

Новая конструкция по крупному состоит из капотов редукторного отсека и капотов хвостового отсека.

Капоты редукторного отсека имеют силовую пространственную раму, выполненную из композиционных материалов (КМ). Конструктивно рама выполнена в виде трехслойной конструкции с сотовым наполнителем Nomex. Рама имеет технологический разъем в передней части по плоскости симметрии на левую и правую половины. В эксплуатации возможен демонтаж рамы с борта вертолета при снятии мостика без снятия тяг автомата перекоса. В нижней части рама крепится к бортовым профилям болтами. На силовую раму на двух петлях каждый навешены по три боковых люка с левой и правой стороны. Боковые люки нижней частью притягиваются на стяжных замках к раме. Боковые люки выполнены из КМ с применением сотового наполнителя и имеют стержневые упоры открытого положения.

Спереди на пространственную силовую раму навешена на двух петлях передняя подъемная часть капота (ППЧК), объединенная с воздухозаборником маслорадиаторов. На боковой поверхности ППЧК имеет отверстия для выхода горячего воздуха, прикрытые нерегулируемыми жалюзи. Воздухозаборник маслорадиаторов защищен металлической решеткой. ППЧК стяжными замками крепится в закрытом положении к бортовым профилям потолка вертолета, в открытом положении фиксируется упорами.

В верхней части на пространственную раму и

противопожарную перегородку на винтах устанавливается верхний обтекатель, состоящий из левой и правой частей. Обтекатель выполнен из КМ с применением сотового наполнителя.

Капот хвостового отсека состоит из люка (для осмотра баллонов, манометров и трубопроводов противопожарной системы) и несимметричных левой и правой половин капота. Люк навешен на левую половину капота на петлях, в открытом положении фиксируется упором, в закрытом – замком-защелкой. Люк выполнен из КМ с применением сотового наполнителя и имеет решетку-жалюзи вентиляции.

Таким образом, новая конструкция капота помогает решить следующие проблемы: во-первых, благодаря откидывающимся люкам упрощен доступ к агрегатам вертолета, исключая демонтаж капотных обтекателей и сокращающий количество обслуживающего персонала до одного человека. Во-вторых, возможно использование современных технологий и материалов.. Применение КМ в конструкции также дает неоспоримые преимущества перед металлами: улучшение весовой характеристики конструкции с сохранением прочностных параметров; снижение временных затрат на производство; упрощение конструкции с технологической точки зрения; выигрыш с экономической точки зрения (за счет низкой стоимости материалов и сырья); изделия из КМ не корродируют и негигроскопичны; более высокие тепло- и звукоизоляционные характеристики; более высокая технологичность при изготовлении элементов двойной кривизны.

## **АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛА**

©2012 Алексеев Ф.Ф., Широков П.С.

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева (КАИ),  
Казань

## **CONSTRUCTION ALGORITHM FOR REGIONS OF STABLE FUNCTIONING OF FLYING VEHICLE CONTROL SYSTEM**

©2012 Alekseev F.F., Shirokov P.S.

Problem of definition of estimation of regions of stable functioning of flyings vehicles (FVs) in presence of partial failures on the basis of given dynamic properties is important issue. Failures by variation of parameters of FV control system are introduced into system. We build area providing for first difference fulfilment of condition  $-\Delta v > 0$  for initial system and system with failures into which surface  $v = C$  defining estimation of region of attraction is inscribed. The region of attraction at failures decreases so that it corresponds to deterioration of properties of initial system. At these failures we carry out search of Lyapunov function allowing to construct the region of stability close to initial or greater than initial.

**Алгоритм определения оценки областей устойчивого функционирования вертолета при частичных отказах по заданным динамическим свойствам.** Вводим в систему отказы изменением параметров системы управления вертолетом. Строим область, обеспечивающую для первой разности выполнение условия  $-\Delta v > 0$  для исходной и системы с отказами, куда вписывается поверхность  $v = C$ , определяющая оценку области притяжения. Область притяжения при отказах уменьшается, что соответствует ухудшению свойств исходной системы. При этих отказах проведем поиск функции Ляпунова, позволяющей построить область устойчивости, близкую к первоначальной или больше исходной.

**Алгоритмы восстановления области устойчивого функционирования при наличии частичных отказов.** Проводится поиск функции Ляпунова, позволяющей построить область устойчивости близкую к первоначальной или большей. При невозможности восстановления по параметрам функции Ляпунова, проводится дополнительный синтез системы управления из условия восстановления оценки области притяжения.

**Алгоритм идентификации параметров частичных отказов заданной структуры. Восстановление нелинейностей с заданной структурой.** Рассматривается дискретный объект управления вида  $x_{s+1} = (A' - B'K)x_s + B'K\varphi_s(\sigma_s)$ ,  $\sigma_s = C'x_s$ , где  $x \in R^n$  – вектор состояния объекта.  $A, B, C, K$  –  $n \times n, n \times m, m \times n, m \times m$  – постоянные матрицы,  $\varphi_s(\sigma_s)$  – вектор секторных

нелинейностей, присутствующих в системе,  $K$  – синтезированная матрица. Функцию Ляпунова выбираем в виде  $v = x^T P x$ , где  $P$  –  $n \times n$  – матрица,  $P = P^T, P > 0$ , определяется из матричного уравнения  $G = A^T P A - P$ , где  $G$  –  $n \times n$  – постоянная отрицательно определенная матрица.

Решаемые задачи: 1. Используя функцию живучести, идентифицировать произошедший в системе отказ.

2. Оценить изменение области устойчивого функционирования рассматриваемого объекта управления и, используя алгоритм восстановления области притяжения, привести изменившуюся область к исходному виду.

3. Используя алгоритм идентификации отказа, идентифицировать произошедший в объекте управления отказ.

При решении поставленных задач, для наглядности, принимается наличие в системе нелинейности типа «насыщения», а отказом будем считать изменение характеристики нелинейности.

Решение первой задачи: Первая разность функции Ляпунова в силу системы имеет вид:

$$\Delta v(x_s) = x_s^T G x_s = 2\varphi_s^T B^T P A x_s + \varphi_s^T B^T P B \varphi_s$$

где  $\varphi^T(\sigma_s) = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m)$ ; или

$$v_1 = -\Delta v(x_s) = -x_s^T G x_s - 2\varphi_s^T B^T P A x_s - \varphi_s^T B^T P B \varphi_s.$$

Исследуя  $v_1$  на экстремум, находим  $x_{s^*} = G_1^{-1} C^T \bar{C} \bar{\sigma}_s + G_1^{-1} C^T \bar{C} C G_1^{-1} A^T P B \varphi_s - G_1^{-1} A^T P B \varphi_s$

и получаем

$$v_{1o} = -\Delta v_o(x_s) = \phi_s^T \tilde{C}_1 \phi_s + \phi_s^T \tilde{C}_2 \bar{\sigma}_s + \bar{\sigma}_s^T \tilde{C}_3 \bar{\sigma}_s,$$

$$\tilde{C}_1 = B^T P A G_1^{-1} (E_n - D_o) A^T P B - B^T P B, \tilde{C} =$$

$$-(C G^{-1} C^T)^{-1},$$

$$\tilde{C}_2 = -2 B^T P A G_1^{-1} C^T \tilde{C}, \tilde{C}_3 = -\tilde{C} C G_1^{-1} \tilde{C}, D_o =$$

$$C^T C G_1^{-1}$$

Определяется функция живучести  $Q = \phi_s^T \tilde{C}_1 \phi_s - \bar{\phi}_s^T \tilde{C}_1 \bar{\phi}_s + (\phi_s^T - \bar{\phi}_s^T) \tilde{C}_2 \sigma_s \cdot \bar{\phi}_s$  - нелинейность с отказом. Если  $Q > 0$ , то в объекте произошел отказ.

На этой же основе решается вторая задача.

**Алгоритм идентификации параметров частичных отказов заданной структуры.** Функция живучести позволяет идентифицировать произошедшие в системе изменения и дать их первоначальную оценку, но она не позволяет идентифицировать сам отказ.

Решение третьей задачи: Присутствующие в системе нелинейности под влиянием внешних факторов могут менять свои характеристики, что может повлиять на формирующееся управление и может ухудшить характер переходных процессов. Модель идентификации (настраиваемая модель) имеет вид:  $\bar{x}_{s+1} = \bar{C} \bar{x}_s + \bar{A}_s x_s + \bar{B}_s \phi_s(\sigma_s)$ , где  $\bar{C} - n \times n$  - постоянная положительно определенная матрица,  $\bar{A}_s, \bar{B}_s$  - матрицы с настраиваемыми параметрами. Цель состоит в том, чтобы разработать схему, которая динамически управляет этими элементами таким образом, чтобы

$\lim_{t \rightarrow \infty} \bar{A}(t) = A, \lim_{t \rightarrow \infty} \bar{B}(t) = B,$   
 $\lim_{t \rightarrow \infty} [\bar{x}(t) - x(t)] = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$  . Вектор состояния ошибки в этом случае можно записать:  $e_{s+1} = \bar{C} e_s + \Phi x_s + \Psi \phi_s(\sigma_s)$ , где параметры матрицы ошибки определяются как  $\Phi \equiv [\bar{A} - A]$  и  $\Psi \equiv [\bar{B} - B]$ .

Устойчивость адаптивного алгоритма идентификации обеспечивается следующими алгоритмами идентификации  $\dot{\Phi} = -\Gamma_1 P e x^T, \dot{\Psi} = -\Gamma_2 P e \phi^T$ , где  $P = P^T, P > 0$  - симметричная положительно определенная матрица,  $\Gamma_1 = \Gamma_1^T > 0, \Gamma_2 = \Gamma_2^T > 0$ . Для практической реализации законы идентификации запишем в следующем виде:  $\bar{A} = -\Gamma_1 P e X^T, \bar{B} = -\Gamma_2 P e \phi^T$ . Подобная же схема идентификации может быть применена для идентификации параметров дискретной системы управления.

Для отладки алгоритма восстановление неисправной характеристики изменение отказавшей секторной характеристики выберем по определенному закону. Номинальная характеристика

$$x_8 > \sigma_m \phi_8 = \sigma_m, -\sigma_m \leq x_8 \leq \sigma_m \sigma = k x_8,$$

$$x_8 < \sigma_m \sigma = x_8 = -\sigma_m$$

Для демонстрации качества алгоритма рассматривается характеристика с отказом  $\phi = \sigma_m + \sin(kt / (2\pi))$

## НЕЧЕТКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛА\*)

©2012 Алексеев Ф.Ф., Алексеев А.Ф., Елисеев С.Ю.

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева (КАИ), Казань

## FUZZY IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF FLYING VEHICLE CONTROL SYSTEM

©2012 Alekseev F.F., Alekseev A.F., Eliseev S.Yu.

The problem of design of algorithms of identification of system parameters based on use of adjustable model is considered. Identification problem consists in definition of suitable model and in elaboration of scheme for dynamic regulation of its parameters so that they converge to product