

**РАСШИРЕНИЕ МНОЖЕСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕДУРАХ  
АППАРАТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БОРТОВЫХ  
КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

© 2016 г. Л.В. САВКИН

ПАО «Радиофизика», г. Москва,  
Московский авиационный институт  
e-mail: solaris.rafo@gmail.com

**Введение**

В ряде прикладных задач, связанных с оптимизацией контрольно-диагностического обеспечения сложных технических систем, иногда прибегают к «временному» расширению множества диагностических параметров  $Q = \{q_i, i \in \overline{1, I}\}$  объекта диагностики [2] так, чтобы  $Q \Rightarrow Q^* = \{q_i + q_j, i \in \overline{1, I}, j \in \overline{I+1, J}\}$ , где  $Q^*$  – расширенное множество диагностических параметров, вводимое на некотором конечном интервале  $\Delta t$  времени функционирования рассматриваемой системы  $S$ . Конечной целью данного подхода в основном является либо увеличение глубины локализации аппаратно-программных неисправностей на соответствующих условных аппаратных и программных уровнях [1, 2] системы  $S$ , либо дополнительный учет некоторых свойств системы  $S$ , описываемых параметрами  $q_j$ , которые не всегда требуется контролировать в рамках штатного контрольно-диагностического обеспечения.

Говоря о способах расширения множества диагностических параметров  $Q$ , можно выделить как прямые, так и косвенные подходы, позволяющие получить требуемый набор параметров  $Q^*$ . *Прямой* подход в большинстве случаев можно интерпретировать как увеличение общего числа контрольных точек, реализуемых схемой встроенного контроля системы контроля и диагностики. *Косвенный* подход, как правило, заключается во введении дополнительных нелинейностей [2] в отдельные параметры диагностической модели системы  $S$ , что играет важную роль в тех случаях, когда общее число контрольных точек системы  $N_S$  не может быть увеличено, т. е.  $N_S(t) = \text{const}$ , или  $N_S(t) \leq N_S^{\text{max}}$ .

Проблему расширения множества диагностических параметров целесообразно рассматривать в качестве одной из задач оптимизации диагностических моделей, причем речь в данном случае идет о методах преимущественно *аппаратной* оптимизации диагностических моделей, рассматриваемых в контексте ранее предложенной реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики (СФКД) бортового комплекса управления (БКУ) космического аппарата (КА). Таким образом, настоящая работа посвящена разработке и исследованию способов расширения множества диагностических параметров БКУ  $Q$ , отражающихся как на известных [4] ограничениях диагностических моделей БКУ, так и на особенностях взаимодействия реконфигурируемой СФКД с БКУ КА [5].

**Ц е л ь р а б о т ы** – исследование способов расширения множества диагностических параметров в процедурах аппаратной оптимизации диагностических моделей БКУ КА, реализуемых посредством реконфигурируемой СФКД.

## 1. Аппаратная оптимизация диагностических моделей БКУ КА

В рамках данной работы под *аппаратной оптимизацией* диагностических моделей БКУ КА в самом общем случае понимается совокупность процедур, реализуемых аппаратным образом в реконфигурируемом вычислительном поле (РВП) [3-5] СФКД, которые направлены на идентификацию аппаратно-программных неисправностей БКУ, возникающих на его условных аппаратных  $\eta_k^{(h)}, k \in \overline{1, K}$  и программных  $\eta_m^{(s)}, m \in \overline{1, M}$  уровнях за минимально возможное время  $\Delta t$ . Последнее, в свою очередь, может быть представлено в виде суммы  $\Delta t = t_{рек.} + t_{энт.} + t_{подм.} + t_{реш.} + t_{др.}$ , где  $t_{рек.}$  – время, затрачиваемое на реконфигурацию СФКД после автоматического подтверждения о смене штатной архитектуры РВП;  $t_{энт.}$  – время, затрачиваемое на сопоставление эталонных и регистрируемых данных;  $t_{подм.}$  – время, затрачиваемое на подтверждение данных о завершении реконфигурации СФКД;  $t_{реш.}$  – время, затрачиваемое на принятие решения (в решающем устройстве СФКД) о локализации (наличии либо отсутствии) неисправности на условных аппаратно-программных уровнях БКУ КА;  $t_{др.}$  – время, затрачиваемое на другие процессы в ходе аппаратной оптимизации диагностической модели (моделей) БКУ КА.

Пусть, к примеру, на интервале времени  $[t_1; t_2]$  алгоритм диагностирования БКУ  $A_1$ , описываемый соответствующей конфигурационной функцией [5]  $K_1$ , позволял обеспечить глубину локализации неисправности какой-либо подсистемы БКУ КА на условном аппаратном уровне  $\eta_5^{(h)}$ . Предположим теперь, что в процессе анализа технического состояния БКУ выяснилось, что глубину локализации неисправности необходимо понизить до условного аппаратного уровня БКУ  $\eta_3^{(h)}$ , что потребует перехода СФКД на алгоритм  $A_2$ , реализация которого в виде соответствующей архитектуры РВП будет описываться конфигурационной функцией  $K_2$ . Реконфигурация СФКД БКУ займет некоторый промежуток времени  $[t_2; t_3]$ , после чего в составе РВП СФКД будет сформирована архитектура (или новый фрагмент исходной архитектуры), соответствующая более оптимальной диагностической модели БКУ, по сравнению с предыдущей. В тоже время, поскольку вариантов значений конфигурационных функций  $K_2$  может быть несколько, причем таких, что все они будут удовлетворять возможности аппаратной реализации алгоритма  $A_2$ , оптимальной будет считаться та диагностическая модель БКУ, которая потребует минимального значения  $\Delta t$ . Для рассмотренного примера это правило можно условно представить в виде выражения

$$K : \{A_1(K_1) \rightarrow A_2(K_2)\}_{\text{opt}} \Rightarrow \eta_5^{(h)} \xrightarrow{\Delta t} \eta_3^{(h)} (\Delta t = [t_2; t_3] \rightarrow \min), \quad (1)$$

где  $K = K(G(L, E), t_v), v \in Z^+$  – конфигурационная функция РВП СФКД;  $G(L, E)$  – оргграф, описывающий аппаратную архитектуру РВП СФКД в дискретные моменты времени  $t_v$ , соответствующую диагностической модели БКУ КА;  $L$  – матричный набор функциональных вершин, реализуемых посредством конфигурируемых логических блоков (КЛБ);  $E$  – множество направленных связей (дуг) между КЛБ-вершинами матрицы  $L$ .

## 2. Способы расширения множества диагностических параметров посредством реконфигурируемой СФКД БКУ КА

2.1. О прямых способах расширения множества параметров Q. Рассмотрение прямых способов расширения множества диагностических параметров БКУ Q посредством увеличения общего числа контрольных точек, которые предоставлены схемами встроенного контроля БКУ, можно считать нецелесообразным. Это связано, прежде всего, с жесткими ограничениями по прямому доступу к контролируемым параметрам (контрольным точкам) БЦВС, используемым схемами встроенного контроля высокоин-

тегрированных подсистем БКУ, что ранее [4, 5] неоднократно подчеркивалось. Поэтому наиболее важное практическое значение в рамках рассматриваемых систем имеют косвенные методы расширения множества параметров  $Q$ .

**2.2. О косвенных способах расширения множества параметров  $Q$ .** Как было отмечено в начале, *косвенные* способы расширения множества параметров  $Q$  очень часто представляют собой введение дополнительных функциональных нелинейностей в отдельные параметры диагностической модели контролируемой системы [2]. При этом зачастую подразумевается не только переход от линейных дифференциальных уравнений, описывающих диагностическую модель БКУ КА, к нелинейным, но и более тривиальные подходы, например такие, которые иллюстрирует рис. 1. На нем показан переход от линейной функции  $y_1(x) = x$  с областью определения  $D(y_1) = [x_1; x_4]$ , при чем, как показано на рисунке  $\{x_1 < x_2 < x_3 < x_4\} \subset D$ , к кусочно-линейной функции  $y_2(x)$  с составной областью определения  $D(y_2) = [x_1; x_2] \cup [x_2; x_3] \cup [x_3; x_4]$ . В рамках этого подхода был разработан способ коррекции конфигурационных функций РВП СФКД, отводящихся под отработку замещающей [4] диагностической модели БКУ КА в режиме частичной динамической реконфигурации РВП.

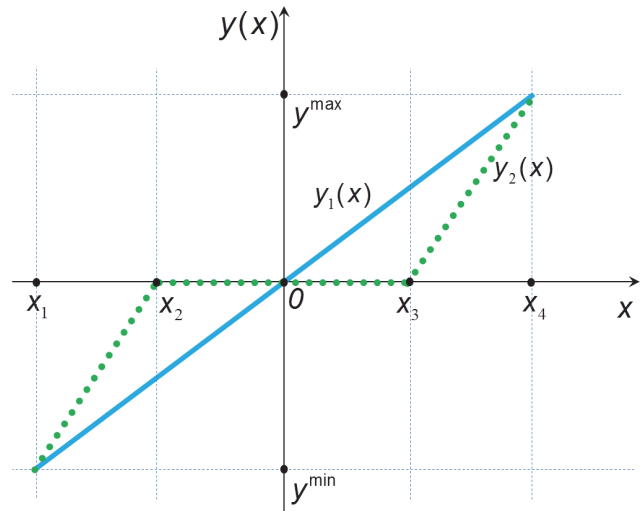


Рис. 1. Введение дополнительной нелинейности.

Набор диагностических параметров  $Q$  ограничивался четыреста восемью 16-разрядными сигнатурами, что в результате выборочного расширения множества диагностических параметров давало значение  $Q^* = 868$  сигнатурных последовательностей. Рис. 2 иллюстрирует еще два из множества возможных косвенных способов расширения диагностических параметров БКУ КА, которые исследовались на базе реконфигурируемой СФКД.

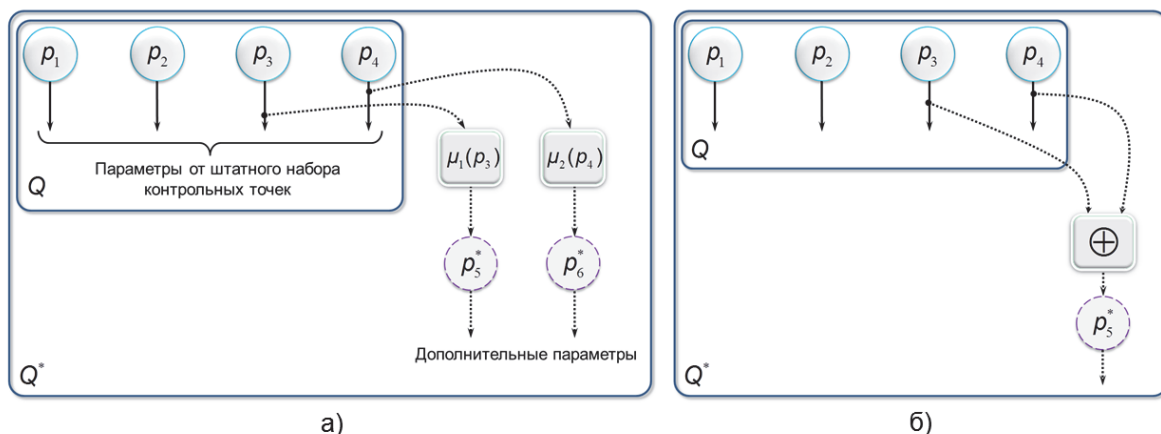


Рис. 2. К пояснению принципа формирования дополнительных диагностических параметров при неизменном наборе контрольных точек подсистемы БКУ КА.

В первом случае (рис. 2, а) расширение множества диагностических параметров БКУ  $Q^*$  достигается путем независимых функциональных преобразований  $p_5^* = \mu_1(p_3)$  и  $p_6^* = \mu_2(p_4)$  над двумя параметрами  $\langle p_3, p_4 \rangle \in Q$ . Этот способ подразумевает реали-

зацию соответствующих преобразований схемой встроенного контроля БКУ так, чтобы ресурс каналов обработки диагностической информации (КОДИ) реконфигурируемой СФКД не был затронут на построение в РВП соответствующих этим преобразованиям аппаратных архитектур.

Второй случай (рис. 2, б), который, по сути, носит тот же характер, что и первый, поясняет возможность формирования дополнительных диагностических параметров БКУ путем полного или частичного объединения данных от двух и более диагностических параметров исходного множества (набора)  $Q$ . В частности операция сложения по модулю два, произведенная над двумя независимыми потоками сигнатурных данных имеет широкое применение в методах многоуровневого диагностирования цифровых систем [1, 5], поскольку позволяет судить о равнозначности этих данных в дискретные моменты времени  $t_v$ .

Здесь также необходимо отметить что, все вышеупомянутые процедуры могут быть полностью реализованы и в составе РВП СФКД, однако, наибольший интерес будут представлять лишь те способы расширения множества диагностических параметров, которые выполняются средствами схем встроенного контроля БКУ КА и тем самым не требуют задействования аппаратного вычислительного ресурса реконфигурируемой СФКД и КОДИ, в частности.

### Выводы

В работе исследуются способы расширения множества диагностических параметров в процедурах аппаратной оптимизации диагностических моделей БКУ КА, реализуемых посредством ранее предложенной реконфигурируемой СФКД. В качестве основного критерия оптимизации (1) диагностических моделей БКУ (оптимального перехода от одной диагностической модели к другой) выбрано минимальное время, затрачиваемое на выполнение процедур анализа и идентификации аппаратно-программных неисправностей БКУ на его условных аппаратных и программных уровнях.

Рассмотрен ряд косвенных способов расширения множества диагностических параметров БКУ  $Q$ , заключающихся во введении дополнительных нелинейных преобразований над отдельными параметрами исходного множества. Основным интерес в работе представляют способы расширения диагностических параметров, осуществляемые посредством схем встроенного контроля БКУ КА.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Идентификация и диагностика систем. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 352 с.
2. Глущенко П.В. Техническая диагностика: Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов.- М.: Вузовская книга, 2004. - 248 с.
3. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры / Под общ. ред. И.А. Каляева. 2-е изд., перераб., доп. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. - 344 с.
4. Савкин Л.В. К методам динамической оптимизации диагностических моделей бортовых комплексов управления космических аппаратов. Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (АКТО-2016). Сб. докладов. - Т. 2. - Изд-во Академии наук РТ Казань, 2016. - С. 208 - 212.
5. Савкин Л.В., Ширшаков А.Е., Новичков В.М. Построение реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата. Авиакосмическое приборостроение, №6, 2015. - С. 8 - 13.