

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И НЕПРЕРЫВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

А. М. Касимов⁽¹⁾, Э. М. Мамедли⁽¹⁾, Л. Т. Чернявский⁽²⁾, А. В. Коротков⁽²⁾,
Е. В. Пустовалов⁽²⁾, П. А. Харитонов⁽²⁾

⁽¹⁾ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва;

⁽²⁾ Академия военных наук

Рассмотрена возможность использования информационных потоков, присущих комбинированной системе управления, для решения задачи повышения точности и обеспечения непрерывности управления летательным аппаратом в условиях действия дестабилизирующих факторов.

Памяти И. В. Прангишвили посвящается

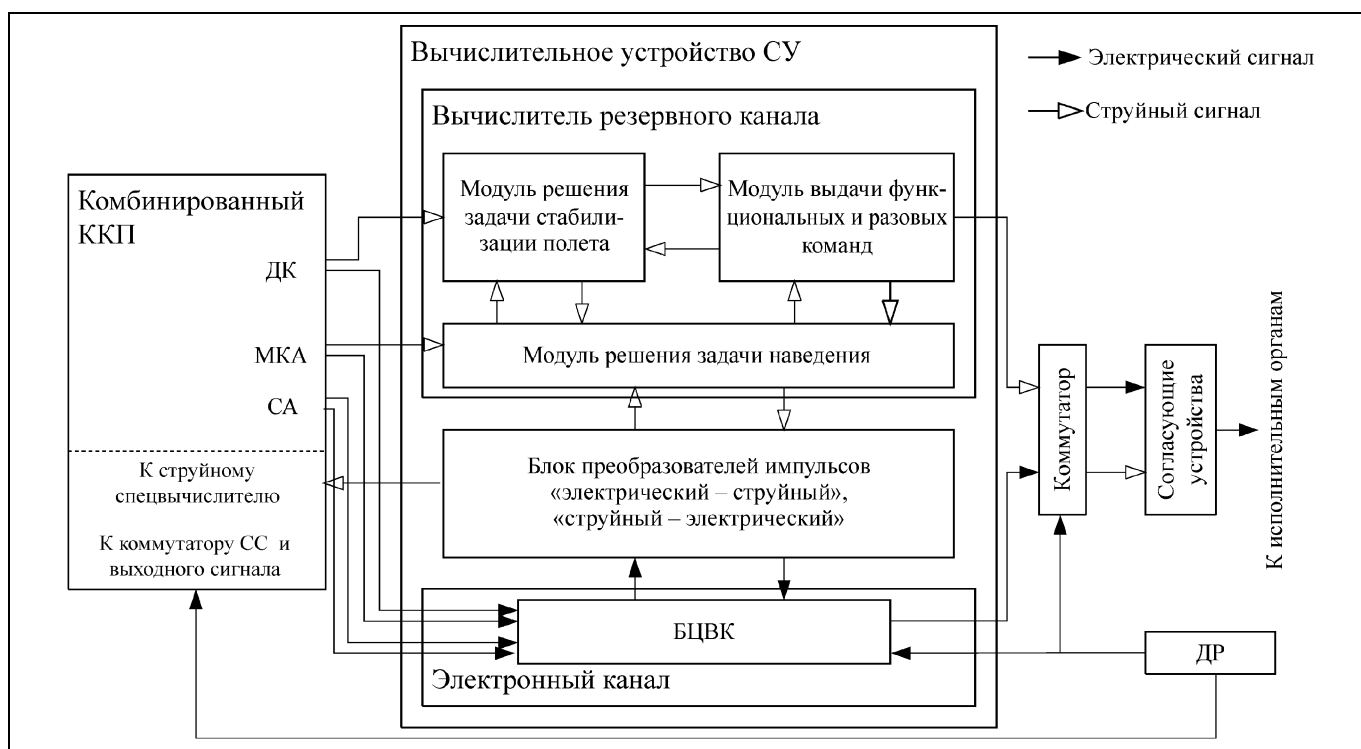
ВВЕДЕНИЕ

Основная задача системы управления летательного аппарата состоит в обеспечении непрерывности управления и точности наведения в различных условиях, в том числе, в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов, которые могут привести к нарушению функционирования аппаратуры в полете. Один из вариантов решения этой задачи основан на создании структурной неоднородной избыточности, предполагающей наличие в составе СУ наравне с основным каналом управления, на традиционных электронных элементах, дополнительного резервного, построенного на базе цифровых и аналоговых элементов струйной техники [1].

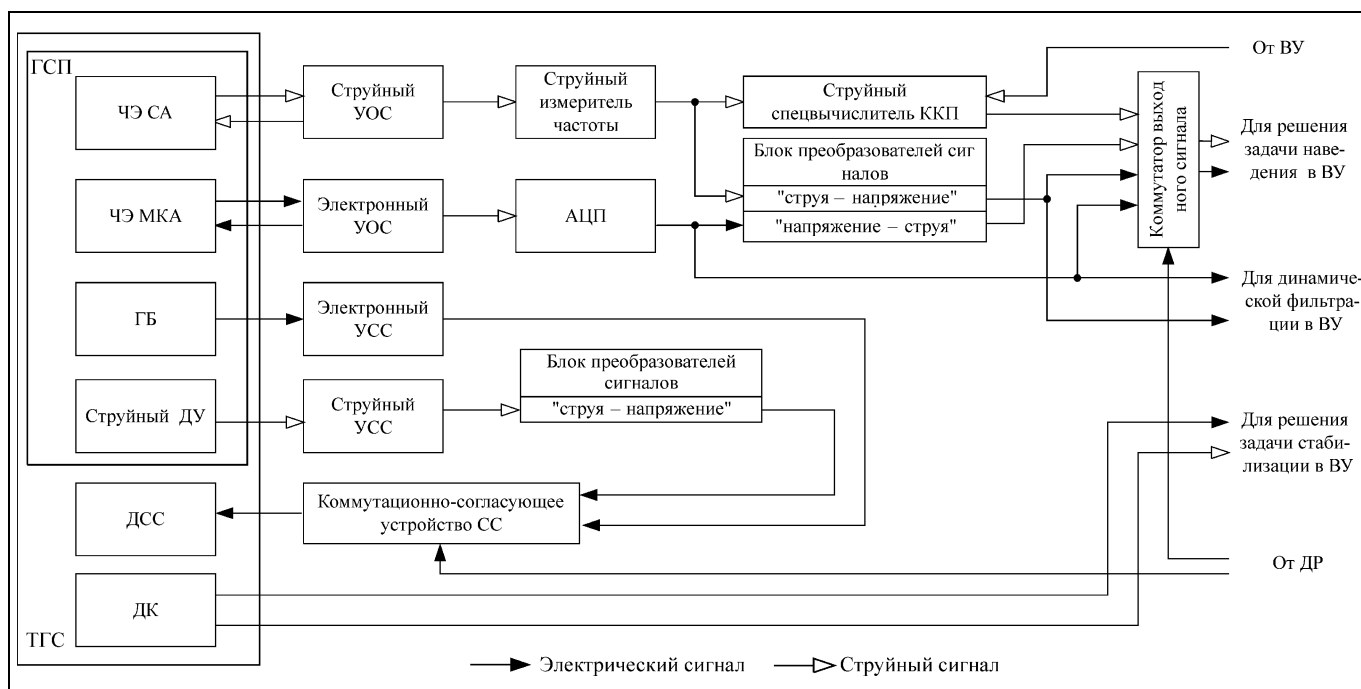
Благодаря конструктивным особенностям струйных элементов резервный канал инвариантен к действию ДФ [2, 3], поэтому его применение позволяет обеспечить непрерывность управления летательным аппаратом. Поскольку точность струйных измерительных приборов невысокая, то предложен способ коррекции их показаний, предусматривающий совместное использование информации разноточных датчиков кажущейся скорости и позволяющий достичь характеристик, близких к характеристикам электронного канала [4]. Существенная методическая погрешность вычислительного устройства резервного канала, построенного на основе

цифровых дифференциальных анализаторов, частично может быть скомпенсирована путем коррекции по данным БЦВК электронного канала на участках совместной работы обоих каналов. Система управления с двумя каналами, обладающими различными степенями работоспособности в условиях действия ДФ, позволяет повысить точность управления благодаря возможности комбинации ее информационных потоков при различных состояниях ее составных частей.

В настоящей статье на основе анализа множества возможных состояний работоспособности комбинированной СУ в полете при действии ДФ и решаемых ею задач взаимодействие разнородных каналов формализовано в виде алгоритма, позволяющего путем использования информационных измерительных и вычислительных потоков обеспечить наибольшую точность управления летательным аппаратом в различных условиях его функционирования. Предполагается, что СУ является автономной инерциальной системой, построенной на базе единого комплекса командных приборов с гиросtabilизированной платформой, на которой расположены и традиционные, и струйные ДКС. В качестве ВУ резервного канала применен струйный ЦДА, позволяющий реализовать алгоритмы терминального управления. В основном канале СУ имеется бортовой БЦВК. Структурные схемы СУ и ее ККП приведены на рис. 1 и 2, соответственно.


Рис. 1. Структурная схема комбинированной системы управления:

ККП — комплекс командных приборов; ДК — датчик команд; МКА — маятниковый компенсационный акселерометр; СА — струйный акселерометр; СС — силовая стабилизация; ДР — датчик регистрации; БЦВК — бортовой цифровой вычислительный комплекс


Рис. 2. Структурная схема комбинированного комплекса командных приборов:

ГСП — гиросtabilизированная платформа; ЧЭ — чувствительный элемент; СА — струйный акселерометр; МКА — маятниковый компенсационный акселерометр; ГБ — гироблок; ДУ — датчик угла; ДСС — двигатель силовой стабилизации; УОС — усилитель обратной связи; ТГС — трехступенной гиросtabilизатор; УСС — устройство силовой стабилизации; ВУ — вычислительное устройство; ДК — датчик команд; СС — силовая стабилизация



1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Система управления должна обеспечивать решение следующих задач (предполагается, что реализован алгоритм комплексирования разнородных ДКС, описанный в работе [4]):

1) оценка параметров математической модели погрешностей струйных ДКС на участках штатного функционирования каналов ККП при управлении полетом от БЦВК;

2) передача вычислительной информации от БЦВК к ЦДА для повышения точности представления кажущейся скорости в струйном канале СУ путем ее замены в выбранные моменты времени информацией точного канала;

3) передача вычислительной информации от ЦДА к БЦВК для восстановления вычислительного процесса в электронном канале после его сбоя;

4) передача измерительной информации точного канала ККП (при его штатном функционировании) в ЦДА для повышения точности решения задачи управления в резервном канале СУ;

5) передача скорректированных показаний струйного ДКС в БЦВК при потере работоспособности электронного канала ККП для обеспечения непрерывности управления от БЦВК;

6) передача скорректированных показаний струйного ДКС в ЦДА при отказе или сбое электронного канала СУ для обеспечения непрерывности управления от ЦДА.

Принятые сокращения:

БЦВК — цифровой вычислительный комплекс;
 ВУ — вычислительное устройство;
 ГСП — гиросtabilизирующая платформа;
 ДКС — датчик кажущейся скорости;
 ДР — датчик регистрации;
 ДФ — дестабилизирующие факторы;
 ККП — комплекс командных приборов;
 СУ — система управления;
 ЦДА — цифровой дифференциальный анализатор.

Анализ показывает, что реализация решений этих задач в каждом случае зависит от состояния ККП и СУ в целом, в котором они могут находиться в зависимости от условий функционирования летательного аппарата.

Множество возможных состояний комбинированного ККП обозначим $S_{\text{ККП}}$. Оно содержит следующие состояния:

$s_1^{\text{ККП}}$ — электронный и резервный каналы исправны;

$s_2^{\text{ККП}}$ — сбой электронного канала, резервный канал исправен;

$s_1^{\text{ККП}}$ — необратимый отказ электронного канала, резервный канал исправен.

Множество возможных состояний вычислительных средств комбинированной СУ, включающих в себя БЦВК электронного и ЦДА струйного каналов обозначим характеризуемых множеством состояний ВУ $S_{\text{ВУ}}$. Оно содержит следующие состояния:

$s_1^{\text{ВУ}}$ — БЦВК и ЦДА исправны;

$s_2^{\text{ВУ}}$ — сбой БЦВК, ЦДА исправен;

$s_3^{\text{ВУ}}$ — необратимый отказ БЦВК, ЦДА исправен.

Работоспособность элементов СУ в состояниях будем отображать частными признаками K_i и B_i , $i = 1, 2$, принимающие значения 0 или 1 в зависимости от сохранения или не сохранения их работоспособности, соответственно.

Множество $S_{\text{СУ}}$ состояний СУ формируется из множеств $S_{\text{ККП}}$ и $S_{\text{ВУ}}$ путем прямого их перемножения:

$$S_{\text{СУ}} = S_{\text{ККП}} \times S_{\text{ВУ}} = \{(s_1^{\text{ККП}}, s_1^{\text{ВУ}}), (s_1^{\text{ККП}}, s_2^{\text{ВУ}}), (s_1^{\text{ККП}}, s_3^{\text{ВУ}}), (s_2^{\text{ККП}}, s_1^{\text{ВУ}}), (s_2^{\text{ККП}}, s_2^{\text{ВУ}}), (s_2^{\text{ККП}}, s_3^{\text{ВУ}}), (s_3^{\text{ККП}}, s_1^{\text{ВУ}}), (s_3^{\text{ККП}}, s_2^{\text{ВУ}}), (s_3^{\text{ККП}}, s_3^{\text{ВУ}})\} = \{s_1^{\text{СУ}}, s_2^{\text{СУ}}, s_3^{\text{СУ}}, s_4^{\text{СУ}}, s_5^{\text{СУ}}, s_6^{\text{СУ}}, s_7^{\text{СУ}}, s_8^{\text{СУ}}, s_9^{\text{СУ}}\},$$

где $s_1^{\text{СУ}}$ — состояние СУ, когда исправны электронный и резервный каналы комбинированного ККП, БЦВК и ЦДА; $s_2^{\text{СУ}}$ — электронный и резервный каналы ККП исправны, сбой БЦВК, ЦДА исправен; $s_3^{\text{СУ}}$ — электронный и резервный каналы ККП исправны, необратимый отказ БЦВК, ЦДА исправен; $s_4^{\text{СУ}}$ — сбой электронного канала ККП, резервный канал исправен, БЦВК и ЦДА исправны; $s_5^{\text{СУ}}$ — сбой электронного канала ККП, резервный канал исправен, сбой БЦВК, ЦДА исправен; $s_6^{\text{СУ}}$ — сбой электронного канала ККП, резервный канал исправен, необратимый отказ БЦВК, ЦДА исправен; $s_7^{\text{СУ}}$ — необратимый отказ электронного канала ККП, резервный канал исправен, БЦВК и ЦДА исправны; $s_8^{\text{СУ}}$ — необратимый отказ электронного канала ККП, резервный канал исправен, сбой БЦВК, ЦДА исправен; $s_9^{\text{СУ}}$ — необратимый отказ электронного канала ККП, резервный канал исправен, необратимый отказ БЦВК, ЦДА исправен.

В силу инвариантности струйных устройств к действию ДФ множества $S_{\text{ККП}}$, $S_{\text{ВУ}}$ и $S_{\text{СУ}}$ не содержат состояния ККП, ВУ и, соответственно, СУ в целом, которые приводят к полному отказу СУ. К таким состояниям относятся необратимые отказы и сбои однотипных функциональных устройств обоих каналов СУ.

2. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА МЕЖДУ КАНАЛАМИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В струйных устройствах, как и в любых технических системах, могут наблюдаться сбои и отказы, определяемые их спецификой. К ним относятся засорение сопел и дросселей каналов струйных элементов. Естественно, предусматриваются соответствующие регламентные работы. В рабочем режиме струйные управляющие устройства, безусловно, устойчивы к действию ДФ.

Задачи информационного обмена между каналами СУ, решаемые в каждом из ее состояний указаны в табл. 1 (решаемые задачи отмечены знаком "+").

Каждому состоянию СУ соответствует своя совокупность информационных потоков, необходимая для ее нормального функционирования. Поэтому, естественно, что при изменении состояния СУ необходимо

Таблица 1

Решаемые задачи информационного обмена между каналами системы управления в различных ее состояниях

Но- мер зада- чи	Состояние системы управления								
	s_1^{CY}	s_2^{CY}	s_3^{CY}	s_4^{CY}	s_5^{CY}	s_6^{CY}	s_7^{CY}	s_8^{CY}	s_9^{CY}
1	+								
2	+	+	+						
3		+			+			+	
4	+	+	+						
5				+			+		
6						+			+

“мгновенное” изменение совокупности соответствующих этому состоянию информационных потоков. Такое изменение может быть реализовано специальной функциональной подсистемой, для чего необходимо:

- сформировать признаки принадлежности системы к тому или иному состоянию;
- формализовать описание совокупности потоков для каждого состояния СУ;
- разработать алгоритм смены совокупности потоков в зависимости от состояния системы;
- разработать структуру приборной реализации функциональной подсистемы.

Очевидно, что данная подсистема должна сохранять свою работоспособность независимо от действия ДФ, поэтому для ее реализации целесообразно применить струйную элементную базу.

Признаки принадлежности к тому или иному состоянию могут формироваться: по информации от датчиков, регистрирующих критические уровни ДФ, вызывающие сбои или необратимые отказы аппаратуры; по результатам анализа текущей информации, получаемой в процессе функционирования СУ, и по информации тестового контроля аппаратуры.

Наиболее предпочтительными частными признаками того или иного состояния элементов СУ являются признаки, формируемые по сигналам датчиков регистрации ДФ соответствующих уровней, которые практически без запаздывания указывают на действие критических уровней ДФ. Это позволяет быстро перейти на струйный канал управления, а затем по дополнительным признакам, получаемым по результатам анализа текущей информации и информации систем тестового контроля, уточнить состояние систем и соответствующим образом изменить совокупность потоков информации. Целесообразно ввести следующие частные признаки K_i и B_i состояний СУ:

- K_1 и B_1 — неисправности электронного канала комбинированного ККП и БЦВК, формируемые по сигналам от ДР1 и ДР2, соответственно;

- K_2 и B_2 — неисправности электронного канала комбинированного ККП и БЦВК, формируемые по результатам анализа текущей информации комбинированного ККП и информации систем тестового контроля БЦВК по истечении времени переходного процесса τ_n в электронных устройствах, вызванного действием ДФ.

Значения признаков K_i и B_i определяются согласно выражениям

$$K_1(B_1) = \begin{cases} 1, & \text{срабатывание ДР1 (ДР2)} \\ 0, & \text{отсутствие сигналов ДР1 (ДР2) или } K_2(B_2) = 0; \end{cases}$$

$$K_2 = \begin{cases} 1, & |W_T^*(t + \tau_n) - W_T^{\text{КОП}}(t + \tau_n)| \geq \varepsilon_{\text{доп}}(t + \tau_n) \\ 0, & |W_T^*(t + \tau_n) - W_T^{\text{КОП}}(t + \tau_n)| \leq \varepsilon_{\text{доп}}(t + \tau_n); \end{cases}$$

$$B_2 = \begin{cases} 1, & \text{отрицательное тестирование БЦВК} \\ 0, & \text{положительное тестирование БЦВК,} \end{cases}$$

где W_T^* — показания точных ДКС, $W_T^{\text{КОП}}$ — скорректированные показания грубых акселерометров.

Если $K_2(B_2) = 1$, то $K_1(B_1) = 1$, в противном случае значения K_1 и B_1 обнуляются.

Окончательная оценка работоспособности элементов СУ в их различных состояниях дается согласно решению логических уравнений, представленных в табл. 2.

Признаки p_i^{CY} , $i = \overline{1, 9}$ нахождения СУ в состояниях s_i^{CY} , $i = \overline{1, 9}$ формируются на основе следующих логических выражений:

$$\begin{aligned} s_1^{CY} : p_1^{CY} &= \begin{cases} 1, & \text{если } \bar{K}_1 \wedge \bar{B}_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } \bar{K}_1 \wedge \bar{B}_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{false}; \end{cases} \\ s_2^{CY} : p_2^{CY} &= \begin{cases} 1, & \text{если } \bar{K}_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } \bar{K}_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{false}; \end{cases} \\ s_3^{CY} : p_3^{CY} &= \begin{cases} 1, & \text{если } \bar{K}_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge B_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } \bar{K}_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge B_2 \equiv \text{false}; \end{cases} \\ s_4^{CY} : p_4^{CY} &= \begin{cases} 1, & \text{если } K_1 \wedge \bar{B}_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } K_1 \wedge \bar{B}_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{false}; \end{cases} \\ s_5^{CY} : p_5^{CY} &= \begin{cases} 1, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{false}; \end{cases} \\ s_6^{CY} : p_6^{CY} &= \begin{cases} 1, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge B_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge \bar{K}_2 \wedge B_2 \equiv \text{false}; \end{cases} \\ s_7^{CY} : p_7^{CY} &= \begin{cases} 1, & \text{если } K_1 \wedge \bar{B}_1 \wedge K_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } K_1 \wedge \bar{B}_1 \wedge K_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{false}; \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

Таблица 2

Логические уравнения, описывающие работоспособность элементов системы управления

Состояние элемента СУ	$s_1^{\text{ККП}}$	$s_2^{\text{ККП}}$	$s_3^{\text{ККП}}$	$s_1^{\text{ВУ}}$	$s_2^{\text{ВУ}}$	$s_3^{\text{ВУ}}$
Уравнение	$\bar{K}_1 \wedge \bar{K}_2 \equiv 1$	$K_1 \wedge \bar{K}_2 \equiv 1$	$K_1 \wedge K_2 \equiv 1$	$\bar{B}_1 \wedge \bar{B}_2 \equiv 1$	$B_1 \wedge \bar{B}_2 \equiv 1$	$B_1 \wedge B_2 \equiv 1$

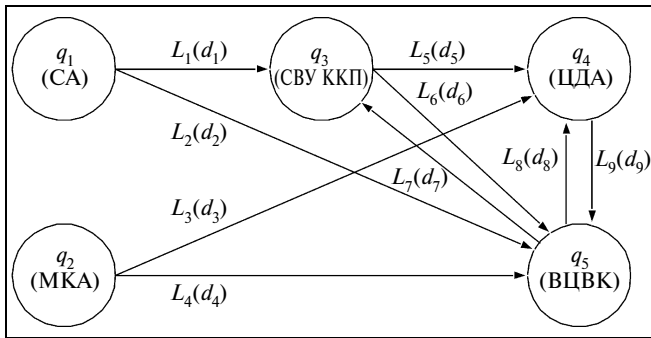


Рис. 3. Обобщенный ориентированный граф информационных потоков в системе управления:

СА — струйный акселерометр; МКА — маятниковый компенсационный акселерометр; СВУ ККП — струйное вычислительное устройство комплекса командных приборов

$$s_8^{CV} : p_8^{CV} = \begin{cases} 1, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge K_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge K_2 \wedge \bar{B}_2 \equiv \text{false}; \end{cases}$$

$$s_9^{CV} : p_9^{CV} = \begin{cases} 1, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge K_2 \wedge B_2 \equiv \text{true} \\ 0, & \text{если } K_1 \wedge B_1 \wedge K_2 \wedge B_2 \equiv \text{false}. \end{cases}$$

Отметим, что в существующих электронных трактах ДКС могут наблюдаться недопустимые переходные процессы при действии ДФ с уровнями, ниже уровня настройки ДР1, соответствующего появлению сбоев в электронном канале СУ. Поэтому необходимо ввести в состав СУ дополнительные датчики, настроенные на уровень ДФ, определяющий начало переходных процессов в электронном канале системы измерения кажущейся скорости.

При срабатывании ДР2, определяющих наступление сбоев в работе БЦВК, осуществляется безусловный переход на управление от струйного канала СУ, затем тестируются все устройства СУ: БЦВК и ККП, и по их состоянию принимается решение о формировании той или иной схемы задействования информационных потоков.

При срабатывании же ДР1, определяющих наступление сбоев в работе электронного канала ККП, осуществляется безусловный переход на струйный тракт системы измерения кажущейся скорости, служащий источником входной информации как для БЦВК, так и для струйного ВУ. Затем тестируется электронный канал ДКС, и принимается решение о выборе его состояния.

Совокупность потоков для каждого состояния СУ можно описать с помощью обобщенного ориентированного графа с вершинами, соответствующими приемникам и передатчикам информации в СУ [5] (рис. 3).

Граф описывается множеством вершин $\{q_k\}$, $k = \overline{1, 5}$, соответствующих составным частям аппаратуры СУ, и

множеством дуг $\{L_r\}$, $r = \overline{1, 9}$, соответствующих информационным потокам, направление которых совпадает с направлением дуги.

3. УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ

Исходя из установленной связи между состоянием СУ и решаемыми задачами информационного обмена (см. табл. 1), определяется связь между состояниями и потребными информационными потоками, описываемыми подмножеством дуг графа, после чего формируются соответствующие подмножества номеров информационных потоков R_j , представленных в табл. 3.

Для каждого состояния системы каждой дуге поставлено в соответствие число (индекс задействования информационного потока) d_m^j , равное нулю в случае, если номер дуги входит в соответствующее подмножество R_j , и равное единице — в противном случае:

$$d_m^j = \begin{cases} 1, & m \notin R_j \\ 0, & m \in R_j \end{cases}, \quad m = \overline{1, 9}, \quad j = \overline{1, 9}.$$

Совокупность всех чисел d_m^j для каждого состояния, располагаемых в последовательности нумерации всех дуг, образует двоичное девятиразрядное слово D_j (j соответствует номеру состояния), которое может служить управляющим кодом, формируемым при аппаратной реализации управления выбором информационных потоков.

Совокупность слов D_j образует множество возможных управляющих кодов

$$D_y = \{D_j \in \mathfrak{R}^9, m = \overline{1, 9}\}, \quad j = \overline{1, 9}. \quad (3)$$

Можно сделать вывод, что задача разработки алгоритмов взаимодействия каналов СУ сводится к задаче управления информационными потоками в системе управления в зависимости от ее состояния. Сам же алгоритм взаимодействия каналов состоит в следующем:

- 1) формирование множества (3) возможных управляющих кодов, соответствующих различным состояниям СУ;
- 2) формирование частных признаков K_i и B_i , $i = \{1, 2\}$ состояния функциональных частей системы согласно выражениям (1);
- 3) формирование признака p_j^{CV} , $j = \overline{1, 9}$ состояния СУ согласно выражениям (2);
- 4) выбор управляющего кода $D_j(p_i^{CV}) \in D_y$.

Поскольку данный алгоритм должен выполняться и в условиях действия ДФ, его аппаратную реализацию необходимо осуществлять с применением элементов струйной техники. Выбор того или иного графа информационного потока, соответствующего управляющему

Таблица 3

Подмножества номеров информационных потоков в различных состояниях системы управления

$s_j^{CV} \Rightarrow R_j$	j	1	2	3	4, 7	5, 8	6, 9
$R_j = \{r\}$	r	1, 2, 3, 4, 7, 8	1, 3, 4, 5, 8, 9	3, 4, 8	1, 6	1, 5, 9	1, 5

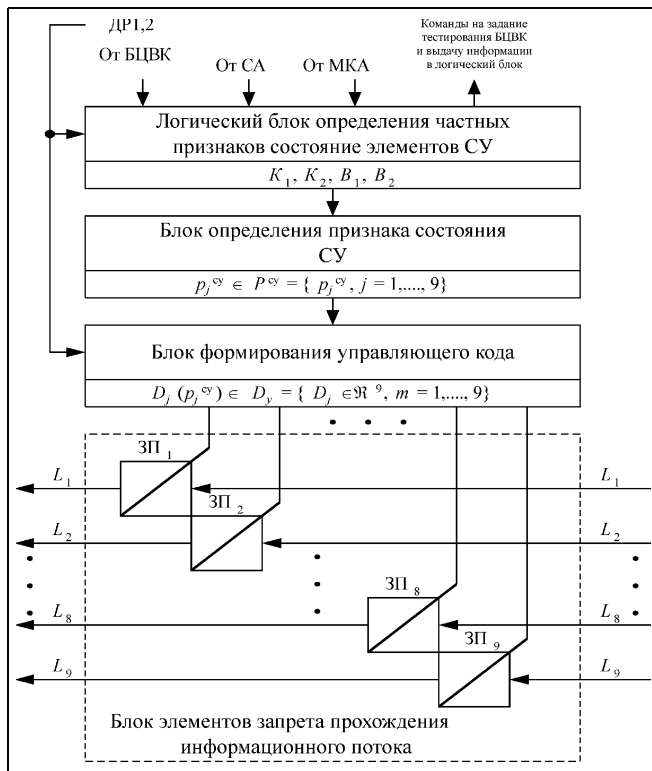


Рис. 4. Схема функциональной подсистемы управления информационными потоками:

СА — струйный акселерометр; МКА — маятниковый компенсационный акселерометр; ЗП_{*i*}, *i* = 1, ..., 9 — элементы запрета

коду $D_i(p_i^{cy})$, целесообразно обеспечивать с помощью элементов запрета, установленных в каждой цепи прохождения информации СУ. При этом, помимо определения состояния СУ и формирования управляющего кода для коммутации вычислительных и измерительных потоков, после перехода на управление от струйного канала СУ необходимо обеспечить контроль правильности восстановления работоспособности электронного канала комбинированного ККП и БЦВК на основе анализа измерительной информации и тестирования по частным признакам K_2 и B_2 состояния составных частей системы.

Для обеспечения минимального времени перехода на управление от струйного канала СУ соответствующие управляющие коды D_2 или D_4 должны выбираться непосредственно по сигналу ДР. Другие управляющие коды формируются в устройстве функциональной подсистемы управления информационными потоками.

Схема устройства функциональной подсистемы управления информационными потоками СУ представлена на рис. 4.

Логический блок предназначен для решения задачи определения состояний элементов СУ на основе анализа текущей информации и тестирования электронного канала всей системы. Решение начинается при получении сигнала ДР через интервал времени τ_n , определяемый длительностью переходных процессов в СУ, вызванных действием ДФ.

Работоспособность электронного измерительного канала ККП оценивается путем сравнения показаний $W_T^*(t + \tau_n)$ точных ДКС и скорректированных показаний $W_T^{kop}(t + \tau_n)$ грубых акселерометров по критерию $W_T^*(t + \tau_n) - W_T^{kop}(t + \tau_n) \leq \varepsilon_{доп}(t + \tau_n)$, где $\varepsilon_{доп}(t + \tau_n)$ — величина, определяемая по результатам обработки комбинированного ККП.

Работоспособность БЦВК оценивается путем тестирования с помощью самопроверки, по команде от логического блока функциональной подсистемы управления информационными потоками с учетом критерия "норма — ненорма" прохождения тестов или отсутствия отклика на тест.

На основе получаемых результатов логический блок формирует частные признаки K_i и B_j , $i = c, o, j = 1, 2$ состояния элементов СУ.

Блок формирования признака состояния СУ на основе частных признаков реализует решение логических уравнений (1).

На основе полученного признака p_i^{cy} состояния СУ блок формирования управляющего кода вырабатывает девятиразрядное двоичное слово $D_i(p_i^{cy})$, которое подается на входы элементов запрета блока формирования информационных потоков, соответствующих выбранному состоянию СУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение резервного струйного канала в составе системы управления позволяет обеспечить непрерывность управления летательным аппаратом в условиях действия дестабилизирующих факторов, вызывающих сбой или необратимые отказы аппаратуры основного электронного канала системы. Наличие избыточности информационных потоков, обусловленной аппаратурной избыточностью, позволяет реализовать дополнительные возможности повышения точностных характеристик системы управления путем автоматического выбора в ней наиболее предпочтительной совокупности информационных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коротков А. В., Чернявский Л. Т., Пустовалов Е. В. Обеспечение инвариантности систем управления летательным аппаратом к действию целенаправленных дестабилизирующих факторов на основе комплексирования электронного канала управления и канала управления неэлектрической природы // Двойные технологии. — 2004. — № 2. — С. 13—14.
2. Применение цифровой и струйной техники в бортовых системах автоматического управления // Военная авиация и ракетная техника. — 1973. — Вып. 1—2.
3. Evans R. A. Applied Fluids Technology. Aerospace Vehicle Flight Control Conf. — L.A., Calif, 1965.
4. Обеспечение стойкости системы управления летательных аппаратов к внешним возмущающим факторам / А. М. Касимов, Э. М. Мамедли, Л. Т. Чернявский и др. // Проблемы управления. — 2006. — № 1. — С. 76—80.
5. Давыдов Э. Г. Исследование операций. — М.: Высшая школа, 1990.

☎ (495) 334-91-00

E-mail: kasimov@ipu.ru

