

А. В. АВЕРЬЯНОВ

ОЦЕНИВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ И ПРОВЕДЕНИЕМ ПУСКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Представлены сравнительные оценки надежности функционирования различных многоканальных автоматизированных систем управления (АСУ), используемых в процессе подготовки и проведения пусков ракет-носителей. Даны рекомендации по выбору рациональной структуры АСУ и определению пределов избыточности аппаратных и программных средств. Полученные результаты могут быть использованы на этапе проектирования сложных информационных управляющих систем.

Ключевые слова: автоматизированная управляющая система, информационные управляющие системы, надежность, резерв.

Широкое применение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) поставило в качестве первоочередной проблему обеспечения надежности функционирования этих систем. Среди разнообразных мероприятий по повышению надежности таких систем на этапе проектирования можно выделить группу структурных (схемных) методов, объединяющих мероприятия по повышению надежности объектов путем совершенствования принципов их построения. При этом необходимо значительно усложнять их структуру, вводя избыточные аппаратные и программные средства и все более сложные схемные решения. Для успешного применения структурных методов повышения надежности АСУ ТП необходимо решать задачу выбора рациональной структуры аппаратной части АСУ ТП и определения пределов избыточности аппаратных и программных средств.

Одним из основных методов повышения надежности объектов является резервирование, при котором применяют дополнительные средства и возможности для сохранения работоспособного состояния объекта в случае отказа одного или нескольких элементов [1]. Ниже будет рассмотрен способ структурного резервирования, предусматривающий использование избыточных блоков, узлов в структуре АСУ ТП. При этом перестройки структуры системы не происходит, а резервные элементы участвуют в функционировании системы наравне с основными.

Автоматизированные системы выполняют весьма ответственные задачи по управлению технологическими процессами, т.е. подготовкой и проведением пуска ракеты и космического аппарата (КА). В этом случае к самой АСУ предъявляются высокие требования по надежности [2]. Проведем сравнительное оценивание надежности вариантов одноканальной, двухканальной и трехканальной реализации АСУ ТП, используемой при подготовке и проведении пуска ракеты-носителя (РН).

В качестве показателя надежности будем использовать такой показатель, как вероятность безотказной работы (ВБР) в течение заданного времени.

Состав АСУ ТП следующий:

- процессорный модуль;
- пульт оператора (ПО);
- два устройства гарантированного питания (УГП) ЭВМ;
- два устройства ввода—вывода (УВВ);
- два шкафа кроссовых (ШК);
- комплект кабелей (КК).

Вероятность безотказной работы АСУ ТП за время рабочего цикла $t_p = 168$ ч определена не менее 0,995, а за время подготовки и пуска — $t_{п} = 1,5$ ч — не менее 0,999. Указанные уровни надежности должны обеспечиваться при значениях ВБР составляющих АСУ модулей, представленных в табл. 1.

В таблице отсутствуют данные по процессорному модулю, будем считать, что его ВБР в течение установленных временных интервалов равна единице.

Таблица 1

Модуль	ВБР	
	t_p	$t_{п}$
ПО	0,9998	0,999 998
УГП	0,999 95	0,999 9996
УВВ	0,998	0,999 99
ШК	0,999 996	1
КК	0,999 55	0,999 97

Используя представленную информацию, проверим возможность обеспечения указанных значений ВБР АСУ ТП и сравним надежность различных вариантов ее реализации. При составлении структурной схемы надежности (ССН) АСУ ТП считаем, что все устройства и модули включены последовательно. ССН для одноканальной, двухканальной и трехканальной АСУ ТП представлены на рис. 1, 2 и 3 соответственно.

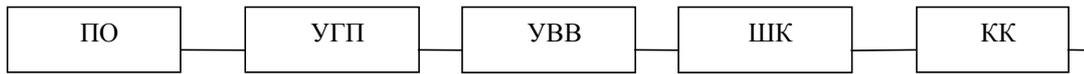


Рис. 1

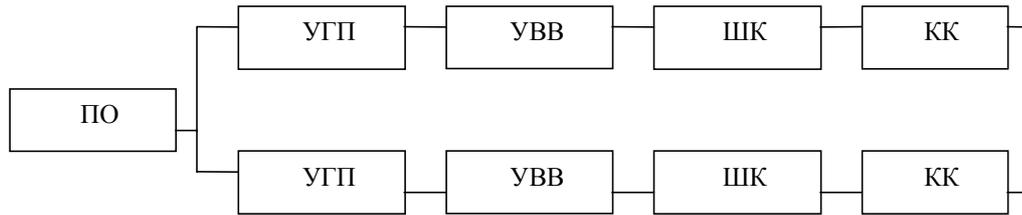


Рис. 2

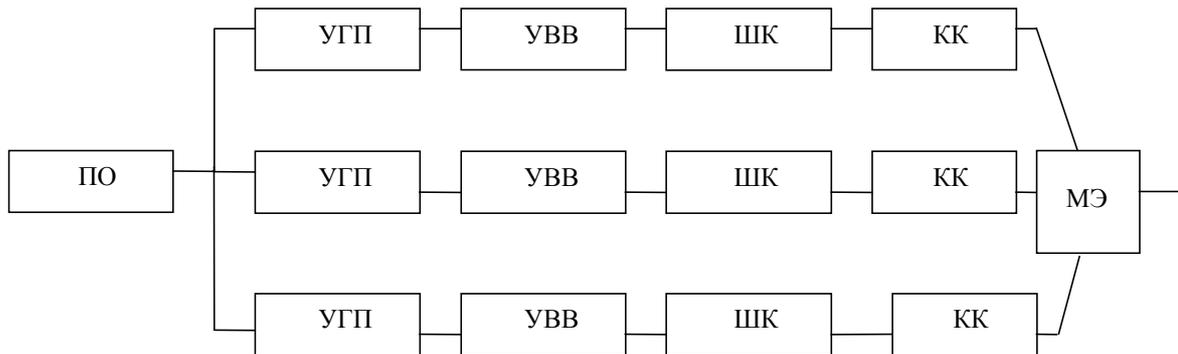


Рис. 3

ВБР одноканальной (P_1) АСУ ТП рассчитывается по формуле

$$P_1 = P_{ПО} P^2_{УГП} P^2_{УВВ} P^2_{ШК} P_{КК} = P_{ПО} P, \tag{1}$$

где $P = P^2_{УГП} P^2_{УВВ} P^2_{ШК} P_{КК}$.

Значения ВБР отдельных устройств и модулей, находящиеся в правой части выражения (1), представлены в табл. 1. В соответствии с формулой (1) имеем для $t_p = 168$ ч — $P_1 \approx 0,995 25$, а для $t_{п} = 1,5$ ч — $\approx 0,999 947$.

ВБР двухканальной (P_2) АСУ ТП рассчитывается по формуле

$$P_2 = P_{ПО} [1 - (1 - P)^2]. \tag{2}$$

Для t_p имеем $P_2 \approx 0,999\ 78$, а для t_n — $\approx 0,999\ 998$.

В трехканальной АСУ ТП сигналы с выходов отдельных каналов поступают на мажоритарный элемент (МЭ) (рис. 3), который является по своей сути избирательной схемой, на выходе которой при совпадении сигналов от двух из трех резервных каналов появляется сигнал. Выход из строя одного из трех каналов приводит к искажению выходного сигнала. Использование мажоритарного способа резервирования позволяет достаточно просто обнаружить неисправный канал.

ВБР трехканальной (P_3) АСУ ТП рассчитывается по формуле

$$P_3 = P_{\text{ПО}} P_{\text{МЭ}} P^2 (3 - 2P), \quad (3)$$

Надежность трехканальной АСУ при одном отказавшем канале снижается до $P_{\text{ПО}} P^2$. В АСУ процессом подготовки и пуска РН постоянно требуется поддерживать высокую надежность управления технологическим процессом, поэтому при отказе одного из каналов желательно повышать надежность системы в период восстановления до значения P_1 , а после восстановления отказавшего канала — до первоначальной величины [3].

Предположим, что ВБР мажоритарного элемента равна единице, тогда для $t_p = 168$ ч имеем $P_3 \approx 0,999\ 74$, а для $t_n = 1,5$ ч — $\approx 0,999\ 998$.

Полученные значения ВБР позволяют провести сравнительное оценивание показателей безотказности при различных реализациях АСУ ТП. Выигрыш в надежности будем определять как отношения

$$B_2 = P_2/P_1, \quad B_3 = P_3/P_1 \quad (4)$$

для t_p и t_n соответственно.

Значения отношений B_2 и B_3 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Время, ч	Выигрыш	
	B_2	B_3
168	1,004 55	1,004 51
1,5	1,000 05	1,000 05

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Заданные состав, структура АСУ ТП, показатели безотказности отдельных устройств и модулей обеспечивают достижение требуемых значений ВБР за установленное время рабочего цикла и время подготовки и пуска РН даже при одноканальном управлении технологическим процессом.

2. Выигрыш в надежности двухканальной и трехканальной АСУ ТП практически одинаков, что обуславливает нецелесообразность чрезмерной аппаратной избыточности в структуре АСУ, т.е. использование третьего канала управления нецелесообразно.

3. Многоканальная реализация АСУ ТП функционирует более эффективно в смысле надежности в течение длительных интервалов времени.

Представленные выводы могут быть использованы на этапе проектирования сложных информационных управляющих систем при выборе рациональной структуры аппаратной части, определении разумных пределов избыточности аппаратных и программных средств.

Следует отметить, что недостатком рассмотренной трехканальной АСУ (рис. 3) являются высокие требования, предъявляемые к надежности мажоритарного элемента. Напомним, что ВБР мажоритарного элемента равнялась единице. Эти требования можно значительно снизить, если в систему включить три мажоритарных элемента так, как показано на рис. 4.

В этом случае ВБР системы можно определить из следующего выражения:

$$P_{3МЭ} = P_{ПО}(3P^2 - 2P^3)[1 - (1 - P_{МЭ})^3]. \quad (5)$$

Пусть $P_{МЭ}(t_n) = 0,9999$, $P_{МЭ}(t_p) = 0,999$, тогда для $t = 168$ ч имеем $P_3 \approx 0,998\ 74$, $P_{3МЭ} \approx 0,999\ 74$, а для t_n — $P_3 \approx 0,999\ 898$, $P_{3МЭ} \approx 0,999\ 998$.

Выигрыш в надежности системы, представленной на рис. 4, по сравнению с одноканальной системой (рис. 1) рассчитывается по формуле

$$B_{3МЭ} = P_{3МЭ}/P. \quad (6)$$

Значения выигрышей B_2 , B_3 , $B_{3МЭ}$, рассчитанных по формулам (4)—(6), для $P_{МЭ}(t_n) = 0,9999$ и для $P_{МЭ}(t_p) = 0,999$ представлены в табл. 3.

Таблица 3

Время, ч	Выигрыш		
	B_2	B_3	$B_{3МЭ}$
168	1,004 55	1,0034	1,004 51
1,5	1,000 05	0,999 95	1,000 05

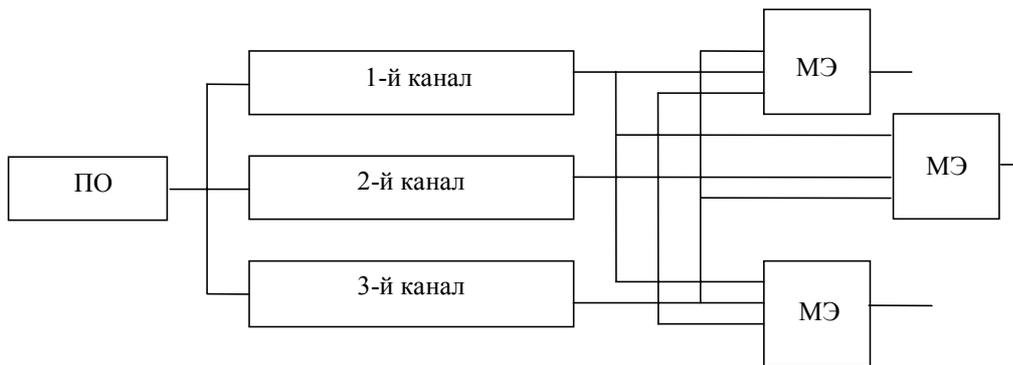


Рис. 4

Из полученных результатов следует, что трехканальная АСУ ТП с единственным мажоритарным элементом, имеющим ВБР меньше единицы, менее надежна, чем двухканальная АСУ, а на малых интервалах времени функционирования уступает в надежности даже одноканальной системе. Использование в структуре трех мажоритарных элементов позволяет достичь уровня надежности двухканальной АСУ, что подтверждает нецелесообразность чрезмерной многоканальной реализации АСУ ТП [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 480 с.
2. Автоматизированные системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения / В. И. Полянский, А. В. Аверьянов, А. И. Данилов и др. СПб: ВИКА им. А. Ф. Можайского, 1997. 332 с.
3. Пакулов Н. И., Уханов В. Ф., Чернышов П. Н. Мажоритарный принцип построения надежных узлов и устройств ЦВМ. М.: Сов. радио, 1974. 184 с.
4. Проблемные вопросы проектирования и эксплуатации бортовых и наземных систем управления объектов ракетно-космической техники РВСН. Мат. НТК СПб: МО РФ, 1999. 78 с.

Сведения об авторе

Алексей Васильевич Аверьянов — канд. техн. наук, доцент; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра электронно-вычислительной техники, Санкт-Петербург; E-mail: Aver957@mail.ru

Рекомендована Ученым советом
ВКА им. А. Ф. Можайского

Поступила в редакцию
20.10.08 г.