

---

---

# КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

---

---

УДК 681.3

А. М. БАРАНОВСКИЙ, А. Е. ПРИВАЛОВ

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Рассматривается структура и принципы функционирования системы контроля и диагностирования в составе бортового комплекса управления малого космического аппарата. Предлагается модель, которая должна самостоятельно и своевременно в соответствии с текущей ситуацией и целевой установкой формулировать и решать поставленные задачи.

*Ключевые слова:* бортовой комплекс управления, управление техническим состоянием, система контроля и диагностирования, экспертная система, метод активной идентификации.

**Введение.** Важнейшей составляющей космического аппарата (КА) является бортовой комплекс управления (БКУ). На него возлагаются функции управления ориентацией и стабилизацией КА, управления целевым оборудованием, энергопитанием, связью с наземными комплексами. Помимо этого БКУ должен осуществлять оперативный анализ структурно-параметрических отклонений состояния бортовых систем КА от нормы, вырабатывать решение о компенсации (парировании) этих отклонений с целью сохранения работоспособного состояния или управления постепенной деградацией технического состояния КА. Одна из основных проблем, возникающих при разработке современных малых космических аппаратов (МКА), — создание эффективных средств выработки управляющих воздействий бортовым комплексом управления при возникновении нештатных ситуаций [1].

В настоящее время на борту некоторых КА решается только задача контроля технического состояния (ТС). Задача диагностирования и управления ТС в большинстве случаев реализуется в наземном комплексе управления (НКУ). Таким образом, между моментом возникновения нештатной ситуации и выдачей управляющих воздействий на ее парирование возможен большой промежуток времени (от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от зоны радиовидимости КА, плана сеансов связи и времени принятия решения в НКУ), в течение которого потребителям может быть выдана неверная информация или нештатная ситуация может перерасти в аварийную.

Одним из способов решения этой проблемы является возможность переноса всего комплекса задач контроля, диагностирования и управления ТС на борт КА.

**Встроенная система контроля МКА.** Система контроля и диагностирования (СКД) представляет собой совокупность аппаратных средств и программного обеспечения, функционирующих в составе БКУ.

В состав БКУ МКА (рис. 1), как правило, входят [1]:

- информационно-управляющая система (ИУС), состоящая из бортовых вычислительных средств (БВС), средств бортовых измерений (СБИ), средств управления бортовой аппаратурой (СУБА),
- бортовая аппаратура командно-телеметрической радиолинии (КТРЛ);
- программное обеспечение БКУ (ПО БКУ).

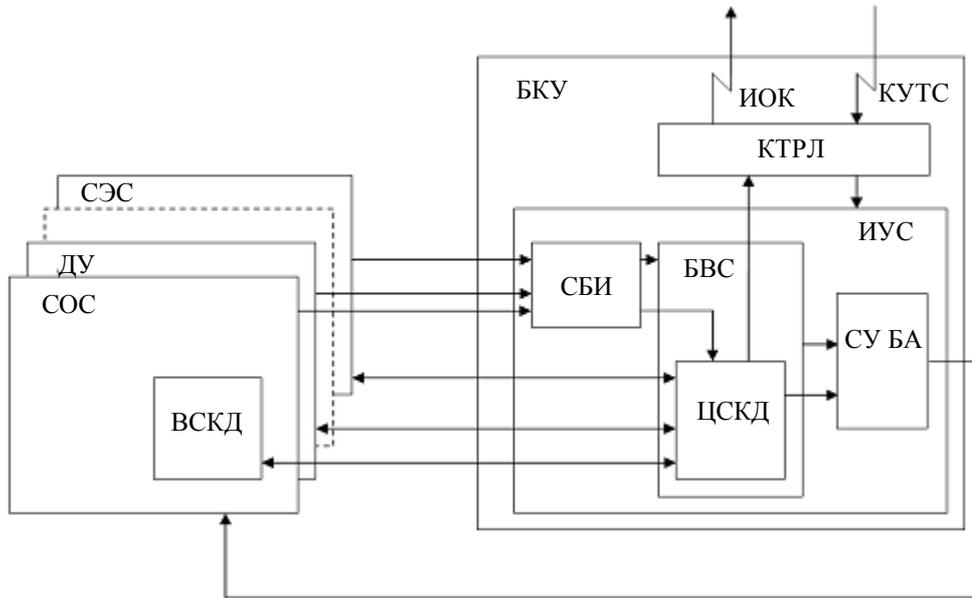


Рис. 1

Автономное решение задач контроля, диагностирования и управления возлагается на встроенную СКД. Для обеспечения заданной полноты контроля (как правило, не ниже 0,95 [1]) и организации взаимодействия с НКУ предлагается следующая архитектура уровней построения средств контроля и диагностирования БКУ (см. рис. 1):

- 1) программные и аппаратные средства НКУ;
- 2) программные и аппаратные средства БВС — центральные средства контроля и диагностирования (ЦСКД);
- 3) встроенные средства контроля и диагностирования (ВСКД).

Встроенные средства контроля и диагностирования должны оценивать ТС отдельных функциональных модулей (приборов, систем, каналов) перед включением их в работу, контролировать правильность их функционирования по целевому назначению и выдавать контрольную информацию в ЦСКД (на рис. 1: СЭС — системы электроснабжения, ДУ — двигательная установка, СОС — система ориентации и стабилизации). ЦСКД формирует обобщенный код состояния БА МКА, координирует работу ВСКД и бортового оборудования (в том числе и БКУ) при обнаружении отказов и предотвращении развития аварийных ситуаций, принимает меры по восстановлению работоспособности аппаратуры, а также управляет процессом сбора и передачи информации оперативного контроля (ИОК) и телеметрической информации (ТМИ) при невозможности принятия решения бортовой системой диагностирования. Средства НКУ анализируют ТС бортовой аппаратуры МКА по ТМИ, если принятие достоверного решения невозможно на борту МКА, и вырабатывают команды управления техническим состоянием (КУТС).

Можно выделить четыре режима функционирования СКД МКА:

- тестирование МКА при наземных испытаниях;
- тестирование МКА (или отдельных подсистем) перед включением в штатную работу или перед выполнением особо важных операций;

- контроль и управление конфигурацией бортового оборудования при штатном функционировании;
- поиск и устранение неисправностей.

**Программное обеспечение СКД.** Контроль и диагностирование МКА — типичная задача из класса обратных: по результатам наблюдений за признаками дефектов необходимо определить вид технического состояния, соответствующий наблюдаемым признакам. Следовательно, как и всякая классическая обратная задача, задача контроля и диагностирования решается не всегда корректно [2], т.е. решение о текущем ТС БКУ не всегда соответствует истинному состоянию не только из-за погрешностей измерений признаков, методических погрешностей назначения допусков, но и по причине некорректности постановки задачи в некоторой области. Для исключения таких ситуаций при разработке алгоритмов контроля и диагностирования область корректности постановки задачи в некотором пространстве должна быть заранее исследована и определена. Для этого необходимо иметь полное описание бортовых систем (БС), прежде всего модели их возможных технических состояний. Однако из-за сложности систем, входящих в состав КА, и воздействия различных факторов на процесс контроля практически невозможно получить полное и точное описание БС.

Таким образом, задача принятия решения о ТС КА осложняется низким качеством информации или ее отсутствием. Решение такой задачи под силу только системам с элементами искусственного интеллекта. Поэтому в качестве ПО ЦСКД, под управлением которого функционирует система контроля и диагностики КА, выбрана экспертная система (ЭС) контроля и диагностирования. Особенность предлагаемой экспертной системы заключается в том, что вместо диалога с человеком-пользователем система должна самостоятельно в соответствии с текущей ситуацией и целевой установкой своевременно формулировать и решать поставленные задачи. Экспертная система предназначена для решения таких задач, как экспресс-контроль, контроль по обобщенным параметрам, диагностирование дефектов с различной глубиной (детализацией) и достоверностью, определение последствий отказа, прогнозирование ТС и другие. В качестве исходных данных в ЭС используется контрольная информация, формируемая на основе опроса датчиков, информация, полученная в результате тестирования отдельных подсистем, знания о составе и функциональных взаимосвязях объекта диагностирования, а также данные из рабочей программы функционирования МКА, характеризующие его целевое применение.

Очевидно, что процесс принятия решения ЭС должен состоять из нескольких этапов: постановки задачи, планирования ее решения и последующей реализации. При этом ЭС должна проводить трехуровневую обработку знаний: на верхнем уровне — определение текущих целей контроля и диагностирования, на среднем — выбор стратегии диагностирования, на нижнем — собственно реализация стратегии. Соответственно будут различаться и знания, которыми будет оперировать ЭС на различных уровнях обработки информации [3].

В связи с этим предлагается трехуровневая модель экспертной системы, схема функционирования которой представлена на рис. 2.

К задачам верхнего уровня ЭС относятся:

- анализ программы целевого функционирования МКА, формирование на его основе целей и задач контроля и диагностирования и выдача этой информации среднему уровню ЭС;
- прием от среднего уровня ЭС информации о классе (виде) технического состояния бортовых систем;
- принятие на основе информации о ТС БС решения о готовности к выполнению программы полета и вывод решения в БКУ;
- управление МКА в аварийных ситуациях (АС);

— определение оставшихся ресурсов и задействование альтернативных программ функционирования МКА.

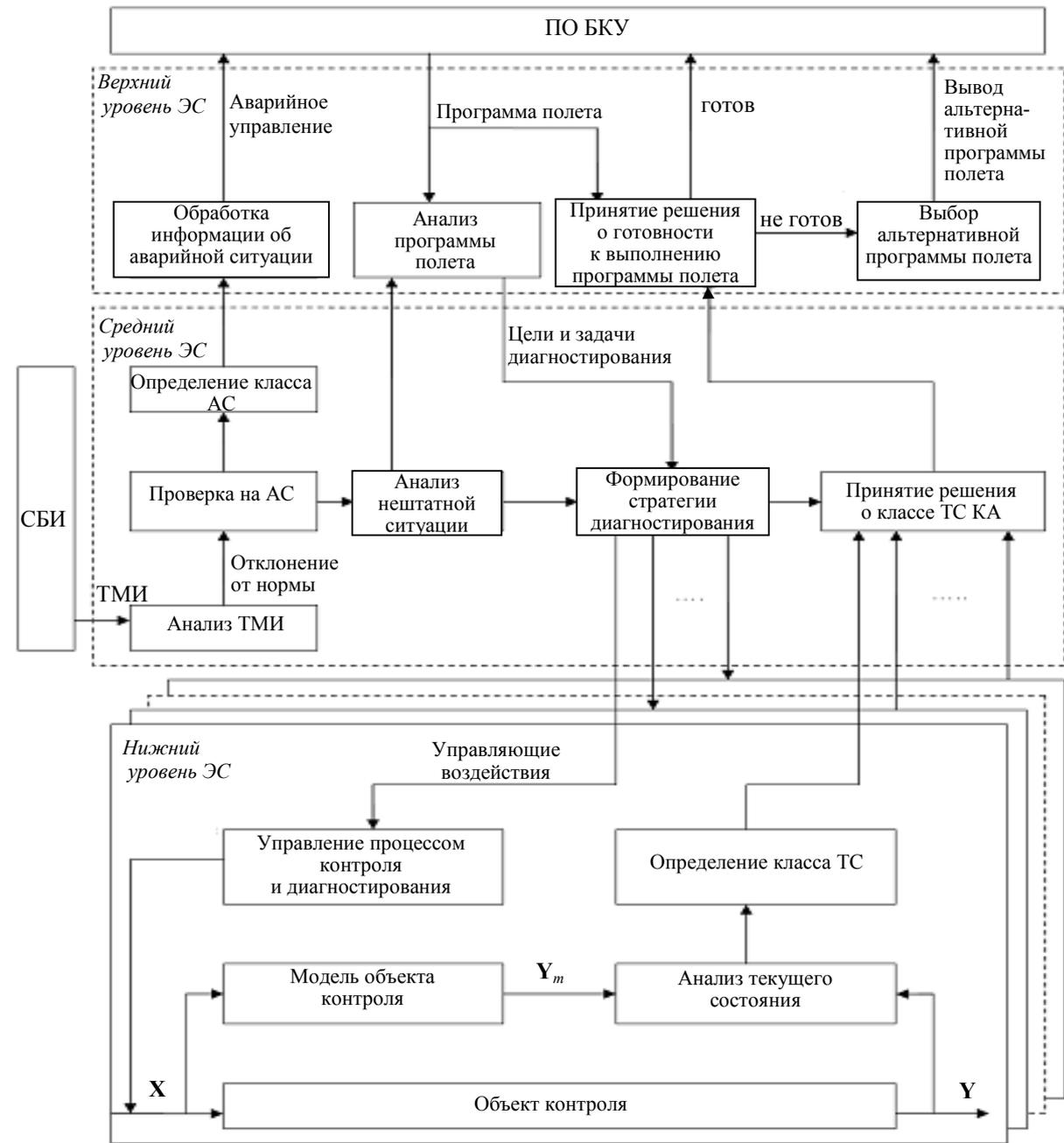


Рис. 2

Системы контроля и диагностирования решают множество текущих задач, например:

— контроль правильности функционирования систем МКА. Данная задача связана с определением „траекторий“ (последовательностей) ТС составных частей систем;

— контроль ТС подсистем МКА. Эта задача связана с определением вида ТС всех элементов подсистем до необходимого уровня детализации (блока, модуля) в фиксированный момент времени или на фиксированном интервале времени;

— выявление отклонений и анализ причин их возникновения. Эта задача по существу представляет задачу диагностирования дефектов подсистем МКА, однако понимается в несколько расширенном смысле: не только выявление и локализация места, но и установление причины дефекта;

— прогноз последствий отклонений, выявляются также возможные ограничения на выполнение целевых функций МКА, которые возникают при развитии последствий;

— парирование отклонений, т.е. формирование управляющих воздействий на устранение или компенсацию отклонений, в частности, задействование всех типов резерва систем МКА.

К задачам среднего уровня ЭС относятся:

— определение стратегии диагностирования на основании анализа целей и задач, выработанных на верхнем уровне;

— вывод о ТС на основании анализа информации о ТС бортовых систем МКА;

— получение информации от СБИ, ее анализ;

— идентификация аварийной ситуации и передача информации о ее классе верхнему уровню ЭС.

Верхний и средний уровни реализованы на вычислительных средствах центральной вычислительной системы.

В задачи нижнего уровня ЭС входят:

— управление процессом диагностирования отдельной системы (подача на вход системы тестовых воздействий, формирование функциональных разбиений [4]);

— формирование модельного (эталонного) значения выхода системы и сравнение его с реальным;

— принятие решения о ТС отдельной системы.

Нижний уровень ЭС реализован на встроенных вычислительных средствах системы контроля и диагностирования. Система МКА на нижнем уровне рассматривается как объект управления и контроля, текущее состояние которого должно в каждый фиксированный момент времени соответствовать состоянию, заданному моделью функционирования бортовой аппаратуры. Контроль технического состояния КА проводится по результатам сравнения вектора текущего состояния  $Y$  бортовой аппаратуры, полученного при испытании объекта диагностирования, и вектора состояния модели  $Y_m$ , а также на основе результатов параметрической идентификации.

Для решения задачи определения класса ТС систем также используется метод активной параметрической идентификации [5]. Активные методы идентификации не требуют значительных интервалов наблюдения и позволяют получать приемлемую точность оценок, но связаны с подачей на вход зондирующих сигналов, что может привести к недопустимо большим отклонениям траекторий движения системы от программных. Поэтому в ходе функционирования МКА можно применять только такие методы активной идентификации, которые обеспечивают приемлемые характеристики качества оценивания и отклонение истинного значения вектора состояния системы от программного на допустимые значения. Предъявленным требованиям удовлетворяют методы идентификации, основанные на принципе автогенераторных измерений, заключающемся в возбуждении информационных колебаний путем введения нелинейной обратной связи. Предложенный метод активной идентификации достаточно эффективен при использовании для диагностики динамических систем [5].

**Заключение.** Применение интеллектуальной системы контроля и диагностирования в составе БКУ позволяет решить задачу переноса процесса принятия решения о ТС, в том числе при возникновении нештатных ситуаций, на борт МКА. Предлагаемая трехуровневая модель построения интеллектуальной системы наиболее полно отражает три этапа задачи принятия решения — постановку задачи, планирование и реализацию плана. Использование метода активной идентификации на нижнем уровне позволяет осуществлять тестовый контроль приборов и систем, не прибегая к помощи дополнительного испытательного оборудования. Эта особенность позволяет решать задачи контроля, диагностирования и управления ТС средствами бортовой аппаратуры, что важно как на этапе активного функционирования КА, так и на этапе подготовки его к запуску.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микрин Е. А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 336 с.
2. Филлин В. М., Пчелинцев Л. А., Денчик В. Н. и др. Оптимизация диагностики космического разгонного блока. М.: Едиториал УРСС, 2004. 184 с.
3. Полянский В. И., Кузнецов А. Б. Выбор формальной модели представления знаний для решения задач бортового диагностирования // Изв. вузов. Приборостроение. 1997. Т. 40, № 8. С. 51—54.
4. Барановский А. М., Яфряков М. Ф. Об одном подходе к организации функционального контроля и диагностики // Вопросы анализа и синтеза систем управления, контроля и диагностики. Л.: МО СССР, 1990. С. 4—30.
5. Барановский А. М. Активная идентификация систем стабилизации // Изв. вузов. Приборостроение. 1997. Т. 40, № 8. С. 31—34.

**Сведения об авторах**

- Анатолий Михайлович Барановский** — канд. техн. наук, доцент; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра автоматизированных систем подготовки и пуска ракет и космических аппаратов, Санкт-Петербург;  
E-mail: bamvka@mail.ru
- Александр Евгеньевич Привалов** — адъюнкт; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра автоматизированных систем подготовки и пуска ракет и космических аппаратов, Санкт-Петербург;  
E-mail: aleksaderpo4ta@mail.ru

Рекомендована Ученым советом  
ВКА им. А. Ф. Можайского

Поступила в редакцию  
20.10.08 г.