

УДК 519.873:62-50(047)

А. С. КУЛИК

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

РАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Рассмотрены тенденции управления работоспособностью аэрокосмических объектов автоматического управления при дестабилизирующих воздействиях. Описаны особенности рационального управления такими объектами посредством нового принципа управления по диагнозу. Изложены модели и методы диагностирования и восстановления работоспособности многомерных объектов автоматического управления при дестабилизирующих воздействиях. Приведены результаты экспериментальных исследований по рациональному управлению работоспособностью различных макетных объектов автоматического управления.

Ключевые слова: объект автоматического управления, работоспособность, дестабилизирующее воздействие, принцип управления по диагнозу, рациональное управление, диагностирование, восстановление.

Введение

Современные и перспективные аэрокосмические объекты автоматического управления представляют собой большие, сложные и многофункциональные комплексы, состоящие из различных, по физическому принципу действия, многочисленных подсистем, блоков и связей, функционирующих в экстремальных условиях. Нештатные и аварийные ситуации с различными типами аэрокосмических летательных аппаратов [1-4] свидетельствуют о несовершенстве технологий проектирования всего их жизненного цикла и, в частности, о несовершенстве принципов, используемых при проектировании систем автоматического управления ориентацией и навигацией. Базовым принципом, применяемым в эксплуатирующихся системах автоматического управления аэрокосмическим объектом, остается классический принцип управления по отклонению. Внутренняя противоречивость этого принципа, состоящая в необходимости допустить отклонение от штатного функционирования, а затем его компенсировать, не позволяет разрабатывать системы управления эффективно парирующие штатные ситуации, т.е. поддерживающие требуемую работоспособность. Устранить такую противоречивость, исходя из истории становления и развития естествознания, можно в направлении поиска инструментальных средств самоорганизации, базируясь на идеях и положениях нового научного направления – синергетики [5].

Впервые возможность управления объектами в условиях априорной неопределенности посредством адаптации и обучения была обстоятельно представ-

лена Я. З. Цыпкиным. [6]. Одно из первых теоретических исследований по адаптации с помощью механизмов самоорганизации было проведено в Массачусетском техническом университете R. Beard и представлено в его диссертации [7]. В этой работе предпринята попытка расширения функциональных возможностей принципа управления по отклонению, посредством введения в контур управления процедур диагностирования объекта автоматического управления, подверженного отказам функциональных элементов, и процедур парирования последствия отказов для класса линейных систем управления. Сложность проблемы самоорганизации автоматических систем управления при существенных возмущающих воздействиях привела к появлению новых научных направлений по диагностированию динамических систем [8-12] и по отказоустойчивым системам управления. [13-17]. В результате этих и других аналогичных исследований появилась возможность, диктуемая синергетической логикой, перехода на новый уровень управления автономными объектами, уровень, обеспечивающий более эффективное управление, как в штатных, так и в штатных ситуациях – рациональное управление. Ряд теоретических, прикладных и экспериментальных исследований [15, 16, 18, 21], свидетельствует о принципиальной возможности такого направления исследований. Актуальной представляется необходимость разработки конструктивных моделей, методов и средств управления работоспособностью аэрокосмических объектов автоматического управления при дестабилизирующих воздействиях, приводящих к штатным ситуациям.

Основные положения рационального управления

Рациональное управление работоспособностью аэрокосмических объектов автоматического управления должно формироваться на едином методологическом подходе к обеспечению их работоспособности на всех этапах жизненного цикла и, соответственно, единых критериях оценки качества и эффективности.

Выявленные причины аэрокосмических аварий и катастроф [4] убеждают в актуальности автоматизации процессов диагностирования и нейтрализации для всех этапов жизненного цикла автономных летательных аппаратов различного назначения.

Для понимания сути и границ рационального управления представим его особенности в форме следующих положений.

1. Система автоматического управления аэрокосмическим объектом состоит из двух взаимосвязанных подсистем. Первая – это объект рационального управления, включающий объект управления, блок датчиков и блок приводов. Вторая – устройство рационального управления, реализованное с помощью отказоустойчивых цифровых аппаратных и программных средств преобразования и обработки информации.

2. Объект рационального управления подвержен действию как внешних возмущающих воздействий среды (колебания температуры, влажности и давления, электромагнитные поля, турбулентность и т.п.), так и внутренних (поломки, отказы, неисправности, сбой и т.п.). Все эти воздействия нарушают работоспособность объекта рационального управления, дестабилизируют его функционирование и поэтому названы дестабилизирующими воздействиями. Множество дестабилизирующих воздействий $-D = \{d_i\}, i = \overline{1, q}$ формируется на этапе проектирования объекта рационального управления.

3. Для описания процессов преобразования управляющих и дестабилизирующих воздействий в объекте рационального управления используются

линеаризованные математические модели первого приближения в пространстве состояний, отражающие с заданной точностью требуемые для рационального управления причинно-следственные связи.

4. Объект рационального управления должен быть снабжен аппаратными средствами, обеспечивающими возможность диагностирования его работоспособности с помощью блока датчиков и возможность восстановления работоспособности с помощью соответствующих средств в блоке приводов.

5. Рациональное управление базируется на новом принципе управления – по диагнозу, когда управляющие воздействия на объект рационального управления формируются в зависимости от полученной оценки дестабилизирующего воздействия \hat{d}_i . На рис. 1 представлена блок-схема такой системы автоматического рационального управления (САРУ).

Здесь ОРУ – объект рационального управления; УРУ – устройство рационального управления; $u(t)$ – вектор выходных переменных; $y_p(t)$ – расширенный вектор измеряемых переменных; $y'(kT_0)$ – оцифрованный вектор измерений; $u_3(kT_0)$ – вектор задающих воздействий.

6. Проектируется весь жизненный цикл САРУ на единой методологической основе с использованием как формализованных, так и слабоформализованных моделей процессов управления и дестабилизации, а также соответствующих методов синтеза.

7. ОРУ проектируется так, чтобы обеспечить его устойчивость, управляемость и наблюдаемость, а также диагностируемость одиночных дестабилизирующих воздействий.

Итак, рациональное управление базируется на принципе формирования управляющего воздействия по диагнозу текущей нештатной ситуации, вызванной дестабилизирующим воздействием. Цель рационального управления – это поддержание требуемого уровня работоспособности ОРУ при дестабилизирующих воздействиях $d_i \in D, i = \overline{1, q}$.

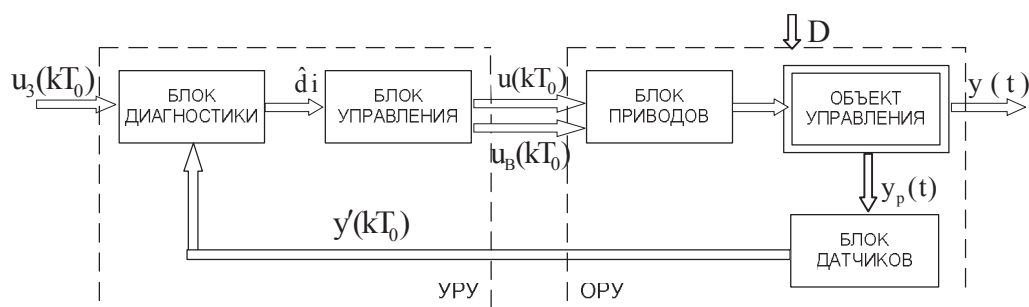


Рис. 1. Блок-схема системы автоматического рационального управления

Модели объектов рационального управления

В номинальном режиме функционирования ОРУ, т.е. при отсутствии дестабилизирующих воздействий, в результате линеаризации исходных нелинейных уравнений получаем такое описание в дискретном пространстве состояний:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) + \xi(k); \\ x(k_0) &= x_0; \\ y'(k) &= Cx(k) + v(k), \end{aligned} \quad (1)$$

где $x(k)$ - вектор состояния ОРУ; $x(k) \in X^n$;

$u(k)$ вектор управляющих воздействий; $u(k) \in U^r$;

$y'(k)$ - расширенный вектор измеряемых переменных; $y'(k) \in Y^m$;

$\xi(k)$ и $v(k)$ - векторы ошибок линеаризации, помех измерения;

A , B и C - матрицы соответствующих размерностей, отражающих преобразовательные свойства ОРУ;

k - номер дискрет, $k \in T$.

В аргументах переменных для упрощения записи опущен параметр T_0 - период квантования сигналов.

Дестабилизирующие воздействия приводят к изменению работоспособности ОРУ. Для аналитического описания этих изменений вводится множество параметров $\Lambda = \{\lambda_j\}_1^\mu$, характеризующих дестабилизирующие воздействия множества $D = \{d\}_1^q$. Для каждого λ_j известно подмножество возможных действительных значений $\Omega_j \subset R^1$. Тогда в нештатных режимах ОРУ будет описываться следующими конечно-разностными уравнениями

$$\begin{aligned} \tilde{x}_j(k+1) &= A(\lambda_j)\tilde{x}_j(k) + B(\lambda_j)u(k) + \xi_j(k); \\ \tilde{x}_j(k_0) &= \tilde{x}_{j0}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\tilde{y}'_j(k) = C(\lambda_j)\tilde{x}_j(k) + v_j(k); j = \overline{1, \mu},$$

здесь $\tilde{x}_j(k)$ и $\tilde{y}'_j(k)$ - векторы, характеризующие нештатный режим. Изменение параметра λ_j характеризует проявление свойства дестабилизирующего воздействия, тогда $\Delta\lambda_j = \lambda_j - \lambda_{jn}$, где λ_{jn} - номинальное значение параметра, будет прямым признаком проявления. Косвенные признаки представляют собой отклонения векторов $\tilde{y}'_j(k)$ от вектора $\hat{y}_j(k)$, характеризующего номинальное поведение ОРУ,

т.е. $\Delta y'(k) = \tilde{y}'(k) - \hat{y}'(k)$, при малых $\Delta\lambda_j \ll \Delta\lambda_j^2$ и $\Delta y'_j(k) \ll (\Delta y'_j(k))^2$. В результате аналитической линеаризации получаем следующие уравнения дестабилизирующих движений:

$$\begin{aligned} \Delta x_j(k+1) &= A\Delta x_j(k) + [A_j\hat{x}(k) + \\ &+ B_j u(k)]\Delta\lambda_j + \eta(k); \Delta x_j(k_0) = \tilde{x}_{j0}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Delta y'_j(k) = C\Delta x_j(k) + C_j\hat{x}(k)\Delta\lambda_j + \mu_j(k); j = \overline{1, \mu},$$

здесь A_j , B_j , C_j - функции чувствительности соответствующих матриц по параметру λ_j ;

$\hat{x}(k)$ - оценка вектора состояния;

$\eta_j(k)$ и $\mu_j(k)$ - векторы ошибок и помех.

Для анализа возможности по косвенным признакам $\Delta y'_j(k)$ установить наличие прямых признаков $\Delta\lambda_j$, $j = \overline{1, \mu}$ введено понятие диагностируемости. Диагностируемость - это свойство уравнений дестабилизирующего движения, характеризующее возможность однозначного установления факта наличия прямого признака любого дестабилизирующего воздействия из множества D по косвенным признакам в течение конечного времени.

В результате проведенных исследований был доказан ряд теорем и получены конструктивные критерии диагностируемости [19, 21], применимые и к ОРУ.

Критерий структурной диагностируемости.

Для структурной диагностируемости ОРУ в малом необходимо и достаточно, чтобы матрицы L_j , $j = \overline{1, \mu}$ были линейно независимы во всех попарных сочетаниях

$$L_j = \begin{bmatrix} A_j & B_j \\ C_j & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Критерий сигнальной диагностируемости.

Структурно диагностируемый ОРУ- L^* будет сигнально диагностируемым в малом, тогда и только тогда, когда векторы $L_j^*v(k)$, $j = \overline{1, \mu}$ линейно независимы во всех попарных сочетаниях. Здесь $v^T(k) = [\hat{x}(k) \ u(k)]$.

Использование критериев диагностируемости при проектировании ОРУ позволяет сформировать такую его структуру и выбрать такие режимы функционирования, которые обеспечивают с помощью аналитических моделей дестабилизирующих движений решение задачи диагностирования и получение однозначного диагноза.

Диагностирование работоспособности

Функциональное назначение блока диагностики (см. рис. 1) заключается в формировании диагноза \hat{d}_i . Разработка алгоритмического обеспечения блока базируется на решении задач, представленных на рис. 2.

В результате анализа и параметризации дестабилизирующих воздействий формируется множество прямых признаков $\Delta\Lambda = \{\Delta\lambda_j\}_1^\mu$ для построения математических моделей, связывающих прямые признаки дестабилизации - $\Delta\lambda_j$ с косвенными - $\Delta y'_j(k)$, такие модели названы диагностическими моделями [21]. Система уравнений (3) представляет один из основных атрибутов таких моделей для каждой из последующих обратных в математическом плане задач.

Задача обнаружения дестабилизации заключается в обнаружении момента времени появления дестабилизирующего воздействия. Результатом решения этой задачи будут двузначные предикаты $Z_0 = S_2(\cdot)$, аргументами которых будут дискретные уравнения, полученные из соответствующих этой задаче диагностических моделей. Следующая задача – это локализация места дестабилизирующего воздействия. Решается она с помощью диагностических моделей локализации как обратная задача, в результате решения которой формируются предикаты $Z_l = S_2(\cdot)$. После выявления места дестабилизации определяется ее вид. Например, дрейф нуля, изменения коэффициента передачи, обрыв и т. п. Для установления конкретного физического вида дестабилизации, например, дрейф положительный,

величиной 1,2 В, с помощью диагностических моделей вида формируются предикаты $Z_{ii} = S_2(\cdot)$.

Полученные, в результате решения основных задач диагностирования, предикаты формируются в сбалансированное дихотомическое дерево, представляющее алгоритмическое средство для получения ответов на вопросы: когда появилась дестабилизация в работоспособности ОРУ? где место, конструктивная часть ее появления? и наконец, что за конкретный, физический ее вид?

Итак, структура используемых диагностических моделей для решения основных задач диагностирования описывается в общем виде следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \Delta x_j(k+1) &= G\Delta x_j(k) + [A_j \hat{x}(k) + B_j u(k)] \Delta \lambda_j + \eta(k); \quad \Delta x_j(k_0) = \tilde{x}_{j0}; \\ \Delta y'_j(k) &= C\Delta x_j(k) + C_j \hat{x}(k) \Delta \lambda_j + \mu_j(k); \quad j = \overline{1, \mu}, \end{aligned} \tag{5}$$

здесь матрица G характеризует динамику и зависит от типа используемых эталонных моделей. В более общем виде структуру диагностических моделей можно представить в форме функциональной связи прямых и косвенных признаков: $\Delta y_j(k) = \varphi(\Delta \lambda_j)$.

Тогда решение основных задач диагностирования это: $\Delta \hat{\lambda}_j(k) = \varphi^{-1}[\Delta y(k)]$ и формирование двузначных предикатных уравнений вида:

$$\begin{aligned} z_v &= S_2 \left\{ f \left[\Delta \hat{\lambda}_j(k) \right] - \delta \right\} = \\ &= \begin{cases} 1, & \text{если } f[\cdot] \geq \delta; \\ 0, & \text{если } f[\cdot] < \delta; \end{cases} \tag{6} \\ \forall k \in T, \quad v &\in \{0, л, и\}. \end{aligned}$$

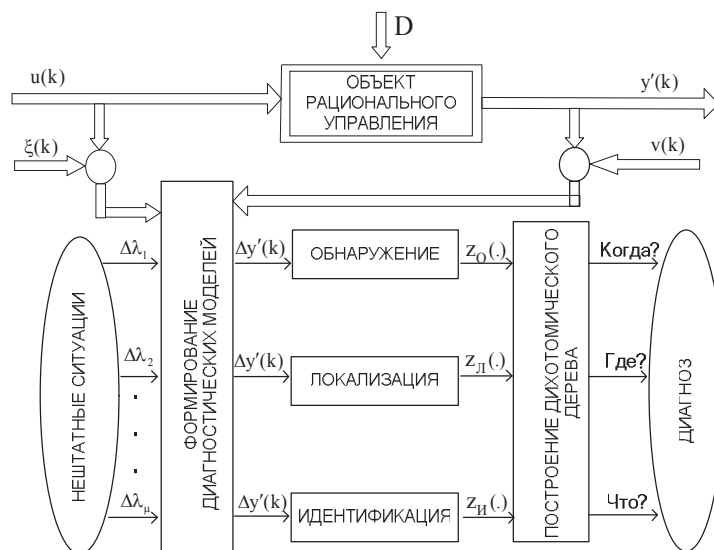


Рис. 2. Структуризация задач диагностирования

С помощью таких предикатных уравнений строится продукционная база знаний в форме сбалансированного по соответствующим критериям дихотомического дерева [21]. Продукционная база знаний о причинно-следственных связях в ОРУ позволяет осуществлять диагностирование в реальном масштабе времени с глубиной до парируемого вида дестабилизирующего воздействия.

Восстановление работоспособности

В блоке управления (см. рис. 1) формируется в соответствии с $u_3(kT_0)$ основное управляющее воздействие $u(kT_0)$ и производится в соответствии с полученным диагнозом выбор средств и формирование управляющих воздействий по восстановлению работоспособности $u_B(kT_0)$. На рис. 3 представлена совокупность основных задач при формировании $u_B(kT_0)$.

В общем виде процессы восстановления работоспособности ОРУ с помощью приведенных средств можно описать следующей системой рекуррентных уравнений:

$$\begin{aligned} \Delta y'(k+1) &= R\Delta y'(k) + Tf[\sigma(k)]; \\ \sigma(k+1) &= \sigma(k) + T_0 u_B(k); \Delta y'(k_0) = \tilde{y}_0, \end{aligned} \quad (7)$$

где R - $(m \times n)$ -матрица, отражающая инерционные свойства контура восстановления работоспособности;

T - $(m \times r)$ -матрица коррекции;

$f[\cdot]$ - r -мерный вектор нелинейных функций, описывающих средства восстановления;

T_0 - период квантования;

$\sigma(k)$ - вектор коррекции.

Для формирования вектора восстановления работоспособности $u_B(k)$ нужно обеспечить асимптотическое убывание к нулю вектора отклонений $\Delta y'(k)$. Это возможно с помощью использования второго метода А.М. Ляпунова [19]. Качество восстановления работоспособности описывается с помощью такой функции А.М. Ляпунова:

$$V[\Delta y'(k)] = \Delta y'^T(k) Q \Delta y'(k), \quad (8)$$

здесь Q - симметричная, положительная матрица. Из условия обеспечения определенной отрицательности первой разности функции (8) формируется алгоритм, обеспечивающий асимптотическую устойчивость, а, следовательно, и восстановления работоспособности с помощью воздействия следующего вида:

$$u_B(k) = -2\Delta y'^T(k) R^T Q^T [T^T Q T]^{-1}, \quad (9)$$

Качество восстановления работоспособности ОРУ обеспечивается соответствующим выбором матриц R , T и Q .

Экспериментальные исследования

На начальном этапе экспериментальных исследований отработка моделей, методов и средств рационального управления производилась сотрудниками кафедры систем управления летательными аппаратами при решении практических задач обеспечения отказоустойчивости блоков систем управления летательными аппаратами.

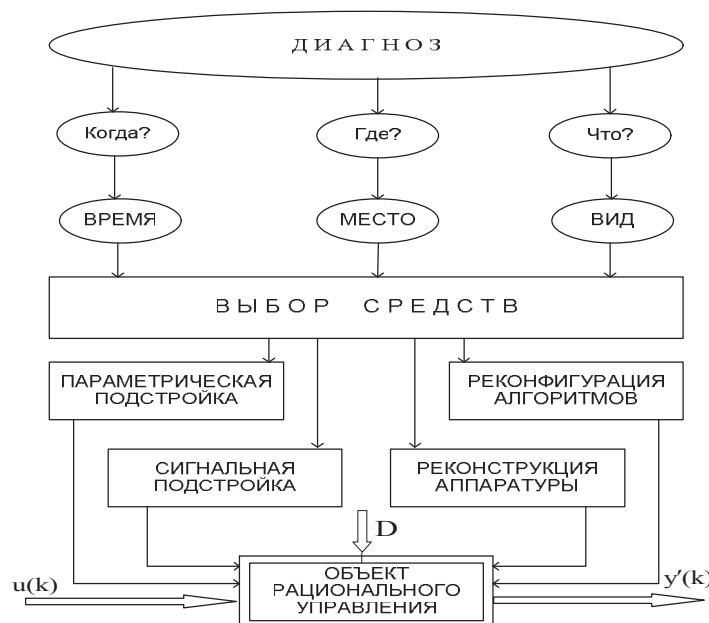


Рис. 3. Структуризация задач восстановления

На рис. 4 представлена функциональная схема стенда для исследования фрагмента блока отказоустойчивых датчиков для канала тангажа. Здесь ДУ – датчик угла тангажа; ДУС₁ и ДУС₂ – датчики угловых скоростей тангажа. На рис. 5 представлен общий вид стенда.

Для каждого датчика имитировалось 11 видов отказов, таких как дрейфы нуля, переориентация, изменение коэффициента передачи и др. Проведенные экспериментальные исследования по имитации, диагностированию и восстановлению работоспособности фрагмента блока свидетельствуют о приемлемой точности восстановления измерений $\hat{U}_v(k)$ и $\hat{U}_\omega(k)$ при единичных отказах датчиков. Аналогичные исследования проводились и для пневматических сервоприводов.

Дальнейшее исследование инструментальных средств производилось для микроспутника как объекта автоматической ориентации и стабилизации. Был разработан аппаратно-программный стенд для исследования элементов рационального управления микроспутником с избыточными структурами двигателей – маховиков и датчиков угловых скоростей. Внешний вид стенда показан на рис. 6.

Имитация 94 видов дестабилизирующих воздействий производилась как аппаратным, так и программным способом. На рис. 7 представлена экранная форма.

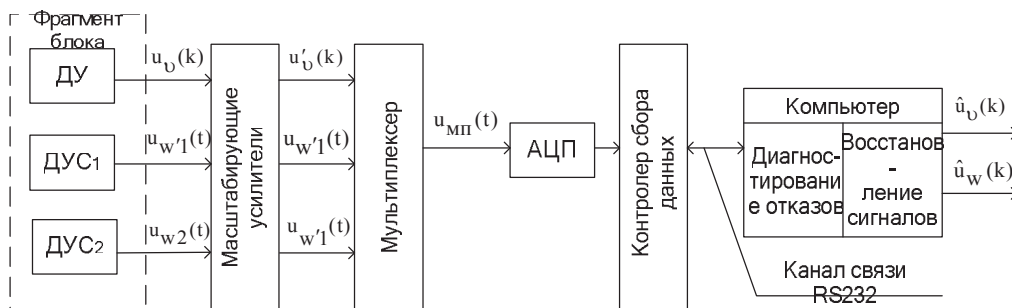


Рис. 4. Функциональная схема стенда для исследования фрагмента блока отказоустойчивых датчиков

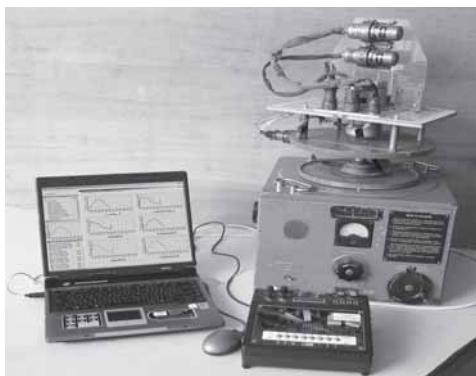


Рис. 5. Общий вид стенда для исследования фрагмента блока датчиков

Результаты экспериментальных исследований такие:

- 1) время диагностирования от 0,15 с до 0,95 с;
- 2) время восстановления работоспособности микроспутника – от 0,54 с до 2,15 с;
- 3) погрешного углового позиционирования в пределах 2-3% от заданного.

Отработка рационального управления производилась также на макетных образцах беспилотных летательных аппаратов – дискообразном летающем изделии – рис. 8 и маневренном автономном летающем изделии – рис. 9.

Проведенные экспериментальные исследования свидетельствуют о принципиальной возможности рационально управлять такими аппаратами при дестабилизирующих воздействиях.

Описанные и другие экспериментальные исследования различных объектов аэрокосмической техники свидетельствуют о принципиальной возможности рационального управления посредством диагностирования в реальном масштабе времени с приемлемой точностью и оперативного восстановления работоспособности с допустимым качеством.

Заключение

В рациональном управлении сделаны только первые шаги, позволяющие понять суть проблемы управления автономными объектами в нештатных

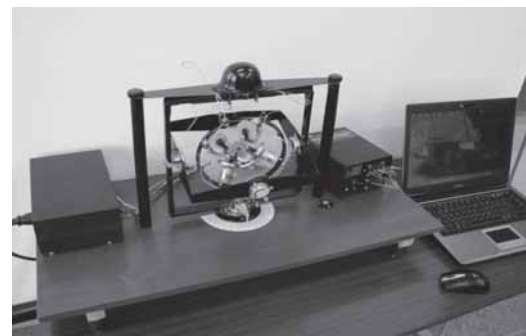


Рис. 6. Общий вид стенда для исследования рационального управления угловым положением микроспутника

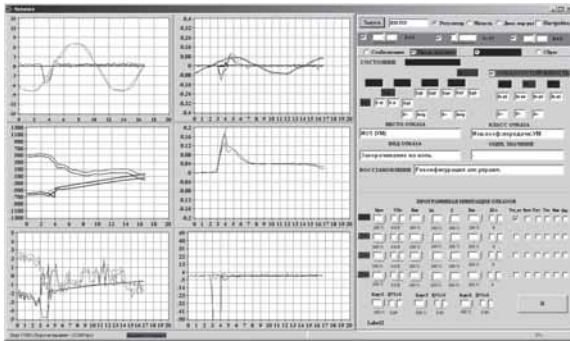


Рис. 7. Экранная форма программного обеспечения верхнего уровня



Рис. 8. Дискаобразное летающее изделие



Рис. 9. Маневренное автономное летающее изделие

ситуациях, найти конструктивный подход к ее решению, базирующийся на идеях и положениях самоорганизации, традициях и инструментальных средствах теории автоматического управления. Результаты экспериментальных исследований на различных по функциональному назначению, устройству и принципу действия объектах свидетельствуют о принципиальной возможности рационально ими управлять как в штатных, так и нештатных ситуациях.

Перспективы дальнейших исследований видятся в таких направлениях.

Первое. Разработка других классов математических моделей, описывающих нештатные ситуации, т.е. диагностических моделей. Эти модели должны отражать не только возмущенное движение объекта в “малом”, а и в “большом”, с учетом нелинейных преобразовательных свойств реальных объектов рационального управления.

Второе. Оперативность и достоверность формирования диагноза существенно влияет на конечный результат: качество восстановления работоспособности и эффективности функционирования и эксплуатации аэрокосмических объектов. В этой связи актуальным представляется разработка более совершенных методов диагностирования динамических объектов в реальном масштабе времени.

Третье. Формирование средств восстановления работоспособности и их эффективное использование требует более совершенной формализованной основы. Поэтому перспективным видится направление разработки математических основ по многокритериальному выбору средств восстановления в реальном масштабе времени в соответствии с диагнозом.

Четвертое. Критериальные оценки качества и эффективности диагностирования, восстановления и в целом рационального управления находятся на качественном уровне. Такое обстоятельство обуславливает необходимость разработки формализованных критериев, позволяющих не только оценивать разработанные системы рационального управления, а находить более совершенные решения в процессе их проектирования.

Пятое. Масштабные экспериментальные исследования на пилотных объектах позволили бы конкретизировать отмеченные направления дальнейших теоретических исследований, сформировать объемы и технологию испытаний, получить убедительные количественные оценки перспективности рационального управления аэрокосмическими объектами.

Литература

1. *Боевая живучесть летательных аппаратов / под ред. В. Ф. Леонтьева. – М.: Воениздат, 1983. – 248 с.*
2. *Рыженко, А. И. Причины авиационных происшествий с гражданскими и военными самолетами [Текст] : учеб. пособие / А. И. Рыженко, В. И. Рябков. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1997. – 208 с.*
3. *Железняков, А. Б. Взлетая, падала ракета... [Текст] / А. Б. Железняков. – СПб.: Система, 2003. – 220 с.*
4. *Проектирование систем управления объектов ракетно-космической техники в 3 т. Т. 3. Экспериментальная отработка систем управления объектов ракетно-космической техники [Текст]: учебник / Ю. С. Алексеев, А. И. Батырев, Б. И. Батырев и др. ; под. общ. ред.. Ю. С. Алексеева,*

Ю. М. Златкина, В. С. Кривцова, А. С. Кулика, В. И. Чумаченко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. Ин-т», НПП «Хартрон-Арко», 2012. – 472 с.

5. Haken, H. *Synergetics Introduction and Advanced Topics* [Text] / H. Haken // Springer - Verlag, Berlin Heidelberg, 2004. – 773 p.

6. Цыпкин, Я. З. *Адаптация и обучение в автоматических системах* [Текст] / Я. З. Цыпкин. – М. : Наука, 1968. – 400 с.

7. Beard, R. *Failure Accommodation in Linear Systems Through Self-Reorganization*. [Text] / R. Beard // Ph.D Thesis – MIT, Cambridge. 1971. – 364 p.

8. Willsky, A. S. *A Survey of Design Methods for Failure Detection in Dynamic Systems* [Text] / A. S Willsky // Automatica. – 1976. – vol. 12. – P. 601-611.

9. Clark, R. M. *Instrument Fault Detection* [Text] / R. M. Clark // IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems. AES – 14. – 1978. – № 3. – P. 456-465.

10. Isermann, R. *Process Fault Detection Based on Modeling and Estimation Methods - A Survey* [Text] / R. Iserman // Automatica. – 1984. – vol. 20, № 4. – P. 387-404.

11. Frank, R. M. *Fault Diagnosis in Dynamic Systems using Analytical and Knowledge – Based Redundancy – A Survey and some new results* [Text] / R. M. Frank // Automatica. – 1990. – vol. 26, № 3. – P. 459-474

12. Kulik, A. S. *Fault Diagnosis in Dynamic Systems via Signal-Parametric Approach* [Text] / A. S. Kulik // IFAC / IMACS Symposium of Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Process – Safeprocess'91, sept. 10-13, Baden-Baden / FRG. – 1991. – vol. 1. – P. 157-162.

13. Кулик, А. С. *Синтез систем, приспособляющихся к изменению параметров элементов и их отказам* [Текст] / А. С. Кулик, В. Г. Рубанов, Ю. Н. Соколов // Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 1. – С. 96-107.

14. Kulik, A. *Synthesis Fault-Tolerant Dynamic Control Systems with Fault-Identification* [Text] / A. Kulik, V. Salyga, I. Sirodgo // Problems of Control and Internation Theory. – 1989. – vol. 18(1). – P. 48-54.

15. Kulik, A. *Sensor unit Fault-Tolerant Enhancement by means of Failure Diagnosis and Serviceability Restoration* [Text] / A. Kulik, A. Kozij // Proc. IFAC Workshop on Intelligent Autonomus Vehicles Southampton, UK, 1993. – P. 516-521.

16. Kulik, A. *Sensor unit Fault-Tolerant Support for a Guroscopic-Sensor Unit* [Text] / A. Kulik, A. Kozij // Engineering Simulation. – 1996. – vol. 13. – P. 955-966.

17. Isermann, R. *Fault-Diagnosis Systems an Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance* [Text] / R. Isermann. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 475 p.

18. Кулик, А. С. *Становление и развитие рационального управления объектами в нештатных ситуациях* [Текст] / А. С. Кулик // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 5(24). – С. 8-15.

19. Кулик, А. С. *Обеспечение отказоустойчивости систем управления* [Текст] : учеб. пособие / А. С. Кулик. – Х.: «Харьк. авиац. ин-т», 1991. – 90 с.

20. Kulik, A. *Control System fault-tolerant ensuring via self-organization* [Text] / A. Kulik // Proc. of Second International Conference “Intelligent System Engineering”, Hamburg, 1994. – P. 461-466.

21. Кулик, А. С. *Сигнально-параметрическое диагностирование систем управления* [Текст] / А. С. Кулик. – Харьков.: Гос. аэрокосм. ун-т. “ХАИ”; Бизнес-Информ, 2000. – 260 с.

Поступила в редакцию 7.02.2014, рассмотрена на редколлегии 12.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. авиационных приборов и измерений Н. Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

РАЦІОНАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРАЦЕЗДАТНІСТЮ АЕРОКОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ВПЛИВАХ

А. С. Кулік

Розглянуто тенденції управління працездатністю аерокосмічних об'єктів автоматичного управління при дестабілізуючих впливах. Описано особливості раціонального управління такими об'єктами за допомогою нового принципу управління за діагнозом. Викладено моделі і методи діагностування і відновлення працездатності багатовимірних об'єктів автоматичного управління при дестабілізуючих впливах. Наведено результати експериментальних досліджень щодо раціонального управління працездатністю різних макетних об'єктів автоматичного управління.

Ключові слова: об'єкт автоматичного управління, працездатність, дестабілізуючий вплив, принцип управління за діагнозом, раціональне управління, діагностика, відновлення.

RATIONAL CONTROL OF AEROSPACE OBJECTS OPERABILITY UNDER THE INFLUENCE OF THE DESTABILIZING ACTIONS

A. S. Kulik

The tendency of the aerospace automatic control objects operability control under the influence of the destabilizing actions is considered. The peculiarities rational controls of such objects by the new control principle by diagnose are described. The models and methods of the multidimensional automatic control objects diagnosing and recovery operability under the influence of the destabilizing actions are expounded. The results of the experimental researches on the rational control of different breadboard automatic control objects are given.

Key words: automatic control object, operability, destabilizing action, control principle by diagnose, rational control, diagnosing, recovery.

Кулик Анатолий Степанович – д-р техн. наук, профессор, заведующий каф. систем управления летательными аппаратами, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.