

УДК 629.4.073 (045)

Казак В.Н., д-р тех. наук  
Шевчук Д.О., канд.техн.наук  
Тачинина Е.Н., канд.техн.наук

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИНТЕЗА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ СИСТЕМОЙ «САМОЛЕТ-РЕГУЛЯТОР-СРЕДА-ОСОБАЯ СИТУАЦИЯ»

Национальный Авиационный Университет  
Аэрокосмический факультет,

*Предложен алгоритм синтеза нечеткого регулятора применяемого для восстановления управляемости системой «самолет – регулятор – среда – особая ситуация»*

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Мировой опыт эксплуатации воздушных судов (ВС) показывает, что главной задачей в развитии современного авиационного транспорта является задача обеспечения безопасности полетов и высокой их эффективности. Одним из возможных путей решения этой проблемы может стать восстановление управляемости системой «самолет-регулятор-среда-особая ситуация». Под системой «самолет-регулятор-среда-особая ситуация» (далее по тексту – Система), будем понимать совокупность аэродинамических свойств данного типа самолета, характерных воздействий внешних факторов, негативного влияния особой ситуации, а также соответствующих действий экипажа.

Разработка и построение точных законов управления Системой особенно в условиях повреждения внешнего обвода самолета, заклинивания управляющих поверхностей, различного рода отказов авиационных систем, пригодных для реализации и эксплуатации на современных бортовых ЭВМ представляет собой очень сложную задачу. Если и можно построить такие законы управления, используя традиционные методы и методы активного управления [1], то они могут получиться чрезвычайно громоздкими и неприемлемыми для практического использования, либо время реакции регулятора на изме-

нение полетной ситуации окажется недопустимо большим.

### **Постановка задачи**

Предлагается не строить точную математическую модель полета самолета в условиях особой ситуации (ОС), а построить модель управления самолетом, т.е. смоделировать действия пилота в процессе управления. Для реализации этого подхода будем использовать аппарат нечеткой логики.

### **Основной материал**

Задача синтеза нечеткого регулятора (НР), используемого для восстановления управляемости ВС в условиях возникновения ОС в полете, заключается в поиске такой структуры лингвистических правил «управление», отражающих предшествующий позитивный опыт действий экипажей в аналогической ОС, для которых «Оценка качества» давала бы наилучший показатель качества (в нашем случае быстроедействие), выраженный в виде лингвистических значений, при заданной модели «самолет-регулятор-среда-ОС» и «Цели управления», которые изменяются в процессе развития ОС и могут быть представлены в следующем виде на определенных этапах ОС: предотвращение развития ОС, стабилизация параметров ее развития, или минимизация последствий в зависимости от располагаемого времени. Общая структура синтеза НР представлена на рис. 1.

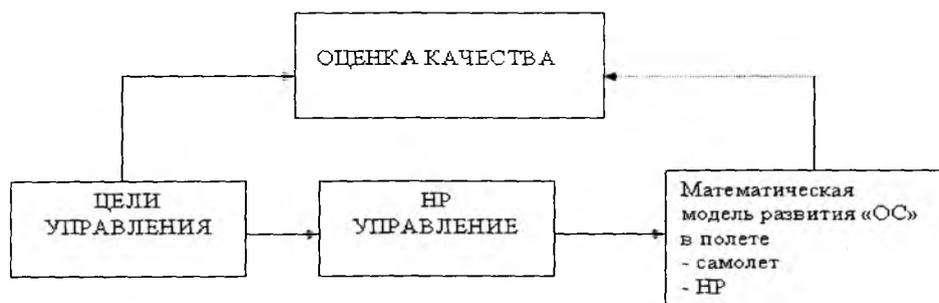


Рис. 1. Общая структура синтеза НР

Под «управлением», будем понимать не только возможность восстановления управляемости ВС нечетким регулятором в условиях особой ситуации, но и набор решающих правил необходимых для поддержки принятия решений экипажем. Поэтому в дальнейшем термин «управление», подразумевает, как собственно управление НР, так и выработка необходимых подсказок экипажу на определенных этапах развития ОС.

Основная задача НР заключается в переводе ОС из начального состояния в требуемое целевое состояние (или множество целевых состояний) наиболее эффективным способом, за минимальный отрезок времени («потребное время») затраченное на предотвращение развития ОС. Начальное состояние, характерно определенным этапом развития ОС, на котором происходит автоматическое включение в контур управления ВС нечеткого регулятора, а требуемое целевое состояние, это состояние парирования ОС, или стабилизации параметров ее дальнейшего развития, или минимизация последствий в зависимости от располагаемого времени. С математической точки зрения задача синтеза НР заключается в построении отображения  $R: X, G \rightarrow U$ , где текущий вектор лингвистического управления нечеткого регулятора  $U$  определяется лингвистическими значениями текущего состояния Системы  $X$  и цели управления  $G$  определяющей требуемое целевое состояние (парирования ОС, или стабилизации параметров ее дальнейшего развития, или минимизация последствий). Предположим, что Система, может находиться в любом из конечного множества чисел  $M$  лингвистических состояний описанных в первой час-

ти правил алгоритма функционирования НР «Если (текущее состояние),...».

Поставим в соответствие состояниям системы «самолет-регулятор-среда-ОС» вершины некоторого графа рис 2:

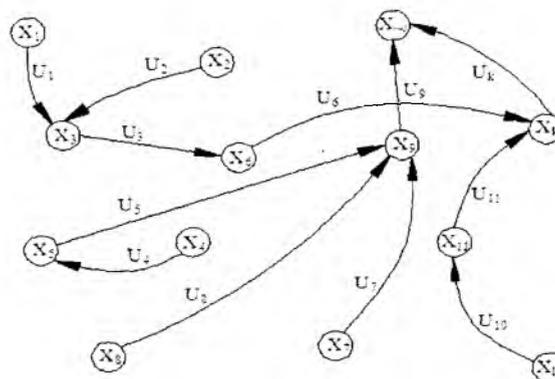


Рис. 2. Граф отношений состояний системы «самолет-регулятор-среда-ОС» и управляющих воздействий вырабатываемых НР.

С течением времени «динамическая модель ОС» изменяет свое состояние во времени. В тех случаях, когда Система находится в состоянии  $i$ , будем предполагать, что может быть выработано управляющее воздействие НР, в результате которого Система переходит в некоторое новое состояние  $j$ . В соответствии с этим, дуга, определяющая время перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$  (т.е. быстродействие), характеризуется скалярным либо векторным значением лингвистического управления  $u$  вырабатываемым НР.

Управление  $u$  принадлежит множеству лингвистических значений  $S_u$ . Требуется из класса лингвистических управлений, которые будем считать допустимыми, выбрать последовательность воздействий  $\{u_0, u_1, \dots, u_N\}$ ,  $u_j \in S_u$  так, чтобы при

переходе за  $N$  тактов управління из начальной точки [2]

$$x(0) = x_n = (x_{1,0}, x_{2,0}, x_{n,0}), \quad (1)$$

где  $x_n$  - вектор перехода Системы в требуемое состояние

$$x(N) = x_k = (x_{1,N}, x_{2,N}, x_{n,N}), \quad (2)$$

а функционал, зависящий от параметров характеризующих Систему  $X$ , управления  $U$ , исследуемых на располагаемом интервале времени развития ОС  $t \in [t_0, t_k]$  [2]

$$J(X, U, t) \rightarrow \text{extremum} \quad (3)$$

достигал экстремума.

Зависимость (4), отражает влияние текущего состояния Системы управления и располагаемого времени на последующее состояние Системы [2]:

$$R: X_K, U_K \rightarrow X_{K+1}. \quad (4)$$

Параметры, характеризующие движения самолета в условия ОС (скорость и высота, углы тангажа, курса, крена, атаки, скольжения и т.д.) и необходимое управляющее воздействие вырабатываемое НР и подаваемое на исполнительные механизмы самолета (РВ, РН, элероны), определим с помощью лингвистических множеств  $S_x$  и  $S_u$ . Для этого, зададим область допустимых состояний Системы и управлений.

Особенность данной модели заключатся в том, что вместо математических уравнений в пространстве состояний, описывающих динамику развития ОС в полете, задано продукционное отображение (4) алгоритма управления НР, в виде «если-то, иначе усугубленный вариант развития типовой особой ситуации», использующий предшествующий позитивный опыт действий экипажей в аналогичных особых ситуациях.

В качестве показателя качества, экстремум которого достигается при оптимальном управлении требуемого для данного состояния системы, будем принимать время перехода Системы из начального состояния в целевое. В этом случае

рассматривается задача о предельном быстродействии. Функционал качества  $J$  должен оценивать данный показатель на всех шагах управления в располагаемом интервале времени  $t \in [t_0, t_N]$ , представленном в виде [3]:

$$J = \sum_{i=0}^N f_0(x_i, u_i), \quad (5)$$

где в лингвистической продукционной модели символ суммирования означает влияние на интегральный показатель качества, состояния ОС и управления выработанное НР направленное на предотвращение дальнейшего усугубленного развития ОС на каждом такте управления. При этом для каждого такта управления определяется правило  $f_0(x_i, u_i)$ , характеризующее локальное качество управления на  $i$ -м шаге. Зададим отображение  $f_0(x_i, u_i)$  в виде:

$$f_0(x_i, u_i): S_x \times S_u \rightarrow S_j. \quad (6)$$

Для определения общего значения функционала качества, характеризующего быстродействие, зададим отображение для суммы  $S_j$  и получим необходимый минимум этого значения, для нахождения оптимального управления на данном этапе развития ОС:

$$\sum_{i=0}^N S_j \rightarrow \theta. \quad (7)$$

Если функционал качества принадлежит нечеткому множеству  $H$  (нулевое), значит значение качества, характеризующее быстродействие достигло минимума (экстремальное значение).

После оценки качества работы НР в условиях ОС на интервале  $t \in [t_0, t_N]$  необходимо модифицировать лингвистические правила, заложенные в алгоритм функционирования, таким образом, чтобы на следующем цикле управления получить лучшее значение показателя качества по сравнению с текущим. На рис. 3 показана блок-схема алгоритма синтеза НР, основанная на предложенной итерационной процедуре.

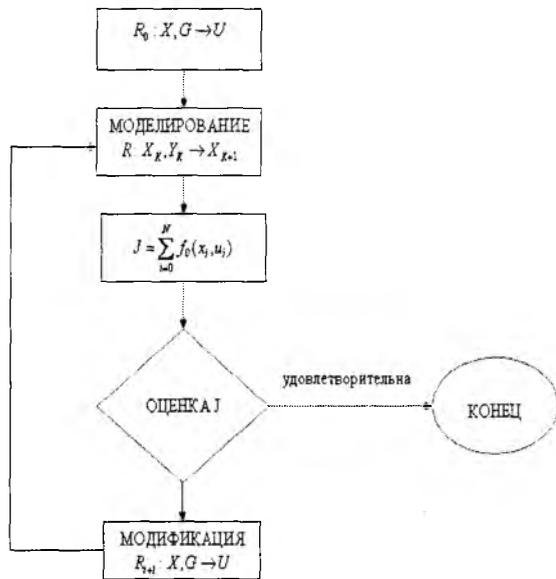


Рис.3 Алгоритм синтеза НР

Из анализа рис. 3 следует, что задача синтеза НР состоит из следующих этапов:

- формирование лингвистических правил в виде «если - то, иначе усугубленный вариант этапа развития особой ситуации», характеризующих «управление».

- оценка качества управления на «располагаемом» времени развития ОС в интервале  $t \in [t_0, t_N]$ .

- если оценка качества управления удовлетворительна, то завершение этапа модификации лингвистических правил управления (выход).

- если оценка качества управления не удовлетворительная, то модификация лингвистических правил заложенных в НР «управление».

- переход к п.2.

Таким образом, основной цикл синтеза НР состоит из двух процессов - оценивания качества текущей модели системы «самолет-регулятор-среда-ОС» и обучение (модификация) лингвистических правил, характеризующих «управление». Количество итераций зависит от методов модификации правил ЛПМ.

### Выводы

Определена задача синтеза НР, заключающаяся в поиске такой структуры лингвистических правил «управления», отражающих предшествующий позитивный опыт действий экипажей в аналогической

ОС, для которых «Оценка качества» давала бы наилучший показатель качества (в нашем случае быстродействие), при заданной модели системы «самолет-регулятор-среда-ОС» и «Цели управления», которая может изменяться в процессе развития особой ситуации.

### Список литературы

1. Гуськов Ю.П., Загайнов Г.И. Управление полетом самолетов: Учебник для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1980. – 213с.

2. Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А. Структурно-алгоритмічна організація суднової ЛМС для автоматизованого прийняття рішень в екстремальних ситуаціях // Праці Одеського політехнічного університету. – Одеса, 1999. – Вип. 2. – С. 174 – 178.

3. Проектирование систем управления на ЭВМ (MATLAB/Simulink/Control System) А.Ю. Соколов, Ю.Н. Соколов, В.М. Илюшко, М.М. Митрахович, Д.Н. Гайсенюк; Под ред. А.Ю. Соколова. – Харьков: ХАИ, 2005. – 590 с.