

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

© 2014 В.Н. Писаренко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 21.05.2014

В статье рассмотрен анализ и синтез авиационной транспортной системы с целью ее исследования, выявления центрального звена и определения приоритетных направлений обеспечения безопасности полетов.

Ключевые слова: воздушные суда, безопасность полетов, системный подход, сложная система, связь, модель, матрица, человеческий фактор.

Гражданская авиация на современном этапе представляет собой сложную динамическую авиационную транспортную систему (АТС), связанную с комплексным использованием авиационной техники, разнообразных технических средств (связи, навигации, контроля, управления) и организацией работы различных служб подготовки, обеспечения и выполнения полетов. Ее работа происходит при непрерывном увеличении объемов авиационных перевозок, рейсов и освоением новой авиационной техники. Главной задачей АТС является обеспечение безопасности полетов воздушных судов.

В документах Международной организации гражданской авиации (ИКАО) [1-4], АТС традиционно представляется в виде концептуальной модели “человек-машина-среда” SHELL, предложенной профессором Эдвардсом и усовершенствованной Ф. Хоуккинсом, показанной на рис. 1, где: S – Software – процедуры, правила, подготовка, документация и т. д.; H – Hardware – машины и оборудование – объект (воздушное судно); L – Liveware – Human – субъект (человек – пилот); E – Environment – среда – эксплуатационные условия, в которых взаимодействуют компоненты системы L-H-S и которые должны учитываться в полете.

Указанная схема иллюстрирует общую идею исследования, из которой следует, что каждая составляющая системы “человек-машина-среда”, непосредственно соприкасается с каждой другой. Эта диаграмма стандартного блока человеко-машинной системы охватывает интерфейсы АТС. Так, из схемы следует, что человек взаимодействует с человеком (L-L), человек - с технологией работы (L-S), человек - с окружающей средой, то

есть с условиями полета (L-E), человек - с техническим устройством (машиной), то есть с воздушным судном или оборудованием ВС (L-H). Важной составляющей модели является цепочка, затрагивающая схему SHELL - взаимодействие между людьми.

В отечественной литературе [5-7] АТС обычно представляют в виде структуры, показанной на рис. 2.

При системном подходе АТС представляет собой сложную систему, части которой можно рассматривать как системы, закономерно объединенные в единое целое в соответствии с определенными принципами и связанные между собой заданными отношениями. Она включает в себя следующие системы: экипаж - воздушное судно, службу управления воздушным движением, службы обеспечения полетов, каждая из которых может рассматриваться как самостоятельная система. АТС относится к классу интеллектуальных систем, так как составляющие АТС представляют собой человеко-машинные системы.

Произведем решение задачи анализа и синтеза управления АТС в целях исследования индикаторов качества управления интеллектуальной системой АТС, и для этого воспользуемся интервальными и неясными методами [9]. Применение этих методов вызвано несоответствием данных и параметров АТС, которой присущи только статистические данные воздействия АТС на безопасность полетов. Разработаем новый подход к управлению АТС, не нарушая принятой ИКАО модели SHELL и дополняя концепцию ИКАО [3, 4] по организации управления безопасностью полетов, направленной на снижение факторов риска, и рассмотрении влияния организационных процессов при управлении воздушным судном. В данной статье решение задачи параметрического синтеза управле-

*Писаренко Виктор Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники.
E-mail: eat@ssau.ru*

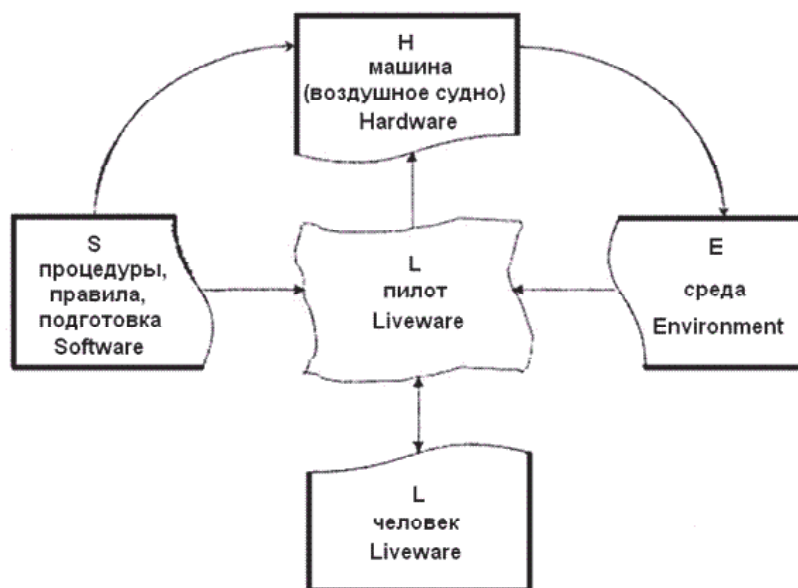


Рис. 1. Компоненты и интерфейсы модели SHELL

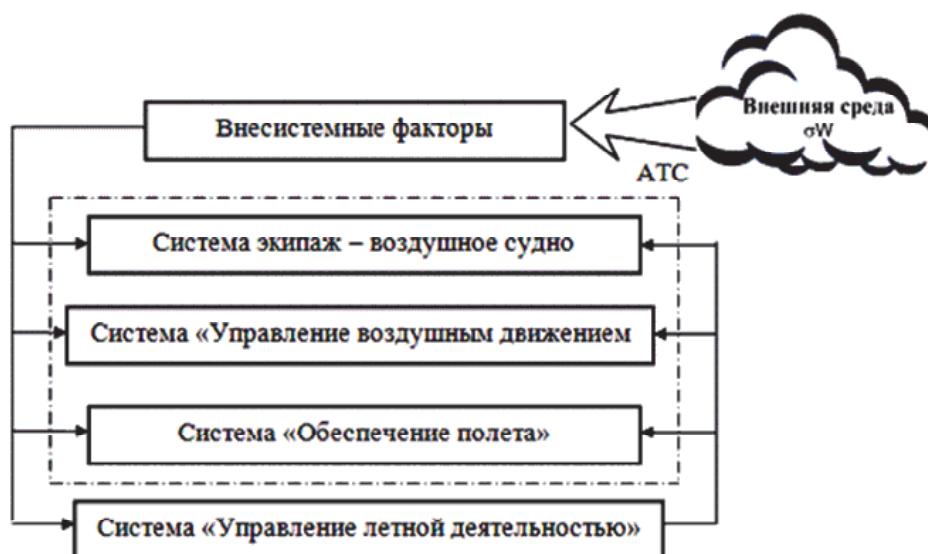


Рис. 2. Структура АТС

ния интеллектуальной системы АТС с неточными данными выполним с помощью метода интервального анализа [10].

Утверждение задачи.

Примем, что математическая модель АТС представляет собой мультивариантную модель управления неуверенным объектом, показанную на рис. 3.

В соответствии с рис. 2 АТС имеет m входов и m выходов и, таким образом, имеет m каналов. При применении метода синтеза в классе многомерных систем должно выполняться условие: каждый канал должен быть развязан от остальных, независим и автономен. В системе АТС управляемыми переменными являются управление экипажем воздушным судном, управление движением воздушных судов, управление обеспечением полета, управление летной деятельностью и др.

В данном случае $\bar{U}(t) = [u_1(t) \ u_2(t) \ u_3(t) \ \dots]$ и $\bar{X}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ x_3(t) \ \dots]$.

При исследовании системы АТС, а также при синтезе АТС необходимо учитывать перекрестные связи - влияние на действия экипажа системы управления воздушным движением, системы обеспечения полета, системы управления летной деятельностью и др. (сигнал $u_1(t)$ воздействует на выход $x_2(t)$, $u_2(t)$ воздействует на выход $x_1(t)$, и т.д.)

Управление АТС выглядит следующим образом

$$\bar{X}(t) = A\bar{X}(t) + B\bar{U}(t), \quad (1)$$

где $\bar{X}(t)$ – n мерный вектор состояний; $\bar{U}(t)$ – m мерный вектор управляющих воздействий; A и B – интервальные матрицы управления АТС.

Задачей синтеза будем считать определение матрицы интервалов K в уравнении обратной связи

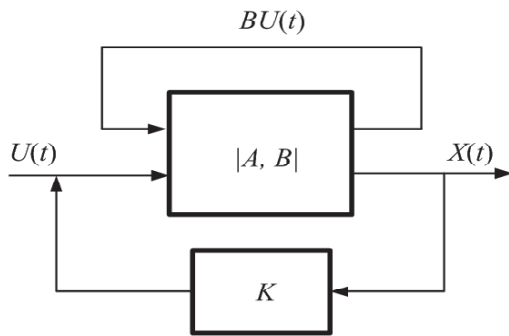


Рис. 3. Модель АТС:

$\bar{U}(t)$ – векторный входной сигнал,
 $\bar{X}(t)$ – вектор состояния АТС;

A и B – интервальные матрицы управления АТС;
 K – матрицы интервалов - отрицательная обратная связь устойчивого управления;
 $B\bar{U}(t)$ – вектор-функция управления АТС

$$\bar{U}(t) = -K\bar{X}(t), \quad (2)$$

обеспечения желательных динамических свойств закрытой системы АТС, которая представлена в следующем виде

$$\dot{\bar{X}}(t) = A\bar{X}(t) - BK\bar{X}(t) = (A - BK)\bar{X}(t) = D\bar{X}(t), \quad (3)$$

где D – интервальная матрица управления закрытой системы АТС.

Интервальную полиномиальную характеристику закрытой системы АТС представим в виде

$$[d(\lambda)] = \det(AI - D) = \lambda^n + [d_1]^{n-1} + \dots + [d_n], \quad (4)$$

где $[d_i]$, $i = \overline{1, n}$ – интервальный номер полиномиальной характеристики.

Алгоритм решения задачи синтеза АТС будет состоять из двух следующих шагов.

Шаг 1:

Решение параметрической задачи синтеза управления мультивариантного стационарного объекта АТС, принадлежит семейству (1).

Прежде, чем непосредственно перейти к решению задачи синтеза семейства ценностей математической модели (1) рассмотрим математическую модель с установившимися параметрами элементов матриц A и B , т.е. математическую модель следующего вида

$$\dot{\bar{X}}(t) = (A - BK)\bar{X}(t) + \bar{U}(t), \quad (5)$$

где A , B и K – постоянные матрицы.

Для замыкания обратной связи необходимо знать вектор состояний $\bar{X}(t)$. Последний оценивается с помощью наблюдающих устройств кабины экипажа.

Для модели (5) уравнение обратной связи будет представлено следующим образом

$$\bar{U}(t) = -K\bar{X}(t), \quad (6)$$

где K – матрица отрегулированных параметров, на определение которых ответит решение задачи синтеза для постоянного управления АТС, выполним по методике, предложенной в [11].

Шаг 2:

Решение параметрической задачи синтеза для мультивариантного управления АТС, базируется на методе обычных параметров и матрицы, найденного выше K как начальное приближение решения задачи синтеза управления путем увеличения колонки матрицы K общих параметров β :

$$\bar{K} = \begin{matrix} \beta K_{11} & \dots & K_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta K_{m2} & \dots & K_{mn} \\ B & \dots & 0 \\ \bar{K} = K & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & I_{n-1} \end{matrix}$$

Вместо выражения (2) запишем

$$\bar{U}(t) = -\bar{K}\bar{X}(t). \quad (7)$$

Характеристику управления полиномиальной модели АТС представленной в виде (7) запишем в следующем виде

$$[\bar{d}(\lambda)] = \det[(A - BK) - \lambda]. \quad (8)$$

Параметр β должен быть равен желательной характеристики полиномиальной модели АТС представленной в виде (4).

Приравнивая идентичные коэффициенты степени λ в выражениях (8) и (4), получаем систему линейных алгебраических интервальных уравнений для определения параметра β .

Рассмотрим уравнения полученной модели, которая имеет вид

$$[P(\epsilon_i)] = \sum_{j=1}^n [q_{ij}](\beta_i [z_{ij}] + [v_{ij}]) = [d_i], \quad (9)$$

где $[q_{ij}]$, $[z_{ij}]$, $[v_{ij}]$ – интервальные размеры, зависящие от элементов матрицы A , B и K .

Формальное раскрытие устанавливает системную композицию в следующем виде выражения

$$[\bar{P}(\epsilon_i)] = \beta_i [q_i] + [f_i]. \quad (10)$$

Согласно субдистрибутивному закону интервальной математики для набора β имеем:

$$[P(\epsilon)] \bar{P}(\beta_i), \quad i = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Параметр $\beta_i = \bar{\beta}_i$ найдем из выражения

$$[\bar{P}(\bar{\beta}_i)] = \bar{\beta}_i ([q_i] + [f_i]) = [d_i]. \quad (12)$$

Найденное значение $\bar{\beta}_i$ заменим в $[P(\epsilon_i)]$

$$[P(\bar{\beta}_i)] \text{ M } [\bar{P}(\bar{\beta}_i)] = [d_i]. \quad (13)$$

Таким образом, получен в виде найденного $\bar{\beta}_i$ коэффициент желательного характеристического уравнения управления закрытой системы АТС.

Уравнение (13) согласно алгоритму синтеза преобразовываем к виду

$$\bar{\beta}_i [q_i] - [f_i] = [H_i], \quad i = \overline{1, n}. \quad (14)$$

Возможность такого преобразования определена с помощью действия размещения суммированием [11].

Решение полученной системы (15) дается следующей теоремой: параметр $\overline{\beta}_i, i = \overline{1, n}$ имеет решение невырожденной системы линейной алгоритмической вставки только в том случае, когда это представляет решение системы уравнений

$$\overline{\beta}_{im}(q_i) = m(H_i), i = \overline{1, n}. \quad (15)$$

Также удовлетворяет ограничениям

$$\overline{\beta}_i S(q_i) = S(H_i), i = \overline{1, n}, \quad (16)$$

где $m(q_i), m(H_i)$ – центры и $S(q_i), S(H_i)$ длины интервальных номеров $[q_i], [H_i]$

В уравнении (16) последовательность параметров $\overline{\beta}_i, i = \overline{1, n}$ найдена при условии минимального значения отрегулированного параметра β_{min} .

Положим, что АТС является асимптотически устойчивой. Изложим некоторые рассуждения касающиеся влияния каналов в терминах передаточных функций. Связь между входом и выходом АТС задана формулой

$$\begin{bmatrix} x_1(s) \\ x_2(s) \\ \vdots \\ x_n(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{12}(s) & \dots & W_{1n}(s) \\ W_{21}(s) & W_{22}(s) & \dots & W_{2n}(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1}(s) & W_{n2}(s) & \dots & W_{nn}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \\ \vdots \\ U_n(s) \end{bmatrix} \quad (17)$$

Рассмотрим 1-й выход АТС:

$$X_1(s) = W_{11}(s)U_1(s) + \dots + W_{1n}(s)U_n(s).$$

В АТС 1-й выход определяется 1-м входом (основным входом). Кроме того на 1-й выход оказывают воздействие все остальные входы.

Независимость выходных переменных от других входов, кроме соответствующих входных воздействий, т.е. $u_i(t) \rightarrow x_i(t), i = \overline{1, n}$ означает, что передаточные функции перекрестных каналов должны обращаться в нуль.

Таким образом, необходимым и достаточным условием автономности каналов является диагональность передаточной матрицы АТС, т.е. должна иметь место зависимость

$$\begin{bmatrix} x_1(s) \\ x_2(s) \\ \vdots \\ x_n(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & W_{22}(s) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & W_{nn}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \\ \vdots \\ U_n(s) \end{bmatrix} \quad (18)$$

В реальной системе АТС перекрестные связи отличны от нуля и, следовательно, качество работы каждого канала зависит как от свойств собственно канала, так и от характера перекрестных связей.

Задачей синтеза является определение матрицы интервалов К в уравнении обратной связи (2). В программной среде LabView была создана модель определения матрицы К. Зная значение трехмерного вектора состояний X(t) и трехмерного вектора управляющих воздействий U(t), находим трехмерный вектор К.

$$K = - \frac{\overline{u}(t)}{\overline{x}(t)}. \quad (19)$$

В программной среде задаются численные значения матриц U(t) и X(t), на выходе модели получаем численные значения матрицы интервалов К. Работа модели представлена на рис. 4, а результаты вычисления – на рис. 5.

Таким образом, разработан алгоритмический аппарат, ориентированный на конкретную задачу управления авиационной транспортной системой и обеспечения приемлемого уровня безопасности полетов гражданской авиации.

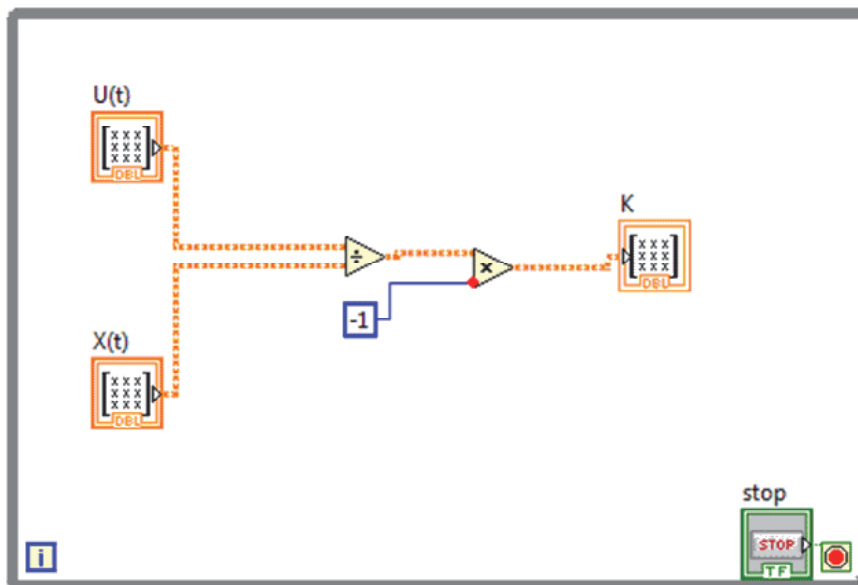


Рис. 4. Блок-диаграмма модели

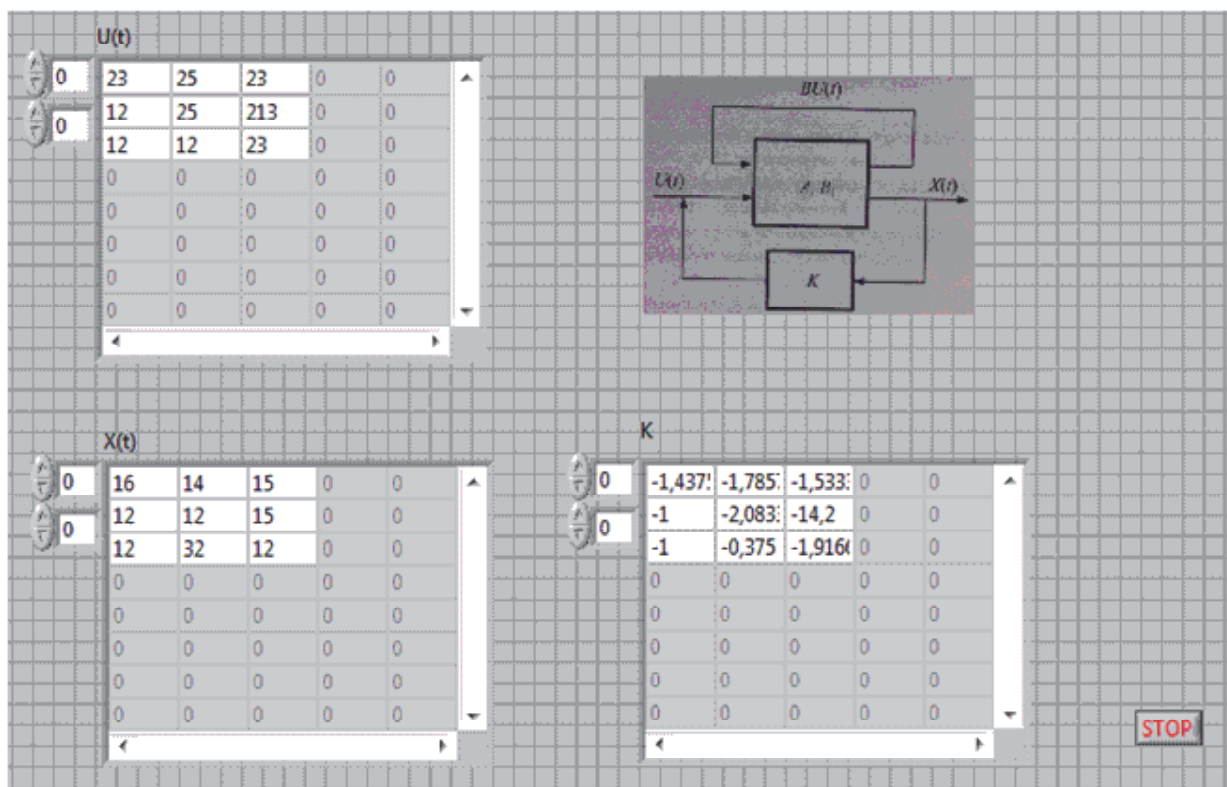


Рис. 5. Лицевая панель модели в программной среде LabView

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICAO Doc 9683 Руководство по обучению в области человеческого фактора / ICAO, 1998, добавлено 31 января 2011.
2. ICAO Doc 9824 Advisory Circular AC 145-2(0) Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance / ICAO, 2003, November 2011.
3. ICAO Doc 9859 AN/460 Руководство по обеспечению безопасности полетов (РУБП) / ICAO, 2009.
4. ICAO Doc 9859 AN/474 Safety Management Manual (SMM) / ICAO, 2012, p. 211.
5. Сакач Р.В., Зубков Б.В., Давиденко М.Ф. и др. Безопасность полётов [под ред. Р.В. Сакача]. М.: Транспорт, 1989. 239 с.
6. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов (Теория и анализ). М.: Транспорт, 1986. 224 с.
7. Лейченко С. Д., Малишевский А. В., Михайлик Н. Ф. Человеческий фактор в авиации. Монография. С-Пб-Кировоград: ООО "КОД", 2006. 480 с.
8. Писаренко В.Н. Обеспечение безопасности полетов при управлении воздушным движением. Самара: СГАУ, 2009. 86 с.
9. Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Е. Прикладной интервальный анализ. М.: Ин-т исследования компьютера, 2007. 468 с.
10. Ашимов А.А., Суздуков Д.Ж. Идентификация обычных параметрических методов. Справочник по теории автоматического управления. М.: Шанс, 1987. С 263-271.
11. Хлебалин Н.А. Модальное управление предприятиями с сомнительными интервальными параметрами / Симпозиум "Синтез управления системами", теория и практика. Новосибирск, 1991. С. 168-173.

THE ANALYSIS AND SYNTHESIS OF CONTROL OF AN AIR TRANSPORT SYSTEM OF A CIVIL AVIATION

© 2014 V.N. Pisarenko

Samara State Aerospace Universities named after academician S.P Korolyov
(National Research University)

In the article the analysis and synthesis of an air transport system is considered with the purpose of its research, detection of a central link and definition of priority directions of safety control of flights.

Key words: aircrafts, air safety, system approach, complex system, connection, model, matrix, human factor.

*Victor Pisarenko, Candidate of Technics, Associate Professor
at the Aircraft System Maintenance Department.
E-mail: eat@ssau.ru*