

УДК 62.001.4

ВОПРОСЫ СИНТЕЗА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПИЛОТАЖНО- НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2011 А.Н. Коптев, А.В. Кириллов, Н.А. Яковенко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 18.03.2011

Статья посвящена вопросам синтеза динамических моделей пилотажно-навигационных комплексов (ПНК) летательных аппаратов при их контроле и диагностике. В данной работе предложено решение некоторых вопросов диагностики систем ПНК, связанных со спецификой решаемых комплексом задач. Определены общие подходы к решению частных задач синтеза динамических моделей диагностируемых систем и агрегатов ПНК на основе тензорного анализа и теории образов.

Ключевые слова: *моделирование, пилотажно-навигационный комплекс, диагностика, динамический контроль, пространственно-временной образ, тензорный анализ сетей*

Современные диагностические комплексы систем бортового оборудования прошли долгий путь развития, совершенствования, и представляют из себя мощные многофункциональные программируемые системы, способные выполнить в составе одного комплекса широкий спектр диагностических тестов, применительно к разным типам бортового оборудования. Несмотря на высокий технический уровень современных диагностических средств некоторые вопросы диагностики систем пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) современных летательных аппаратов (ЛА) в силу специфики выполняемых задач остаются не решенными.

Анализ процессов контроля и диагностики ПНК показал, что лётные испытания выявляют достаточно высокий процент неисправностей, связанных с функционированием ПНК в целом в реальных динамических условиях. Однако лётные испытания не дешевы, и каждый авиапроизводитель стремится уменьшить объём внеплановых (повторных) вылетов для отработки обнаруженных дефектов. Решение этой задачи возможно на базе динамической модели всего пилотажно-навигационного оборудования как единого комплекса. Для создания такой модели и её реализации в рамках

динамической системы контроля и диагностики в наземных условиях необходимо решить ряд задач. Это позволит снизить объём летных испытаний и как следствие производственных затрат, при этом значительно повысить качество авиационной техники, обеспечив безопасность полётов.

Данная статья посвящена одному из центральных вопросов – синтезу динамической модели систем ПНК для решения задач диагностики на базе таких математических инструментов как теория образов У. Гренандера [1] и теория тензорного анализа Г. Крона [2]. Подобному подходу к решению задач диагностики посвящены труды А.Н. Коптева, В.А. Прилепского, Д.В. Гольдена, В.И. Сагунова, Г.М. Загруднинова, Б.Г. Соловьева.

Под динамической моделью будем понимать множество регулярных конфигураций $\rho(k)$ [1], где k – набор правил и ограничений, а само множество $\rho(k)$ является пространственно-временным образом полной структуры ПНК, отражающим все пилотажные и навигационные задачи, выполняемыми комплексом в полёте. Таким образом, задача аппаратных средств диагностики в общей постановке сводится к сравнению полученного образа ПНК с реально существующим оригиналом. Представлением конкретной пилотажно-навигационной задачи является конфигурация $c_i \in \rho(k)$ обладающая составом и структурой. Состав всякой конфигурации c_i есть набор: $c_i = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$, где g_i – образующая [1],

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники. E-mail: eat@ssau.ru

Кириллов Алексей Владимирович, аспирант. E-mail: aL63-2010@mail.ru

Яковенко Николай Александрович аспирант. E-mail: spidervs@mail.ru

являющаяся интерпретацией стандартных составных блоков и агрегатов моделируемых систем ПНК. Структура конфигурации c представляет собой множество σ соединений, существующих между всеми или некоторыми связями $\omega(g_i)$ образующих, входящих в её состав. Множество σ можно задать с помощью квадратной матрицы инцидентности порядка $\Sigma\omega(g_i)$, в которой единицы и нули указывают наличие или отсутствие соединения в определённых парах связей, которая может быть представлена дельтой Кронекера [2].

На основе обобщённого понятия образующей и понятия о конфигурации, с учётом правил и ограничений, строим конфигурации для представления определённых контуров систем ПНК. В качестве примера конфигурации можно привести задачу поддержания ЛА на заданной траектории полёта на примере самолёта Ан-140 (рис. 1). В рамках решения поставленной задачи системы ПНК взаимодействуют следующим образом. Траектория полёта со всеми промежуточными пунктами предварительно программируется в бортовой системе приёма спутниковой навигационной информации СН-3301. По сигналам СНС ГЛОНАСС и GPS, а также используя значение истинной воздушной скорости ($V_{ист}$) от системы ИК ВСП и текущего курса ($\varphi_{тек}$) от БСФК, аппаратура СН-3301 формирует и выдаёт в САУ сигнал заданного угла крена $\gamma_{зад} = f(z, \dot{z}, \Delta ЗПУ)$, где: $\dot{z} = W_z$ – составляющая вектора путевой скорости, β – угол сноса. Получая значение $\gamma_{зад}$, вычислитель САУ определяет закон управления по каналу крена $\delta_{эл} = f(\gamma_{зад})$. Самолёт совершает эволюции, приводящие к возврату на траекторию полёта, определяя тем самым обратную связь всего процесса регулирования.

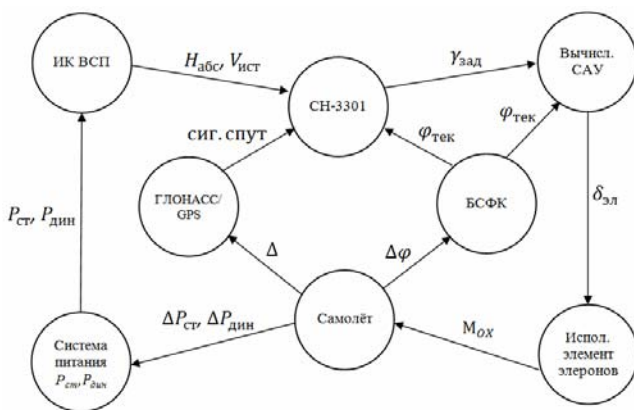


Рис. 1. Стабилизация ЛА на заданной траектории

При составлении образов любых систем бортового комплекса оборудования очевидно, что в составе полного изображения [1] временным изменениям подвержены только показатели связи введенных образующих:

$$\beta_{ij} = f(t)$$

Таким образом, введём дополнительное условие: $X = R^3 \times R^t$, где R^t – пространство времени. В новом опорном пространстве R^t будем рассматривать полное множество показателей связи как множество временных образов. В целях синтеза временного образа введём три новых вида образующих и рассмотрим их свойства.

1. $g_i^{up}(f_i^{up}(t), \tau_i^{up})$ – интерпретация увеличения, возрастания значения показателя связи β_i по отношению к исходному состоянию. Данная образующая характеризуется двумя признаками: $f_i^{up}(t)$ – функция времени, определяющая характер процесса восстановления. В качестве $f_i^{up}(t)$ может выступать любая возрастающая функция, в том числе и скачек. Второй признак τ_i^{up} характеризует длительность процесса возрастания в каких-либо единицах времени.

2. $g_i^{dow}(f_i^{dow}(t), \tau_i^{dow})$ – интерпретация уменьшения, снижение значения β_i от уровня исходного состояния. Образующая g_i^{dow} является противоположной в отношении образующей g_i^{up} и характеризуется аналогичными признаками: – законом $f_i^{dow}(t)$ и длительностью τ_i^{dow} процесса уменьшения. Двух введенных образующих недостаточно для формирования конфигурации временного образа. Не хватает ключевого звена – точки начала отсчёта, стартового уровня, характеризующего текущее положение показателя связи β_i . Эту роль выполняет образующая.

3. $g_i^{con}(Y_i, \tau_i^{con})$, признаками которой являются длительность неизменного состояния Y_i, τ_i^{con} – текущее значение, существующее в течении времени τ_i^{con} и являющееся значением показателя связи. На базе заданных образующих получена обобщённая временная конфигурация (рис. 2).

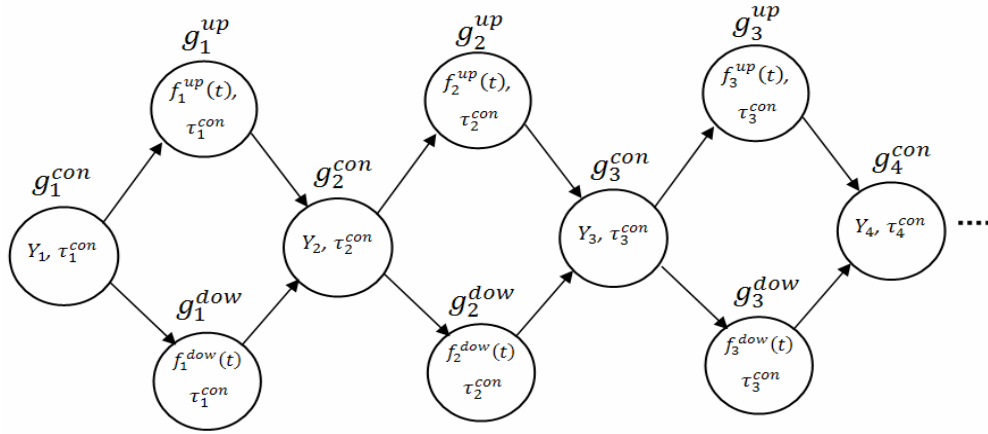


Рис. 2. Обобщённая временная конфигурация

Любой процесс начинается с исходного положения \$Y_i\$, которое существовало сколь угодно долгое время \$\tau_i^{con}\$ (образующая \$g_i^{con}\$). Далее наступает изменение \$Y_i\$ либо в сторону увеличения по закону \$f_i^{up}(t)\$, либо в направлении уменьшения по закону \$f_i^{dow}(t)\$. По истечению времён соответственно либо \$\tau_i^{up}\$, либо \$\tau_i^{dow}\$ параметр \$Y_i\$ приобретает новое значение \$Y_2\$, в котором будет находиться в течении времени \$\tau_2^{con}\$ (образующая \$g_2^{con}\$). На следующей итерации фигурантами подобного процесса выступают образующие \$g_2^{up}, g_2^{dow}, g_3^{con}\$ и т.д. В общем случае при \$t \rightarrow \infty\$ временная конфигурация (рис. 2) устремляется в бесконечность:

$$\sum_{i=0}^{\infty} (\tau_i^{up} + \tau_i^{dow} + \tau_i^{con}) = \infty$$

В частных случаях конфигурация (рис. 2) имеет количество из \$n\$ итераций, в рамках которых завершается представляемое действие, происходящее в течении времени \$\tau_n\$

$$\sum_{i=0}^{\infty} (\tau_i^{up} + \tau_i^{dow} + \tau_i^{con}) = \tau_n$$

Сочетание конфигурации типового процесса (рис. 1) и временной конфигурации (рис. 2) позволяет формировать пространственно-временные образы, применяемые в целях динамического моделирования систем ПНК любых ЛА при контроле и диагностике.

С общих позиций задачи диагностики можно свести к следующей постановке (рис. 3). Аппаратные средства контроля и диагностики (АСКД), скомплектованные в единый проверочный комплекс, имеющий в своём составе все необходимые элементы, обеспечивающие формирование и подачу оптимального

множества воздействий: \$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}\$, на вход проверяемых систем и агрегатов ПНК и на вход, синтезированной в виде пространственно-временного образа, модели ПНК.



Рис. 3. Алгоритм диагностики

Отрабатывая входные возмущения системы и агрегаты ПНК формируют множество: \$Y^r = \{y_1^r, y_2^r, y_3^r, \dots, y_m^r\}\$ выходных параметров. Так же пространственно – временная модель, испытывая деформации [1], формирует множество: \$Y^{im} = \{y_1^{im}, y_2^{im}, y_3^{im}, \dots, y_m^{im}\}\$, являющееся идеальной реакцией, соответствующей полностью исправному ПНК. Далее множества \$Y^{im}\$ и \$Y^r\$ сравниваются в анализаторе, который выполняет операцию: \$y_i^r - y_i^{im} > A_i\$, где \$A_i\$ – пороговое значение, заданное для каждого контролируемого параметра технической документацией на объект контроля и диагностики.

Выводы: разработанный алгоритм контроля и диагностики обладает большой гибкостью и функциональностью, так как разработчик диагностических тестов вправе сам выбирать состав множества исходных воздействий \$X\$. И поскольку пространственно-временная

модель ввиду полного соответствия способна отразить все режимы работы ПНК, то на базе одних и тех же АСКД, используя различные модели, можно выполнять как оперативные тесты, так и полную динамическую диагностику современных пилотажно-навигационных комплексов для оценки их состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Том 1. Синтез образов. – М.: Мир, 1979. 383 с.
2. Крон, Г. Тензорный анализ сетей. – М.: Советское радио, 1978. 720 с.
3. Коптев, А.Н. Монтаж, контроль и испытания электротехнического оборудования ЛА / А.Н. Коптев, А.А. Миненков, Б.Н. Марьин, Ю.Л. Иванов. – М.: Машиностроение, 1998. 296 с.

QUESTIONS OF DYNAMIC MODEL SYNTHESIS FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF FLYING-NAVIGATING COMPLEXES FOR AIRCRAFTS

© 2011 A.N. Koptev, A.V. Kirillov, N.A. Yakovenko

Samara State Aerospace University

Article is devoted to questions of dynamic models synthesis of flying-navigating complexes (FNC) for aircrafts at their control and diagnostics. In the given work the decision of some questions of FNC systems diagnostics, connected with specificity of problems, solved by a complex is offered. The general approaches to the decision of private problems of dynamic models synthesis of diagnosed FNC systems and units on basis of tensor analysis and theory of images are defined.

Key words: *modeling, flying-navigating complex, diagnostics, dynamic control, existential image, tensor analysis of networks*

*Anatoliy Koptev, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Aircraft Maintenance Department.*

E-mail: eat@ssau.ru

Aleksey Kirillov, Post-graduate Student. E-mail:

aL63-2010@mail.ru

Nikolay Yakovenko, Post-graduate Student. E-mail:

spidervs@mail.ru