

УДК 629.78.05

## **Принципы построения системы управления движением космического аппарата**

С.В. Кравчук, М.А. Шатский, А.Ю. Ковалев

### **Аннотация**

В работе предложены принципы построения программного обеспечения иерархической системы управления движением космического аппарата, предназначенной для координации работы различных подсистем системы управления КА (систем угловой стабилизации, системы информационного обеспечения и др.) с целью выполнения функций КА на различных участках полета (выполнение целевой задачи, коррекция орбиты, парирование отказов и т.д.). Изложенные принципы внедрены в МОКБ «Марс» при разработке бортовых комплексов управления различных КА.

### **Ключевые слова**

Космический аппарат; система управления движением; бортовой комплекс управления.

### **Введение**

Состав алгоритмов, реализованных в бортовом программном обеспечении (БПО) бортовых комплексов управления космических аппаратов (БКУ КА) зависит от назначения КА, особенностей конструкции, в частности от используемых органов управления и источников информации и т.д. [1],[2]. При этом, например, замена типа используемого датчика и/или органа управления приводит к необходимости значительной переработки алгоритмов, реализуемых в БКУ. Следовательно, актуальной является задача повышения эффективности процесса разработки БПО. Среди возможных направлений исследований можно выделить задачу унификацию алгоритмов систем управления КА, решение которой в

конечном итоге должно привести к созданию эффективной универсальной технологии проектирования БПО БКУ.

На начальном этапе решения этой задачи необходима разработка принципов структурного деления алгоритмов БКУ с целью обеспечения их унификации. Для этого производится разделение всего полета ЛА на участки, различающиеся по каким-либо критериям и выделение на основе такого разделения режимов работы БКУ. Для формулирования таких критериев необходимо провести тщательный анализ функций, выполняемых БКУ с целью выделения автономных функций, выполнение которых требует минимального взаимодействия между подсистемами БКУ. Очевидно, основным критерием для выделения режима работы является выполняемая функция (например, обеспечение энергопритока или коррекция орбиты), а также дополнительные обстоятельства, такие как: используемый набор датчиков, исполнительных органов, алгоритмов.

Правильный выбор критериев позволяет определить минимальный набор признаков, описывающих состояние системы и используемых всеми подсистемами БКУ для определения того, какие именно действия должны производиться в данный момент: какие бортовые устройства должны быть задействованы и какие программные модули должны вызываться диспетчерами подсистем.

Выделение режимов работы БКУ в соответствии с определенными выше критериями позволяет разработчику или группе разработчиков реализовывать и отлаживать соответствующий каждому режиму набор алгоритмов автономно, используя упрощенные имитационные математические модели. На этапе автономной отработки алгоритмы должны быть проверены на соответствие различным требованиям. Например, должна обеспечиваться многозадачность выполнения режима: т.е. по команде БКУ на начало выполнения режима должна выполняться инициализация используемых переменных, выполнение всех необходимых для начала режима операций.

С другой стороны, учитывая ограниченность возможных вариантов бортовых устройств используемых на КА, можно определить некоторый набор типовых полетных операций (ТПО), на основе которых могут быть построены алгоритмы режимов. Такие операции в основном связаны с функциями, выполняемыми системой ориентации и стабилизации: разворот с заданной скоростью вокруг заданной оси, разворот на заданный угол и т.п. Алгоритмы, реализующие ТПО, являются универсальными и используются при реализации подрежимов с различными параметрами.

При построении диспетчеров режимов БКУ и анализе особенностей их работы используются элементы теории графов и язык графического моделирования Uml, различные методы графического моделирования. А при решении задач функционального контроля особое значение приобретают различные методы интеллектуальных систем.

### **Система управления движением КА**

Указанные выше принципы применены в МОКБ «Марс» при разработки структуры система управления движением (СУД) является программной подсистемой, входящей в состав БКУ КА, и предназначена для осуществления программного управления и координации подсистем БКУ КА с целью обеспечения выполнения функциональных задач КА в части управления ориентацией и навигацией КА, солнечными батареями.

**Структура системы** управления движением (СУД) КА является иерархической и включает 3 уровня: уровень типовых полетных операций, уровень режимов работы, уровень способов управления режимами работы.

Элементарными операциями, которые могут быть реализованы СУД, являются *типовые полетные операции* (ТПО) определяющие способ задания ориентации КА, например, разворот вокруг заданной оси на заданный угол. ТПО реализуются подсистемой СУД - системой программного управления (СПУ).

Последовательности ТПО, реализуемые с целью выполнения какой либо функциональной задачи, определяют *режим работы СУД*, например, режим построения Солнечной ориентации. Все режимы работы СУД реализуются группой алгоритмов – диспетчеров режимов через имеющийся набор ТПО.

Управление переходами СУД в различные режимы осуществляется алгоритмами – диспетчерами управления режимами в зависимости от текущего *способа управления режимами СУД*, например, по циклограмме начального участка или по ПЗ.

После формирования структуры СУД реализована логика работы СУД в различных ситуациях, в том числе, например, обеспечение корректной смены режимов СУД во всех возможных вариантах. Для разработки и анализа соответствующих алгоритмов использовались элементы языка UML [4], в частности диаграммы функционирования КА на различных участках полета, позволяющие проанализировать правильность построения алгоритмов, например, выявить «защикливания».

## Примеры работы СУД

Для оценки результатов работы СУД на этапе испытаний и в штатной эксплуатации используется телеметрическая информация. Основной ТМИ для СУД является набор признаков, описывающий текущий режим работы СУД: код ТПО – режим работы – режим управления, дополнительно используются признаки, описывающие состояние других подсистем.

Далее рассматривается пример протокола ТМИ на начальном участке полета КА (построение Солнечной ориентации и переход в штатную ориентацию).

02.02.2009 00:00:00	0.0	ntusud 1	Начальный участок
02.02.2009 00:00:00	0.0	nrsud 1	Подготовительный режим
02.02.2009 00:00:00	0.0	nrssso 5	Режим работы ССО - режим отключения управления
02.02.2009 00:22:55	1375.1	nrsud 2	начальное демпфирование угловых скоростей
02.02.2009 00:22:55	1375.1	nusso 2	Стабилизация и развороты с использованием ДС
02.02.2009 00:22:55	1375.1	nrssso 3	Режим работы ССО - режим демпфирования
02.02.2009 00:23:11	1391.1	nrsud 5	Построение Солнечной ориентации (ПСО)
02.02.2009 00:23:11	1391.1	nrssso 2	Режим работы ССО - режим стабилизации
....			
02.02.2009 00:46:09	5169.7	rupnas 1	Признак «Солнечная ориентация построена»
02.02.2009 01:50:01	6601.0	nrsud 15	АК из неориентированного положения
02.02.2009 02:18:07	8287.8	pakn 1	Астрокоррекция проведена
02.02.2009 02:18:07	8287.9	ntusud 2	Автономное управление
02.02.2009 02:18:08	8288.0	nrsud 3	инерциальная ориентация (ИНО)
....			

## Заключение

Предложены принципы построения иерархической системы управления движением космического аппарата, предназначенной для координации работы различных подсистем системы управления КА (систем угловой стабилизации, системы информационного

обеспечения и др.), позволяющие создавать универсальные бортовые алгоритмы для КА различного назначения.

Изложенные принципы внедрены в МОКБ «Марс» при разработке бортовых комплексов управления различных КА, в частности КА ДЗЗ Монитор-Э, Электро-Л, КА связи Kazsat, Экспресс МД1, научного КА Спектр-Р, а также планируются для использования в перспективных разработках. При этом алгоритмы СУД продемонстрировали свою эффективность как с точки зрения технологии разработки бортового ПО, так и с точки зрения эксплуатации.

### **Библиографический список**

[1] Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическими летательными аппаратами. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1974.

[2] Разыграев А.П. Основы управления полетом космических аппаратов: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990.

[3] Е.А.Микрин Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.

### **Сведения об авторах**

Кравчук Сергей Валентинович, начальник направления, к.т.н. ФГУП Московское опытно-конструкторское бюро Марс, [otdel246.mars@mail.ru](mailto:otdel246.mars@mail.ru).

Шатский Михаил Александрович, начальник отдела, к.т.н. ФГУП Московское опытно-конструкторское бюро Марс, [otdel246.mars@mail.ru](mailto:otdel246.mars@mail.ru).

Ковалёв Алексей Юрьевич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета), [alexeykoval@gmail.com](mailto:alexeykoval@gmail.com).