

УДК 681.321

Н.В. КУЗНЕЦОВА, Л.В. КАПИТАНОВА, А.Н. ДЖУРИНСКИЙ

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

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ САМОЛЕТОМ НА ПОСАДОЧНОЙ ДИСТАНЦИИ

*Рассмотрен подход к применению информационной технологии для решения задачи управления движением самолета на наиболее скоротечном участке его посадочной дистанции на этапе «парашютирования». Рассматриваемая задача относится к классу слабоформализованных многопараметрических задач. Предложенный подход к решению поставленной задачи базируется на идеях и принципах искусственного интеллекта и инженерии знаний, теории нечетких множеств и лингвистических переменных. Он позволит описать причинно-следственные связи на естественном языке между снижением перегрузок при посадке самолета и коэффициентом некомпенсированности, освобождая от трудоемких процедур сбора и обработки больших массивов экспериментальных данных. Применение предлагаемого подхода обеспечит существенное расширение возможностей параметров пилотирования на всех участках посадочной дистанции.*

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, взлетно-посадочные характеристики, коэффициент некомпенсированности, нейронная сеть, нечеткая база знаний.

### Введение

В последние годы развитие информационных технологий все чаще внедряется в управление такими сложными динамическими объектами как современные самолеты. Несмотря на это, возможности информационных технологий в управлении самолетами еще недостаточно изучены. Установлено, что в авиации с непрерывным увеличением крейсерских скоростей полета неизбежно ухудшаются взлетно-посадочные характеристики (ВПХ), которые играют существенную роль в конкурентной способности современных самолетов. ВПХ определяют не только аэродромы базирования, технику пилотирования, но и безопасность самолетов и пассажиров.

Типичная посадочная дистанция самолета состоит из таких участков как планирование, выравнивание, непосредственное приземление, нетормозного и тормозного пробегов. Наименее исследованным из них является участок непосредственного приземления, когда самолет с высоты «парашютирует» с вертикальной скоростью и колеса опор шасси впервые соприкасаются со взлетно-посадочной полосой (ВПП). Однако рост производительности вычислительной техники, в частности за счет использования нейро-нечетких моделей, позволит реализовать сложные алгоритмы управления на таком участке непосредственного приземления.

В настоящей работе предлагается один из возможных вариантов построения структуры инфор-

мационной технологии для системы поддержки принятия решений (СППР) при движении самолета на наиболее скоротечном участке его посадочной дистанции на этапе «парашютирования», описанном в [1].

### 1. Постановка задачи исследования

В настоящее время наиболее перспективным в улучшении ВПХ самолетов является применение СППР в управлении параметрами планера и шасси.

Теория нечеткой логики и нейронные сети являются двумя различными методологиями построения СППР, каждая из которых имеют свои достоинства.

Нечеткая логика была предложена изначально как мощное математическое средство формального описания действий человека-оператора, управляющего технологическим процессом. Ее достоинством является то, что при использовании нечетких множеств для описания объекта исследования с одной стороны можно учесть качественный и неточный характер знаний эксперта, а с другой – обойтись без математического описания управления сложным динамическим объектом. Этот подход отличается тем, что описание процесса управления представляется в явной форме – в виде совокупности продукционных правил, связывающих входные и выходные переменные параметры объекта.

Главной же особенностью нейронных сетей является их способность к обучению. Она реализуется с помощью специально разработанных алго-

ритмов, среди которых наиболее эффективным является правило «обратного распространения ошибки».

Объединение нечеткой логики с нейронными сетями для СППР дает принципиально новое качество. Полученная в результате такого объединения нейро-нечеткая сеть обладает двумя важнейшими человеческими свойствами: лингвистичностью, т.е. использование знаний на естественном языке и обучаемостью в реальном масштабе времени.

Рассматриваемый ниже подход к построению нейро-нечеткой СППР предполагает нечеткую классификацию типовых ситуаций, возникающих при управлении самолетом во время посадки. Стратегия управления в каждой из этих ситуаций реализуется нейросетью с простой топологией.

Поэтому разработка автоматизированных средств информационных технологий, обеспечивающих улучшение ВПХ, является актуальной задачей в современной авиации.

## 2. Решение поставленной задачи

Предлагаемая структура информационной технологии для автоматизированной СППР при движении самолета на посадочной дистанции базируется на следующих двух основных положениях.

1. При управлении самолетом на взлетно-посадочной полосе необходимо выделить конечный набор эталонных нечетких ситуаций. Фактически при этом происходит определение пространства состояний объекта управления. Такой подход характерен для нечетких систем. Таким образом, процесс управления самолетом рассматривается как переход из одного пространства решений в другой.

2. Заранее неизвестная в каждой ситуации стратегия управления реализуется за счет обучения нейросети с помощью предложенного выше алгоритма. Если для какой-то области пространства решений не удастся добиться нужного качества управления, то эта область разбивается на две новые области.

Таким образом, упростится структура нейросети за счет ее декомпозиции на отдельные достаточно простые подсистемы, решающие локальные задачи управления.

Учитывая изложенные обстоятельства, решение поставленной задачи сводится к идентификации многопараметрического объекта управления ВПХ нечеткими базами знаний в комплексе с нейронными сетями.

Формирование нечеткой базы знаний, в которой формализованы причинно-следственные связи между переменными «вход ( $x_i$ ) - выход ( $y_i$ )» осуществляется в виде продукционных правил «ЕСЛИ-

ТО» на естественном языке. Зависимость с  $n$  входами и одним выходом, который характеризуется 3-мя возможными значениями  $\{\bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2, \bar{\beta}_3\}$  имеет следующий вид:

$$y = f_{\bar{\beta}}(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Как установлено в [2], значение  $\bar{\beta}$  (коэффициент нескомпенсированности посадочной массы и подъемной силы крыла) оказывает решающее влияние на последующие перемещения при первых ударах самолета о взлетно-посадочную полосу (ВПП).

В соответствии с рис. 1 показано, что процесс посадки самолета включает в себя три этапа, для каждого из которых характерен свой диапазон изменений коэффициента  $\bar{\beta}$ :

$\bar{\beta}_1$  – на горизонтальном участке планирования и выравнивания самолета ( $L_{Пл}, L_{Вр}$ ),

$\bar{\beta}_2$  – на участке приземления и нетормозного пробега ( $L_{ПЗ}, L_{НТ.П}$ ),

$\bar{\beta}_3$  – на участке тормозного пробега ( $L_{ТП}$ ).

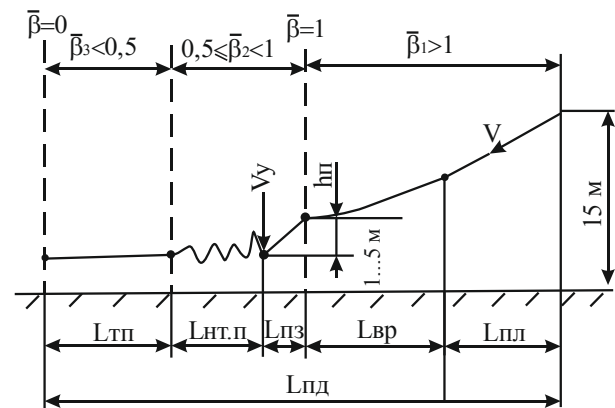


Рис. 1. Значения нескомпенсированности массы самолета и подъемной силы крыла (коэффициент  $\bar{\beta}$ ) на различных участках посадочной дистанции, где  $L_{Пл}$  - горизонтальная длина участка планирования;  $L_{Вр}$  - горизонтальная длина участка выравнивания;  $L_{ВД}$  - длина участка выдерживания;  $L_{ПЗ}$  - длина участка приземления;  $L_{НТ.П}$  - длина нетормозного пробега;  $L_{ТП}$  - длина тормозного пробега;  $h_{П}$  - высота, с которой «парашютирует» самолет;  $V_y$  - вертикальная скорость;  $V$  - посадочная скорость.

Учитывая, что параметры, описывающие динамику посадки самолета, определяют коэффициент нескомпенсированности, значения которого влияют

на переходные процессы при приземлении, сформируем нечеткую базу знаний, которая является обобщением методов в работе [3]. Она будет соответствовать следующей системе логических высказываний:

ЕСЛИ  $(x_1=a^{11}_1)$  И  $(x_2=a^{11}_2)$ И... И  $(x_n=a^{11}_n)$  ИЛИ  $(x_1=a^{12}_1)$  И  $(x_2=a^{12}_2)$ И... И  $(x_n=a^{12}_n)$  ИЛИ...  $(x_1=a^{1k}_1)$  И  $(x_2=a^{1k}_2)$ И... И  $(x_n=a^{1k}_n)$ ,

ТО  $y = \bar{\beta}_1$ , ИНАЧЕ...

ЕСЛИ  $(x_1=a^{21}_1)$  И  $(x_2=a^{21}_2)$ И... И  $(x_n=a^{21}_n)$  ИЛИ  $(x_1=a^{22}_1)$  И  $(x_2=a^{22}_2)$ И... И  $(x_n=a^{22}_n)$  ИЛИ...  $(x_1=a^{2k}_1)$  И  $(x_2=a^{2k}_2)$ И... И  $(x_n=a^{2k}_n)$ ,

ТО  $y = \bar{\beta}_2$ , ИНАЧЕ... (1)

ЕСЛИ  $(x_1=a^{31}_1)$  И  $(x_2=a^{31}_2)$ И... И  $(x_n=a^{31}_n)$  ИЛИ  $(x_1=a^{32}_1)$  И  $(x_2=a^{32}_2)$ И... И  $(x_n=a^{32}_n)$  ИЛИ...  $(x_1=a^{3k}_1)$  И  $(x_2=a^{3k}_2)$ И... И  $(x_n=a^{3k}_n)$ ,

ТО  $y = \bar{\beta}_3$ , ИНАЧЕ...

где  $x_i = \{ \theta_{\text{пос}}, \theta_{3.п}, V_X, V_Y, C_{y\text{max}}, \alpha, P_D, n_y, K, \delta_B, \rho, \delta_{\text{инт.к}}, \delta_{\text{инт.з}}, h_{\text{пз}}, \dots \}$  – входные переменные параметры, при  $i = \overline{1, n}$  :

$\theta_{\text{пос}}, \theta_{3.п}$  – посадочный угол и угол захода на посадку;

$V_X, V_Y$  – горизонтальная и вертикальная составляющие посадочных скоростей;

$C_{y\text{max}}$  – коэффициент подъемной силы крыла на соответствующих участках посадочной дистанции;

$\alpha$  – угол атаки крыла на соответствующих участках;

$P_D$  – реверс тяги двигателей;

$n_y$  – перегрузка по оси y;

$K$  – аэродинамическое качество самолета;

$\delta_B$  – угол отклонения руля высоты;

$\rho$  – плотность воздуха на уровне аэродрома приземления;

$\delta_{\text{инт.к}}, \delta_{\text{инт.з}}$  – углы отклонения крыльевого (К) и в закрыльевых (З) интерцепторов;

$h_{\text{пз}}$  – высота парашютирования самолета при приземлении;

$\bar{\beta}$  – коэффициент некомпенсированности;

$a^{jp}_n$  – лингвистическая оценка входной переменной  $x_i$  в r-й строке j-й дизъюнкции, которая выбирается из соответствующего терм-множества  $A_i$ ;

$k_j$  – количество правил которые определяют значение выходной переменной  $y = \bar{\beta}_j$ ;

$\bar{\beta}_j$  – лингвистическая оценка выходной переменной y, которая определяется из терм-множества B.

Для формализации полученного решения введем функции принадлежности, описанные в [4]:

$$\mu^{\bar{\beta}}_1(x_i) = [\mu^{11}_1(x_1) \wedge \mu^{11}_2(x_2) \wedge \mu^{11}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{11}_n(x_n)] \vee [\mu^{12}_1(x_1) \wedge \mu^{12}_2(x_2) \wedge \mu^{12}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{12}_n(x_n)] \vee [\mu^{13}_1(x_1) \wedge \mu^{13}_2(x_2) \wedge \mu^{13}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{13}_n(x_n)] \vee [\mu^{14}_1(x_1) \wedge \mu^{14}_2(x_2) \wedge \mu^{14}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{14}_n(x_n)] \vee [\mu^{1k}_1(x_1) \wedge \mu^{1k}_2(x_2) \wedge \mu^{1k}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{1k}_n(x_n)],$$

...

$$\mu^{\bar{\beta}}_3(x_i) = [\mu^{31}_1(x_1) \wedge \mu^{31}_2(x_2) \wedge \mu^{31}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{31}_n(x_n)] \vee [\mu^{32}_1(x_1) \wedge \mu^{32}_2(x_2) \wedge \mu^{32}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{32}_n(x_n)] \vee [\mu^{33}_1(x_1) \wedge \mu^{33}_2(x_2) \wedge \mu^{33}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{33}_n(x_n)] \vee [\mu^{34}_1(x_1) \wedge \mu^{34}_2(x_2) \wedge \mu^{34}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{34}_n(x_n)] \vee [\mu^{3k}_1(x_1) \wedge \mu^{3k}_2(x_2) \wedge \mu^{3k}_3(x_3) \wedge \dots \wedge \mu^{3k}_n(x_n)],$$

где  $\mu^{\bar{\beta}}_n(x_n)$  – функция принадлежности параметра  $x_i \in [x_i \div x_n]$  к нечеткому терму  $a^{jp}_n, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_i}$ ;

$\mu^{\beta_j}(x_1 \div x_n)$  – функция принадлежности вектора входных переменных значению выходной переменной  $y = \bar{\beta}_j, j = \overline{1, m}$ .

Несмотря на то, что каждая входная переменная  $x_1 \div x_n$  имеет свою собственную функцию принадлежности нечетким термам, для упрощения моделирования используем для всех переменных только одну форму функции принадлежности, показанную на рис. 2.

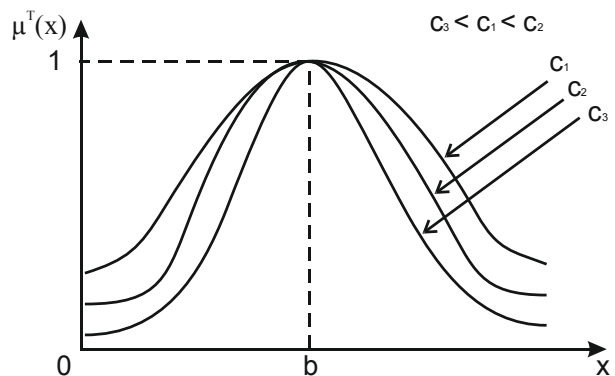


Рис. 2. Вид формы функций принадлежности, где для нечеткого терма T число b представляет наиболее возможное значение переменной x;  $c_1, c_2, c_3$  – коэффициенты концентрации-растяжения формы функции принадлежности в определенных выше диапазонах изменений коэффициента некомпенсированности соответственно  $\{\bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2, \bar{\beta}_3\}$ .

Одновременно установим интервалы изменения каждой переменной к одному универсальному интервалу [0,1] в соответствии с единой шкалой качественных термов. Учитывая, что аналитическая мо-

дель заданной формы функции принадлежности имеет следующий вид:

$$\mu^T(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}, \quad (2)$$

где  $b$  – координата максимума функции,  $c$  – коэффициент концентрации-растяжения функции.

Основными преимуществами функции принадлежности такого вида являются простота и удобство настройки, что немаловажно при использовании алгоритмов настройки.

При введении каждому правилу матрицы базы знаний (1) весов правил из интервала  $[0,1]$  (меры уверенности) получим полносвязную нейронную сеть – аппроксиматор, обобщенную на основании работы [5], соответствующую нашему динамическому объекту при движении самолета на наиболее скоротечном участке его посадочной дистанции. Полученная структура нейронной нечеткой сети СППР для задачи снижения, торможения и приземления показана на рис. 3.

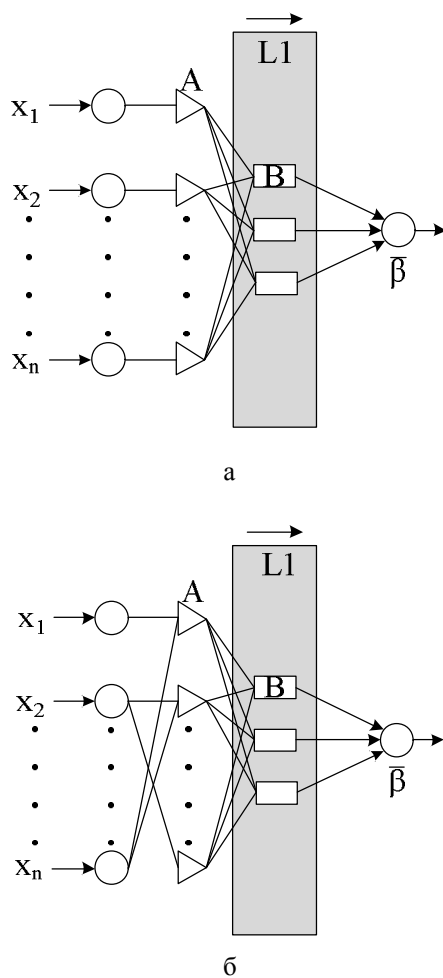


Рис. 3. Структура нейро-нечёткой сети:  
а – для задачи снижения,  
б – для задачи торможения и приземления

Процесс посадки включает три основных этапа, показанные на рис. 1, в соответствии с которыми синтезируются две нейронных сети, отвечающие за решение задачи снижения, торможения и приземления. Предложенная структура состоит из двух однослойных (L1) нейро-нечётких сетей. Каждая такая сеть сравнительно легко обучается по отдельности. В нужный момент времени активизируется только одна из нейро-нечётких сетей.

## Выводы

На основе предложенной структуры информационной технологии для СППР реализуется управление выбором рациональной величины – коэффициента нескомпенсированности посадочной массы и подъемной силы крыла, оказывающего решающее влияние на последующие перемещения при первых ударах самолета о взлетно-посадочную полосу.

Пилоту же, как лицу, принимающему решение за своевременное включение тормозной системы, СППР позволит сократить или полностью исключить нетормозной пробег на ВПП.

Достоинством предложенного подхода является нейро-нечёткая сеть простой топологии. Ее работа является более надежной, так как поведение простой нейросети легче анализировать.

## Литература

1. Капитанова, Л.В. Анализ участков посадочной дистанции с учетом модификационных изменений в стойках шасси самолета [Текст] / Л.В. Капитанова // Вісник двигунобудування. – 2011. – № 2. – С. 162–167.
2. Капитанова, Л.В. Моделирование изменения взлетно-посадочных характеристик самолета при проектировании его модификаций [Текст] / Л.В. Капитанова, А.Н. Науменко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – Вып. 6 (63). – С. 19–23.
3. Заде, Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений [Текст] // Математика сегодня: пер. с англ. / Л. Заде. – М., 1974. – С. 5–49.
4. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] моногр. / А.П. Ротштейн. – Винница: «УНИВЕРСУМ – Винница», 1999. – 320 с.
5. Кузнецова, Н.В. Моделирование профессиональной психофизиологической пригодности лиц, занятых на работах с высоким уровнем техногенной опасности и повышенным риском [Текст] / Н.В. Кузнецова, Н.В. Нечипорук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць Ін-ту телекомунікацій і глобал. пробл. – Вып. 1. – К., 2008. – С. 140–150.

Поступила в редакцию 15.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЗАСОБАМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО КЕРУВАННЯ ЛІТАКОМ НА ПОСАДОЧНІЙ ДИСТАНЦІЇ

*Н.В. Кузнецова, Л.В.Капітанова, О.М. Джурінський*

Розглянутий підхід до застосування інформаційної технології для вирішення завдання управління рухом літака на найбільш швидкоплинній ділянці його посадочної дистанції на етапі «парашутування». Дане завдання відноситься до класу слабоформалізованих багатопараметричних завдань. Запропонований підхід до рішення поставленої задачі базується на ідеях і принципах штучного інтелекту і інженерії знань, теорії нечітких множин і лінгвістичних змінних. Він дозволить описати причинно-наслідкові зв'язки на природній мові між зниженням перевантажень при посадці літака і коефіцієнтом некомпенсованості, звільняючи від трудомістких процедур збору і обробки великих масивів експериментальних даних. Застосування пропонованого підходу забезпечить істотне розширення можливостей параметрів пілотування на всіх ділянках посадочної дистанції.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, злітно-посадочні характеристики, коефіцієнт некомпенсованості, нейрона мережа, нечітка база знань.

## DECISION FUNDS INFORMATION TECHNOLOGY TO CONTROL AEROPLANE ON LANDING DISTANCE

*N.V. Kuznetsova, L.V.Kapitanova, A.N.Djurinskiy*

Going near application of information technology is considered for the decision of task of traffic of airplane control on the most transitory area of his landing distance on the stage of «parachuting». The examined task behaves to the class of weakly formalize of much parametric tasks. Offered approach near the decision of the put task is based on ideas and principles of artificial intelligence and engineering of knowledge's, theory of fuzzy sets and linguistic variables. He will allow to describe causal connections in human language between the decline of overloads at landing of airplane and coefficient of non-compensated, releasing from labour intensive procedures of collection and treatment of large arrays of experimental data. Application offered approach will be provided by substantial enhancement parameters of aviating on all of areas of landing distance.

**Key words:** decision support system, takeoff and landing characteristics, coefficient of non-compensated, neural networks, fuzzy knowledge base.

**Кузнецова Наталья Владимировна** – канд. техн. наук, доцент каф. химии, экологии и экспертных технологий, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Капитанова Людмила Валерьевна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры проектирования самолетов и вертолетов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Джуринский Александр Николаевич** – студент кафедры проектирования самолетов и вертолетов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.