}$ ,  $\Delta L_{vcons}$  – постоянные части параметров, а  $T_{var}$ ,  $\Delta L_{vvar}$  – изменяемые части параметров.

Координатами КА на витке являются следующие параметры орбиты, относящиеся к данному витку:  $T_{ву}$ ,  $L_{ву}$  и  $t$  – время полета КА от ВУ ( $0 \leq t < T_{др}$ ). Виток, на котором находится КА в данный момент, – текущий виток орбиты  $i$ , а последующий за ним – очередной  $i+1$ . Алгоритм реализует рекуррентный процесс определения времени и долготы ВУ на витке  $i+1$  по их значениям на витке  $i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$

Значения  $T_{ву}$ ,  $L_{ву}$  для витка  $i+1$  вычисляются по следующим формулам:  $L_{ву}(i+1) = L_{ву}(i) + \Delta L_v$ ,  $T_{ву}(i+1) = T_{ву}(i) + T_{др}$ , если виток не является 1-м «суточным витком» и  $T_{ву}(i+1) = T_{ву}(i) + T_{др} + \Delta T_{сут}$ , если является. При расчете долготы  $L_{ву}(i+1)$  проверяется условие  $L_{ву}(i+1) \geq 0$ . Если условие не выполнено ( $L_{ву} < 0$ ), то присваивается  $L_{ву}(i+1) = L_{ву}(i+1) + 360$  (град.).

Для реализации алгоритмов управления бортовой аппаратурой и расчета зон радиосвязи на борту КА ведётся счет «аппаратных суток» (АС), «суточных витков» (СВ) и порядкового номера витка ( $n$ ). Для более точной аппроксимации зон радиосвязи наземных пунктов зоны «суточного витка» делятся на 4 равные части – подобласти, в соответствии с номерами  $j$  ( $j = 1, 2, 3$  или  $4$ ). Счет подобластей возрастает в западном направлении. Алгоритм счета СВ, АС,  $j$  и  $n$  реализует также рекуррентный процесс определения их номеров для витка  $i+1$  по заданной информации на  $i$  витке. Проверяется условие нахождения долготы очередного «суточного витка» в зоне долгот первого «суточного витка»:  $Гр1CB + \Delta L_v < L_{ву}(i+1) \leq Гр1CB$ . Если это условие не выполнено то:  $СВ(i+1) = СВ(i) + 1$ ,  $АС(i+1) = АС(i)$ ,  $j(i+1) = j(i)$ . Если условие выполняется, то осуществляется переход на первый «суточный виток» новых «аппаратных суток»:  $СВ(i+1) = 1$ ; Если  $АС(i) < 14$ , то  $АС(i+1) = АС(i) + 1$ , Если  $АС(i) = 14$ , то  $АС(i+1) = 1$  и для новых «аппаратных суток» осуществляется расчет нового значения подобласти  $j$  зоны «суточных витков». Для расчета номера подобласти  $j$  вычисляется абсолютная величина:  $A = |L_{ву}(i+1) - Гр1CB| / \Delta L_v$ . Значения величины  $A$  лежат в диапазоне от 0 до 1 ( $0 \leq A < 1$ ). Номер подобласти зоны «суточного витка» определяется из

условий: Если  $A < 1/4$ , то  $j(i+1) = 1$ , если  $1/4 \leq A < 1/2$ , то  $j(i+1) = 2$ , если  $1/2 \leq A < 3/4$ , то  $j(i+1) = 3$ , если  $3/4 \leq A$ , то  $j(i+1) = 4$ .

Для управления сбросами различной информации КА на соответствующие наземные пункты приема информации (ППИ) и управления режимами комплекса научной аппаратуры (КНА) над зонами Земли с магнитными аномалиями в БКУ закладываются массивы начала/конца зон радиовидимости ППИ и зоны с неблагоприятными условиями наблюдения для КНА. Массивы зон содержат времена от ВУ в минутах для соответствующих «суточных витков» ( $1 \div 16$ ) по подобластям ( $1 \div 4$ ). Время входа/выхода КА на витке в зону определяется значениями СВ и номера подобласти витка из массива зон, а затем прибавляется к  $T_{ву}(i)$ .

На каждом текущем витке при пересечении КА нисходящего узла орбиты ( $T_{ну}(i) = T_{ву}(i) + T_{др}/2$ ) БКУ проводит планирование работы на виток  $i+1$ . При проведении планирования БКУ анализирует в ОЗУ область заявок на режимы работы циклограмм и область заданий на маскирование/размаскирование циклограмм и узлов циклограмм. Если циклограмма должна работать на очередном витке, то БУМ рассчитывает время ее запуска. Если рассчитанное время запуска приемлемое (не превышает  $T_{ву}(i+1) + T_{др}$  и не меньше  $T_{ну}(i) + 10$  мин.), то циклограмма ставится в очередь на выполнение.

СПМО рассчитывает координаты и витки планирования БКУ, рассчитывает расхождение со стандартной баллистической информацией (СБИ), выдаёт результаты расчётов в табличном виде, сохраняет их в БД и выдаёт на печать.

2. СПМО моделирования работы координатно-временных программ управления (МКВПУ). Координатно-временными программами управления называются циклограммы, которые вырабатывают программные команды управления, командные слова или массивы информации в оконечные устройства (ОУ) и зависят от положения КА на орбите (СВ, АС,  $j$  и  $n$ ).

Управление аппаратурой производится в момент достижения КА требуемых

соответствующей циклограммой координат орбиты. Циклограмма определяет последовательность обменов БУМ с ОУ относительно базового времени начала ее выполнения, задаваемого от момента пересечения ВУ  $n$ -го витка в диапазоне  $НУО(n-1) + 10 \text{ мин} < T_{нач} < ВУО(n+1)$ . У каждой циклограммы имеется отдельный именованный доступ по запуску и модификации – узел. Узел циклограммы представляет собой единичный обмен с ОУ или последовательность связанных обменов. Для каждого узла циклограммы задается: относительное время узла от начала времени циклограммы, командное слово (КС) или адресный номер программы-реакции, которую следует выполнить после обмена. Время выполнения обмена для узла циклограммы рассчитывается суммированием времени начала циклограммы  $T_{нач}$  и относительного времени узла циклограммы и, если оно равно  $n$ , то это означает, что обмен должен совершиться на  $n$ -ой секунде от момента пересечения ВУ.

СПМО моделирования работы координатно-временных программ управления имитирует исполнение циклограмм БКУ, определяя их последовательность выполнения, формирует списки программных команд управления, командных слов и других управляющих воздействий по времени, выдаёт результаты расчётов в табличном виде, сохраняет их в БД и выдаёт на печать соответствующие документы.

3. СПМО обратного преобразования массива командно-программной информации. Выполнение заданий НКУ осуществляется посредством приёма и обработки фраз командно-программной информации (КПИ). Фраза состоит из 512 бит информации - 32-х 16-разрядных слов, 1-ое и 32-ое слова фразы служебные. 1-ое слово содержит код фразы, а 32-ое – контрольную сумму слов фразы с 1 по 31, остальные слова информационные. СПМО считывает из БД сформированный информационный массив, закладываемый на борт КА, определяет, с какого витка необходимо произвести изменение параметров модели БКУ, проводит анализ массива на соответствие возможных значений, задаваемых в БКУ, сохраняет новые значения в модели БКУ и

выдаёт на печать соответствующие документы.

4. СПМО формирования информации оперативного контроля. Контроль выполнения заданий НКУ и непосредственно состояния модели БКУ осуществляется посредством получения информации оперативного контроля, по запросу. СПМО считывает необходимые параметры из модели БКУ и формирует массивы фраз, каждый массив состоит из 512 бит информации, сохраняет массивы в БД и выдаёт на печать соответствующие документы.

СПМО ОПП считывает сформированный файл ПЗС и списки программных команд управления, формирует общий план полёта в табличном виде, который содержит времена и параметры витков, номера времена средств и режимов задействованных командно-измерительных пунктов, списки циклограмм, разовых и программных команд управления. СПМО формирует файлы для СПМО формирования СПП, записывает их в БД и выдаёт на печать соответствующие документы.

СПМО СПП считывает файлы со списками сформированных режимов включений обеспечивающей и научной аппаратуры, номеров рабочих циклограмм, разовых и программных команд, формирует суточный план полёта КА и отображает его в графическом виде на экране монитора, выдаёт на печать соответствующие документы.

СПМО сервисных задач, предназначенное для работы с БД, позволяет просматривать, импортировать или экспортировать сформированные файлы и документы комплекса планирования в БД сектора управления, в архивные таблицы, а также просматривать баллистическую информацию.

Разработанный программно-математический комплекс отлажен, проверен, прошел предварительные и приемно-сдаточные испытания, использовался при проведении предварительных испытаний аппаратно-программных средств управления КА "Коронас-Фотон". Созданный

комплекс готов к проведению заключительных испытаний и использованию при управлении полётом КА "Коронас-Фотон".

В процессе создания ПМК была разработана значительная универсальная часть СПМО решения типовых задач управления.

Разработанный программно-математический комплекс в будущем планируется применить для решения задач управления другими перспективными КА научного и социально-экономического назначения (НСЭН). В этом случае при подготовке к управлению потребуются модернизация лишь специальной части программно-математического обеспечения, учитывающего особенности целевого назначения и бортовых систем КА.

Использование универсальной составляющей части программно-математических средств позволит снизить затраты на подготовку к управлению каждым последующим КА и снизить затраты на обеспечение функционирования ЦУП КА НСЭН в целом в процессе их управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бровкин А.А., Жигасова О.К., Кондаков А.Ю. Разработка и внедрение универсального программно-математического комплекса планирования и реализации сеансов связи для космических аппаратов научно-социального и экономического назначения, ориентированных на использование командной радиолинии «Тамань-база» // Федеральное Космическое Агентство ИПК «Машприбор», 2007 г. С. 15 – 18.

2. Жигасова О.К. Общие методологические принципы и универсальные программно-математические средства управления КА научного и социально-экономического назначения» // Сборник тезисов 1-ой Международной конференции академий космонавтики и астронавтики «Космос для человечества», 2008 г. С. 120 – 121.

**DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE PACKAGE OF A COMPLEX OF PLANNING  
AND MODELLING FOR MISSION CONTROL OF THE AUTOMATIC SPACECRAFT  
"KORONAS-PHOTON"**

Zhigastova O.K.

*Mission Control Centre, Central scientific research institute of mechanical engineering,  
Korolev, Russia*

The article describes the structure, algorithms, hardware-software means and a special software package of a complex of planning and modelling which allow solving a tasks of mission control of an automatic spacecraft "Koronas-Photon". It is also gives the description of the solutions for some tasks of ballistic and command-program control by special and scientific on-board equipment.