

А.Ю. КУЛАКОВ, А.Н. ПАВЛОВ, Д.А. ПАВЛОВ
**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РЕКОНФИГУРАЦИЯ
ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Кулаков А.Ю., Павлов А.Н., Павлов Д.А. Функциональная реконфигурация чувствительных элементов системы управления движением космического аппарата.

Аннотация. В статье рассмотрен алгоритм функциональной реконфигурации измерительных приборов системы управления движением для обеспечения целевой эффективности непилотируемых космических аппаратов.

Ключевые слова: система управления движением, космический аппарат, функциональная реконфигурация.

Kulakov A.Yu., Pavlov A.N., Pavlov D.A. Functional reconfiguration of sensitive elements motion control system of the space vehicle.

Abstract. In article the algorithm of functional reconfiguration instrumentation motion control system to ensure the effectiveness of the target unmanned spacecraft is considered.

Keywords: motion control system, spacecraft, functional reconfiguration.

1. Введение. Непилотируемый космический аппарат (НКА) является сложной системой, функционирующей в экстремальных условиях. Кроме того, сложность функционирования НКА заключается в эксплуатационных особенностях, вызванных отсутствием возможности доставки на борт аппаратуры, топлива, «живого интеллекта» (космонавта). В процессе длительной эксплуатации КА возникают нештатные ситуации (НС), вызванными сбоями и отказами в работе бортовой аппаратуры (БА), ошибками бортового программного обеспечения. Под работоспособностью в этом случае понимается свойство системы сохранять штатный режим работы в процессе функционирования, а под живучестью её способность выполнять основные функции, но с возможным ограничением работы целевой аппаратуры. Для обеспечения свойств работоспособности и живучести НКА требуется введение в бортовую систему (БС) [1, 2] различного рода избыточности: структурной (резервные элементы), функциональной (используется способность БС перераспределять функции между элементами), информационной, временной. Но даже при наличии избыточности (резервирования) элементов не всегда обеспечивается возможный уровень работоспособности и живучести за счёт специальных алгоритмов или специальных систем. Именно использование такой упущенной возможности могло бы предотвратить переход КА в нежелательные режимы функционирования, например, такой как неориентированный полёт. В не-

ориентированном полёте КА не выполняет своих штатных целевых задач и значительно отклоняется от текущей рабочей орбиты, что приводит к непредвиденному расходу топлива для выведения КА на нужную орбиту и приведение его в ориентированное положение.

2. Содержательная постановка задачи. Для системы управления движением (СУД) КА главными задачами являются задачи ориентации, стабилизации и проведения манёвра. Все структурные элементы СУД можно разбить на две группы: исполнительные органы и измерительные элементы (датчики). Причем в группу чувствительных элементов входят: звёздные датчики (ЗД), измерители угловой скорости (ИУС), инфракрасные построители вертикали (ИКВ) и т.д. Эти приборы решают задачу ориентации КА, которая может реализовываться разными структурными схемами. Применительно к задачам ориентации такие схемы будем называть схемами ориентации (СхО). Количество схем ориентации будет соответствовать структурным состояниям, в которые СУД может переходить при различных внутренних или внешних воздействиях.

Рассмотрим подсистему измерительных приборов СУД для решения задачи ориентации состоящую из четырех ЗД, двух ИКВ и двух ИУС, схематично изображённых на рисунке 1. Как правило, параметры, снимаемые с каждого прибора, и его функции в контуре ориентации КА следующие. Инфракрасный построитель вертикали обеспечивает выдачу в систему ориентации управляющих сигналов по двум каналам, соответствующим отклонению объекта от местной вертикали по направлению крена и тангажа на каждом такте работы бортовой вычислительной системы (БВС). Оптический звёздный датчик производит снимки звёздного неба и посредством их анализа определяет положение прибора в инерциальной системе координат (ИСК). Положение прибора характеризует кватернион ориентации, что позволяет получать в качестве параметров этого прибора как отклонение по углу от заданного положения, так и угловую скорость, но с худшей точностью. ИУС имеет четыре гироскопа, условно обозначаемых как оси чувствительности. Он рассчитывает угловую скорость КА по трём каналам в ИСК. Дополнительная, четвёртая, ось чувствительности необходима для повышения отказоустойчивости и обеспечения улучшенной точности прибора. ИУС работает при неисправности одного из гироскопов, а при неисправности двух или трёх имеется возможность получать измерения с работающих приборов [2].

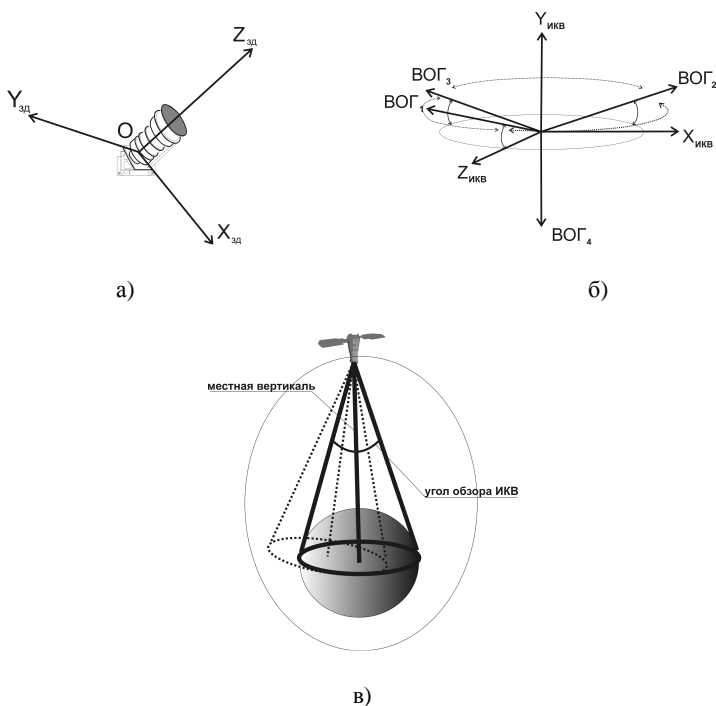


Рис. 1. Измерительные приборы СУД.

Из краткого описания приборов видно, что наряду со структурной избыточностью (каждый элемент дублирован аналогичным) присутствует функциональная избыточность. Например, текущее угловое положение можно получить как прямыми измерениями со ЗД, так и используя интегрирование скорости из ИУС.

Далее рассмотрим три СхО, или три структурных состояния подсистемы ориентации.

Основная схема ориентации (ОСхО) характеризуется наибольшей точностью и минимальным отклонением углового положения КА. При решении задачи ориентации в схеме используются приборы типа ЗД и ИУС. Переход на такую схему определяется начальным измерением ЗД как более точного прибора. Далее в работу включается ИУС, имеющий возможность по своим техническим характеристикам делать измерения гораздо чаще, чем ЗД. В дальнейшем ЗД лишь дополняет измерения ИУС.

Резервная схема ориентации (РСхО) используется при построении рабочей орбиты после выведения КА и формирования аргументов управления до перехода на ОСхО. В данной схеме используются приборы: ИУС и ИКВ. На каждом такте идёт расчёт текущего углового положения по измерениям с каждого прибора, учитывая взаимовлияние каналов.

Дополнительная схема ориентации (ДСхО) используется в данной работе как сокращённая ОСхО в целях восстановления отказавших приборов ИУС, являющихся основными элементами РСхО и ОСхО. Несмотря на её третьестепенную роль, ДСхО характеризуется не меньшей точностью ориентации, чем РСхО. Алгоритм ДСхО по сравнению с ОСхО крайне упрощён, так как в качестве аргумента управления по углу на такте работы ЗД используется разность между текущим измеренным и программным угловым положением, а на такте работы БВС приращение угла вычисляется при помощи дифференцированной угловой скорости.

Все три предложенные схемы удовлетворяют требованиям целевого функционирования НКА, то есть обеспечивают работоспособность СУД. Для обеспечения управляемости КА в экстренных ситуациях возможно временное несоблюдение требований целевого функционирования. В этом случае имеет смысл говорить об обеспечении живучести НКА путем использования *экстренной схемы ориентации* (ЭСхО), работающей с привлечением ИКВ, первого и четвёртого гироскопа ИУС.

Таким образом, подсистема ориентации и стабилизации может находиться в одном из четырех функциональных состояний, характеризуемых той или иной схемой ориентации ОСхО, РСхО, ДСхО и ЭСхО. Функциональная реконфигурация подсистемы ориентации (ПОр) состоит в переводе системы из одного состояния в другое (от одной схемы ориентации к другой) при возникновении нештатных ситуаций (НС), вызванных отказами отдельных элементов (ИУС (ВОГ), ИКВ, ЗД) рассматриваемой системы. Причем такое парирование НС обеспечивает непрерывность контура управления КА.

3. Оценка надёжности функциональной структуры и алгоритм реконфигурации. Согласно содержательной постановке задачи функциональной реконфигурации на рисунке 2 приведена функциональная структура подсистемы ориентации (ПОр) НКА с максимальным использованием структурного и функционального резервирования. Так же для дальнейшего сравнительного анализа на рисунке 2 приведена другая структура ПОр, не учитывающая некоторые функ-

циональные возможности составных элементов СУД. Обозначим рассматриваемые структуры СУД I и СУД II. Для оценивания возможностей функционирования ПОр НККА, вычисления интегральных вкладов элементов и подсистем ПОр в надежность ее функциональной структуры, а также прогнозирования сценариев функционирования рассматриваемой подсистемы при выходе из строя отдельных ее элементов и подсистем, воспользуемся логико-вероятностным подходом, изложенным в работе [3].

В описанных схемах показана логика функционирования ПОр. Причем ИУС представлен в виде отдельной функциональной подсистемы с мажоритарным элементом, логика работы которого заключается в следующем:

- для схем ориентации ОСхО и РСхО должны быть работоспособны любые три ВОГ из имеющихся четырех;
- для схемы ориентации ЭСхО должны быть работоспособны первый и четвертый ВОГ.

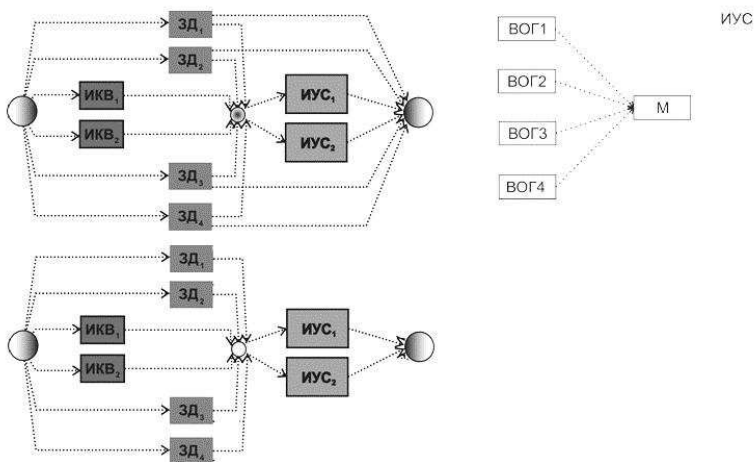


Рис. 2. Логика работы подсистемы ориентации.

Тогда многочлены вероятностной функции безотказной работы ПОр СУД I и СУД II имеют следующий вид:

$$P_{2\text{ИКВ}} = P_{\text{ИКВ}_1} + P_{\text{ИКВ}_2} - P_{\text{ИКВ}_2} * P_{\text{ИКВ}_1},$$

$$P_{43\text{Д}} = P_{3\text{Д}_1} + P_{3\text{Д}_2} + P_{3\text{Д}_3} + P_{3\text{Д}_4} - P_{3\text{Д}_1} * P_{3\text{Д}_2} - P_{3\text{Д}_1} * P_{3\text{Д}_3} - P_{3\text{Д}_1} * P_{3\text{Д}_4} - \\ - P_{3\text{Д}_2} * P_{3\text{Д}_3} - P_{3\text{Д}_2} * P_{3\text{Д}_4} - P_{3\text{Д}_3} * P_{3\text{Д}_4} + P_{3\text{Д}_1} * P_{3\text{Д}_2} * P_{3\text{Д}_3} + P_{3\text{Д}_1} * P_{3\text{Д}_2} * P_{3\text{Д}_4} + \\ + P_{3\text{Д}_1} * P_{3\text{Д}_3} * P_{3\text{Д}_4} + P_{3\text{Д}_2} * P_{3\text{Д}_3} * P_{3\text{Д}_4} - P_{3\text{Д}_1} * P_{3\text{Д}_2} * P_{3\text{Д}_3} * P_{3\text{Д}_4},$$

$$P_{2\text{ИУС}} = P_{\text{ИУС}_1} + P_{\text{ИУС}_2} - P_{\text{ИУС}_1} * P_{\text{ИУС}_2},$$

$$P_{\text{ИУС}} = P_{\text{ВОГ}_1} * P_{\text{ВОГ}_2} * P_{\text{ВОГ}_3} * P_{\text{ВОГ}_4} + Q_{\text{ВОГ}_1} * P_{\text{ВОГ}_2} * P_{\text{ВОГ}_3} * P_{\text{ВОГ}_4} + \\ + P_{\text{ВОГ}_1} * Q_{\text{ВОГ}_2} * P_{\text{ВОГ}_3} * P_{\text{ВОГ}_4} + P_{\text{ВОГ}_1} * P_{\text{ВОГ}_2} * Q_{\text{ВОГ}_3} * P_{\text{ВОГ}_4} + \\ + P_{\text{ВОГ}_1} * P_{\text{ВОГ}_2} * P_{\text{ВОГ}_3} * Q_{\text{ВОГ}_4} + P_{\text{ВОГ}_1} * Q_{\text{ВОГ}_2} * Q_{\text{ВОГ}_3} * P_{\text{ВОГ}_4},$$

$$r_{\text{СУД}_I}(P_1, P_2, \dots, P_n) = P_{43\text{Д}} + P_{2\text{ИУС}} * (P_{43\text{Д}} + P_{2\text{ИКВ}} - P_{43\text{Д}} * P_{2\text{ИКВ}}) - \\ - P_{43\text{Д}} * P_{2\text{ИУС}} * (P_{43\text{Д}} + P_{2\text{ИКВ}} - P_{43\text{Д}} * P_{2\text{ИКВ}}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(P_1, P_2, \dots, P_n) = P_{2\text{ИУС}} * (P_{43\text{Д}} + P_{2\text{ИКВ}} - P_{43\text{Д}} * P_{2\text{ИКВ}}),$$

где $r_{\text{СУД}_I}, r_{\text{СУД}_II}, P_{43\text{Д}}, P_{2\text{ИУС}}, P_{2\text{ИКВ}}$ соответственно вероятность безотказной работы ПОр в целом для первого и второго типа СУД, подсистемы четырёх звёздных датчиков, подсистемы двух измерителей угловой скорости, подсистемы двух инфракрасных построителей вертикали; $P_{\text{ИКВ}_i}, P_{\text{ИУС}_i}, P_{3\text{Д}_i}$ соответственно вероятность безотказной работы конкретного i -го прибора, $P_{\text{ВОГ}_i}$ — вероятность безотказной работы i -го ВОГ.

Для оценивания надежности функциональной структуры ПОр воспользуемся следующим показателем [4]:

$$R_c = \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 r(P_1, P_2, \dots, P_n) \partial P_1 \partial P_2 \dots \partial P_n.$$

Здесь R_c — показатель надежности функциональной структуры ПОр, r — функция вероятности безотказной работы ПОр ($r_{\text{СУД}_I}, r_{\text{СУД}_II}$), P_i — вероятность безотказной работы ее функциональных элементов и подсистем ($P_{43\text{Д}}, P_{2\text{ИУС}}, P_{2\text{ИКВ}}, P_{\text{ИКВ}_i}, P_{\text{ИУС}_i}, P_{3\text{Д}_i}, P_{\text{ВОГ}_i}$).

Показатель надежности функциональной структуры ПОр, состоящей из трех СхО (ОСхО, РСхО и ДСхО), имеет следующий вид:

$$R_c^3(P_{2\text{ИКВ}}, P_{2\text{ИУС}}, P_{43\text{Д}}) = \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 r_{\text{СУД}_I}(P_{\text{ИКВ}_1}, P_{\text{ИКВ}_2}, P_{3\text{Д}_1}, P_{3\text{Д}_2}, P_{3\text{Д}_3}, P_{3\text{Д}_4}, P_{\text{ИУС}_1}, P_{\text{ИУС}_2}) \partial P_1 \partial P_2 \dots \partial P_n.$$

Показатель надежности функциональной структуры ПОр, состоящей из двух СхО (ОСхО и РСхО), имеет следующий вид:

$$R_c^2(P_{2ИКВ}, P_{2ИУС}, P_{4ЗД}) = \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 r_{СУД_{II}}(P_{ИКВ1}, P_{ИКВ2}, P_{ЗД1}, P_{ЗД2}, P_{ЗД3}, P_{ЗД4}, P_{ИУС1}, P_{ИУС2}) \partial P_1 \partial P_2 \dots \partial P_n.$$

Показатель надежности функциональной структуры ПОр, состоящей из одной резервной РСхО, имеет следующий вид:

$$R_c^1(P_{2ИКВ}, P_{2ИУС}) = \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 r_{СУД_{II}}(P_{ИКВ1}, P_{ИКВ2}, 0, 0, 0, 0, P_{ИУС1}, P_{ИУС2}) \partial P_1 \partial P_2 \dots \partial P_n.$$

Значения данных показателей надежности при условии безотказной работы всех приборов СУД соответственно равны

$$R_c^3(P_{2ИКВ}, P_{2ИУС}, P_{4ЗД}) = 0.97,$$

$$R_c^2(P_{2ИКВ}, P_{2ИУС}, P_{4ЗД}) = 0.519,$$

$$R_c^1(P_{2ИКВ}, P_{2ИУС}) = 0.396.$$

Из приведённых оценок видно, что ввод дополнительной схемы ориентации, которая позволяет использовать функциональные возможности звёздных датчиков, привёл почти к двойному увеличению надёжности ПОр.

Для оценки эффективности применения НКА по целевому назначению введем показатель качества, отражающий количество полных сеансов работы целевой аппаратуры $N_{\bar{n}}$. Учитывая тот факт, что время сеанса целевой аппаратуры равен $T_c = 40 \text{ мин} = 2400 \text{ с}$, формула полных сеансов работы будет иметь следующий вид:

$$N_c = \left[\sum_{i=1}^n \tau_i / 2400 \right],$$

где n — количество участков ориентации СУД, τ_i — продолжительность i -го участка.

Далее рассмотрим один из возможных сценариев развития нештатной ситуации, вызванной выходом из строя чувствительных элементов СУД в следующей последовательности: ИУС1(ВОГ1) → ИУС1(ВОГ2) → ИУС2(ВОГ3) → ИКВ1 → ИКВ2 → ИУС2(ВОГ4) → ЗД1 → ЗД2. Время отказа того или иного элемента ПОр приведено в таблице 1. Сценарий развития НС для ПОр рассматриваемых типов можно записать последовательностью полиномов.

Для ПОр, состоящей из трех СхО:

$$r_{СУД_{I}}(P_{ИКВ1}, P_{ИКВ2}, P_{ЗД1}, P_{ЗД2}, P_{ЗД3}, P_{ЗД4}, P_{ИУС1}, P_{ИУС2}),$$

$$r_{СУД_{II}}(P_{ИКВ1}, P_{ИКВ2}, P_{ЗД1}, P_{ЗД2}, P_{ЗД3}, P_{ЗД4}, 0, P_{ИУС2}),$$

$$r_{\text{СУД}_I}(0, P_{\text{ИКВ}2}, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_I}(0, 0, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_I}(0, 0, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, 0),$$

$$r_{\text{СУД}_I}(0, 0, 0, 0, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, 0).$$

Для ПОр, состоящей из двух СхО:

$$r_{\text{СУД}_II}(P_{\text{ИКВ}1}, P_{\text{ИКВ}2}, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, P_{\text{ИУС}1}, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(P_{\text{ИКВ}1}, P_{\text{ИКВ}2}, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(0, P_{\text{ИКВ}2}, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(0, 0, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(0, 0, P_{\text{ЗД}1}, P_{\text{ЗД}2}, P_{\text{ЗД}3}, P_{\text{ЗД}4}, 0, 0).$$

Для ПОр с РСхО:

$$r_{\text{СУД}_II}(P_{\text{ИКВ}1}, P_{\text{ИКВ}2}, 0, 0, 0, 0, P_{\text{ИУС}1}, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(P_{\text{ИКВ}1}, P_{\text{ИКВ}2}, 0, 0, 0, 0, 0, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(0, P_{\text{ИКВ}2}, 0, 0, 0, 0, 0, P_{\text{ИУС}2}),$$

$$r_{\text{СУД}_II}(0, 0, 0, 0, 0, 0, P_{\text{ИУС}1}, 0).$$

Значения надежности функциональной структуры ПОр на каждом шаге сценария, а также суммарное количество проведенных сеансов целевой аппаратуры представлены в таблице 1.

Таблица 1. План эксперимента

	ПОр (три СхО)	ПОр (две СхО)	ПОр РСхО
	$R_c = 0.97$	$R_c = 0.519$	$R_c = 0.396$
ИУС1(ВОГ1) $t_{\text{отк}} = 4000$ с.	0,962	0,392	0,299
ИУС1(ВОГ2) $t_{\text{отк}} = 8000$ с.	0,957	0,308	0,234
ИУС2(ВОГ3) $t_{\text{отк}} = 10000$ с.	0,9451	0,123	0,094
ИКВ1 $t_{\text{отк}} = 13000$ с.	0,9450	0,121	0,063
ИКВ2 $t_{\text{отк}} = 17000$ с.	0,9448	0,117	0,0
ИУС2(ВОГ4) $t_{\text{отк}} = 20000$ с.	0,938	0,0	0,0
ЗД1 $t_{\text{отк}} = 24000$ с.	0,875	0,0	0,0
ЗД2 $t_{\text{отк}} = 30000$ с.	0,75	0,0	0,0
Общее число сеансов ($N_{\bar{n}}$)	13	8	7

Из приведённой таблицы очевидно преимущество реконфигурируемой системы с тремя схемами ориентации. Для реализации функциональных возможностей СУД на борту НКА необходимо разработать алгоритм перехода из одной схемы ориентации в другую. Для реализации такого алгоритма воспользуемся такими понятиями как структурная надёжность системы и вклад элемента в структурную надёжность [4]. Процесс функциональной реконфигурации ПОр СУД НКА условно можно разделить на три этапа: идентификация отказа, сбоя или неправильной работы; локализация ошибки, реконфигурация ПОр СУД; восстановление отказавшего элемента и повторная реконфигурация. На первом этапе необходимо установить причину неправильной работы КА, понять характер отказа: вызван ли он прибором СУД или иной системой БКУ? При идентификации отказа на борту не так важно установить точную причину, как достоверно определить прибор для дальнейшей локализации ошибки, являющейся причиной сбоя в работе ПОр. Идентификация может происходить автоматически на уровне микропроцессора БА, обеспечивающего мониторинг состояния прибора, или на уровне БВС. Второй этап начинается с локализации ошибки, то есть безопасного вывода прибора из контура управления. Подобного рода задачами занимаются программы планировщики, которые обеспечивают посредством временных уставок корректную работу БА. Исходя из имеющихся средств (БА, непосредственно работающей или находящейся в резерве) программа реконфигурации СУД осуществляет перевод системы на наиболее выгодную (исходя из оценки надёжности) схему ориентации для эффективного функционирования КА. Логика работы алгоритма функциональной реконфигурации начинается с оценки условия работоспособности штатных схем ориентации, если $r_{\text{СУД}} \leq 0.375$ и вклад в функциональную структуру всех рабочих ВОГ одинаков и равен 0.25, то переходим на ЭСхО. В противном случае, если $0.062 \leq r_{\text{СУД}} < 0.375$ и вклады всех рабочих ВОГ разные, то работаем по одной из штатных схем ориентации. Значение оценки надёжности равное 0.375 характеризует неработоспособность системы ориентации с использованием ЗД и отказ нескольких ВОГ в угловых измерителях, что приводит к увеличению вкладов в функциональную структуру оставшихся ВОГ до 0.25, что указывает на нестандартную схему работы ИУС (с использованием только 2-х ВОГ). При значении функции структурной надёжности 0.062 гарантируется функционирование минимально возможной БА для штатной ориентации. Следует отметить, что для штатных схем при условии

$r_{\text{СУД}} < 0.5$, следует переходить на РСхО, т.к. в данной ситуации не работают все ЗД. Кроме того, если $r_{\text{СУД}} = P_{43\text{д}}$ ($P_{43\text{д}} \geq 0.5$), то можно использовать ДСхО, иначе, если $r_{\text{СУД}} > P_{43\text{д}}$ — переключаемся на ОСхО. В случае неработоспособности ни одной из схем ориентации оценка надёжности функциональной структуры будет равна нулю. После перевода системы в одну из заданных схем ориентации происходит попытка восстановления отказавших приборов автоматически средствами БКУ или, после анализа телеметрической информации с НКА, с использованием средств НКУ. При удачном восстановлении прибора требуется перевести СУД на более надёжную схему ориентации.

4. Заключение. Предложенный алгоритм функциональной реконфигурации ПОр СУД позволяет НКА больше времени находиться в штатном режиме функционирования, что увеличивает количество проведённых сеансов целевой аппаратуры. В случаях, когда НКА переходит на экстренную схему ориентации, или в безопасный режим, он продолжает программное движение по орбите в режиме стабилизации, за счёт чего обеспечивается минимальный уход с рабочей орбиты и экономичное расходование ракетного топлива (невосполняемого ресурса). Кроме того, предложенная технология делегирования полномочий с «земли на борт» в рамках реконфигурации структуры СУД уменьшает нагрузку на группу управления, позволяя контролировать большее число НКА в космической системе.

Литература

1. *Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Сологуб А.В., Макаров В.П.* Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования земли: математические модели, компьютерные технологии – М.: Машиностроение, 2010, 384 с.
2. *Ахметов Р.Н., Сологуб А.В., Макаров В.П.* Концепция автономного управления живучестью КА ДЗЗ в аномальных ситуациях// «Механика и машиностроение», Известия Самарского научного центра РАН. – 2009, том 11, №3, с. 165-176
3. *Павлов А.Н.* Методологические основы решения проблемы планирования структурно-функциональной реконфигурации сложных объектов // Известия Вузов. Приборостроение.- 2012, том №55, №11, с.7-12.
4. *Павлов А.Н.* Постановка и анализ возможных путей решения задачи реконфигурации катастрофоустойчивой информационной системы // Информационно-измерительные и управляющие системы.- 2011, №4, т.9, С.15-21

Кулаков Александр Юрьевич — аспирант СПИИРАН. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Автор более 10 научных трудов. russ69@bk.ru; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-0103, факс +7(812)328-4450.

Kulakov Alexander Yuryevich — graduate, SPIIRAS. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. The number of publications — more than 10. pavlov62@list.ru russ69@bk.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-0103, fax +7(812)328-4450.

Павлов Александр Николаевич — к.т.н., доцент; старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН. Специалист в области системного анализа и принятия решений в условиях существенной неопределенности. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Автор более 130 научных трудов. pavlov62@list.ru; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-0103, факс +7(812)328-4450.

Pavlov Alexander Nikolaevich — PhD., associate professor; senior researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, SPIIRAS. Specialist in the field of systems analysis and operations research by conditions of substantial uncertainty. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. The number of publications — more than 130. pavlov62@list.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-0103, fax +7(812)328-4450.

Павлов Дмитрий Александрович — соискатель Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Автор 3 научных трудов. dpavlov239@mail.ru; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-0103, факс +7(812)328-4450.

Pavlov Dmitry Alexandrovich — applicant, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. The number of publications — 3. dpavlov239@mail.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-0103, fax +7(812)328-4450.

Поддержка исследований. Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке РФФИ (гранты 10-07-00311, 11-08-01016, 11-08-00767, 12-06-00276, 12-07-00302), ОНИТ РАН (проект №2.11), Программы ESTLATRUS: проекты 1.2/ELRI-121/2011/13, 2.1/ELRI-184/2011/14.

Рекомендовано лабораторией информационных технологий в системном анализе и моделировании, заместитель директора по научной работе Соколов Б.В., д-р техн. наук, проф.

Статья поступила в редакцию 27.04.2013.

РЕФЕРАТ

Кулаков А.Ю., Павлов А.Н., Павлов Д.А. **Функциональная реконфигурация чувствительных элементов системы управления движением космического аппарата.**

В практике эксплуатации непилотируемых космических аппаратов (НКА) возникают ситуации, связанные с отклонением их функционирования от штатного режима, снижающие эффективность целевого применения. Восстановление нарушенного процесса целевого функционирования НКА, например, такого как неориентированный полёт, в котором КА значительно отклоняется от текущей рабочей орбиты, становится проблемой. Решение такой проблемы известными методами теории надежности, которые предполагают резервирование бортовой аппаратуры, не всегда представляется возможным. Поэтому с целью повышения работоспособности и живучести НКА следует разрабатывать методы реконфигурации не только структурных резервов, но и функциональных, информационных и иных ресурсов, которыми обладают другие бортовые системы. В данной работе рассматривается подсистема ориентации системы управления движением (ПОр СУД) КА. Функциональная реконфигурация подсистемы ориентации заключается в переводе системы из одного функционального состояния в другое (от одной схемы ориентации к другой) при возникновении нештатных ситуаций, вызванных отказами отдельных элементов рассматриваемой системы. Используя такие понятия как надежность функциональной структуры и вклады в указанную надежность различных элементов подсистемы ориентации, предложен алгоритм функциональной реконфигурации ПОр СУД КА, который позволяет НКА больше времени находиться в штатном режиме функционирования, что увеличивает количество проведенных сеансов целевой аппаратуры. Причем такое парирование нештатных ситуаций обеспечивает непрерывность контура управления КА.

SUMMARY

Kulakov A.Yu., Pavlov A.N., Pavlov D.A. **Functional reconfiguration of sensitive elements motion control system of the space vehicle.**

In practice the use of unmanned space vehicle (USV) there are situations associated with their operation deviation from normal operations, reducing the effectiveness of the target application. Restoration of the process of operative USV, for example, such as a non-directed flight in which the spacecraft deviates significantly from the current operational orbit, it becomes a problem. The solution to such problems by known methods of reliability theory, which suggests reservation of on-board equipment is not always possible. Therefore, in order to improve the health and vitality of USV should develop methods for reconfiguration not only structural reserves, but also functional, information and other resources that have other on-board systems. In this paper we consider the orientation subsystem traffic management system (OS TMS) spacecraft. Functional reconfiguration of orientation subsystem is to translate the system from one functional state to another (from one scheme to another orientation) when abnormal situation caused by the failure of individual elements of the system. Using such concepts as reliability of functional structure and deposits to specified reliability of various elements of a subsystem of orientation, the algorithm of functional reconfiguration of the OS TMS, which allows USV bigger time to be in a regular mode of functioning that increases quantity of the carried-out sessions of the target equipment is offered. And such parrying of emergency situations provides a continuity of a control loop of USV.