

УДК 519.6:621.458.3 (045)

Єнчев С. В., Таку С. О.  
Національний авіаційний університет, Київ

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АВІАЦІЙНИМ ГТД З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

*В даній статті розглянуто задачу синтезу інтелектуальної САК ГТД, описано структуру та математичну модель нейронних мереж, а також була поставлена задача ідентифікації ГТД, як об'єкта управління.*

**Вступ.** Стійкою тенденцією у розвитку систем автоматичного керування (САК) ГТД є постійне зростання складності і числа задач які вирішуються за їх допомогою. Поряд з традиційними завданнями, САК ГТД нового покоління повинні вирішувати завдання, в яких потрібно приймати оперативні рішення на основі накопичених знань в умовах невизначеності і адаптуватися (тобто змінювати свою структуру і параметри) в випадку появи непередбачуваних нештатних ситуацій. Сучасні тенденції розвитку бортових систем управління пов'язані з їх подальшою інтелектуалізацією, заснованої на застосуванні технологій обробки знань для автоматизації функцій управління ГТД та літальним апаратом і підтримки дій екіпажу як в нормальних, так і в нештатних ситуаціях. Вимоги, що пред'являються до перспективних САК ГТД, роблять необхідним пошук альтернативних рішень побудови бортових обчислювальних систем на основі сучасних методів штучного інтелекту. Одним з перспективних напрямків в області автоматичного управління ГТД є побудова інтелектуальних систем управління на основі штучних нейронних мереж (НМ) [1, 2].

**Постановка проблеми.** В процесі проектування САК ГТД до них висувуються жорсткі та нерідко суперечливі вимоги. Область цих вимог звичайно обмежується заданими безліччю внутрішніх і зовнішніх параметрів системи управління. Застосування методів штучного інтелекту, і зокрема НМ, дозволяють розширити і посилити ці вимоги шляхом зняття обмежень на область зміни цих параметрів. До числа додаткових вимог, які висувуються до САК ГТД при цьому відносяться:

1. Адаптація характеристик САК ГТД до мінливих режимів роботи і умов польоту, індивідуальним особливостям конкретного двигуна;

2. Прогнозування поведінки системи з метою оперативного корегування алгоритмів керування в мінливому середовищі;

3. Забезпечення стійкості робочих процесів і працездатності САК ГТД як на розрахункових, так і на позаштатних режимах, пов'язаних з відмовами виконавчих механізмів, датчиків, пристроїв введення-виведення інформації, сильних зовнішніх обуреннях на вході ГТД і т. п.

**Особливості проектування інтелектуальних САК.** В даний час найбільший прогрес у проектуванні інтелектуальних систем керування (ІСК) досягнутий для систем управління, що мають властивість «інтелектуальності в малому». Це означає, перш за все, що керуюча система використовує в процесі свого функціонування (для досягнення поставлених цілей) знання як засіб подолання невизначеності вхідної інформації, поведінки керованого об'єкта, стану елементів системи. На рис. 1 зображена узагальнена структурна схема інтелектуальної «в малому» САК ГТД, що включає в себе, крім виконавчого контуру I – основного контуру управління (Д - датчики, ВМ - виконавчі механізми), також рівень адаптації II, в якому база знань є ключовим елементом, яка бере участь у формуванні мети управління, а також алгоритмів контролю та навчання САК. До складу системи при необхідності можуть включатися засоби самонавчання, що забезпечують навички, які накопичуються в процесі роботи системи досвіду і на цій основі, поповнення знань [3].

В якості моделей і методів зберігання і обробки знань можуть бути використані НМ і правила нечіткої логіки. Наприклад, для оцінки характеру ситуації, що складається в режимі управління (в режимі on-line) та прийняття рішення про реконфігурації керуючої частини (регулятора) САК в разі виникнення відмов, появи нерозрахованих режимів і т. п., можна

використовувати нечіткі алгоритми. НМ-модель ГТД можна використовувати для оцінки поточних параметрів ГТД та адаптації параметрів НМ-регулятора і т. д. Зауважимо, що розглянута ІСК ГТД є суттєво нелінійною, тому

питання синтезу алгоритмів управління та контролю, а також дослідження стійкості даної системи в широкому діапазоні зміни режимів роботи ГТД залишаються відкритими і вимагають дослідження.

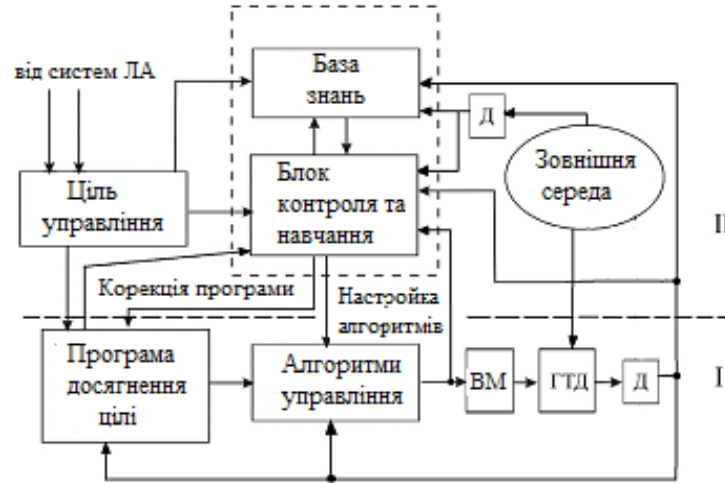


Рис. 1. Узагальнена структурна схема ІСК ГТД

**Нейронні мережі. Їх структура та математична модель.** Під нейронними мережами маються на увазі обчислювальні структури, що моделюють прості біологічні процеси, зазвичай асоційовані з процесами людського мозку. Вони являють собою розподілені і паралельні системи, здатні до адаптивного навчання шляхом аналізу позитивних і негативних впливів. Елементарним перетворювачем у даних мережах є штучний нейрон чи просто нейрон, названий так за аналогією з біологічним прототипом [4].

Нейрон є складовою частиною нейронної мережі. На рисунку 2 представлена його

структура. Він складається з елементів трьох типів: помножувачів (синапсів), суматора і нелінійного перетворювача. Синапси здійснюють зв'язок між нейронами, множать вхідний сигнал на число, що характеризує силу зв'язку, (вагу синапса). Суматор виконує додавання сигналів, що надходять по синаптичним зв'язках від інших нейронів і зовнішніх вхідних сигналів. Нелінійний перетворювач реалізує нелінійну функцію одного аргументу – виходу суматора. Ця функція називається функцією активації чи передатною функцією нейрона.

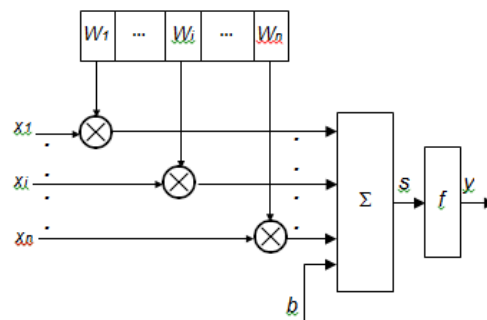


Рис. 2. Структура штучного нейрона

Математична модель штучного нейрона є наступною:  $S = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b, y = f(s)$

де  $w_i$  – вага (weight) синапса,  $i=1...n$ ;  $b$  – значення зсуву (bias);  $s$  – результат сумування

(sum);  $x_i$  – компонент вхідного вектора (вхідний сигнал),  $i=1...n$ ;  $y$  – вихідний сигнал нейрона;  $n$  – число входів нейрона;  $f$  – нелінійне перетворення (функція активації).

В загальному випадку вхідний сигнал, вагові коефіцієнти і зсув можуть приймати дійсні значення, а в багатьох практичних задачах - лише деякі фіксовані значення. Вихід  $u$  визначається видом функції активації і може бути як дійсним, так і цілим.

Описаний обчислювальний елемент можна вважати спрощеною математичною моделлю біологічних нейронів, щоб підкреслити відмінність нейронів біологічних і штучних, другі іноді називають нейроноподібними елементами чи формальними нейронами.

**Задача ідентифікації ГТД.** Метою ідентифікації є спроба відтворення реальних характеристик ГТД як об'єкта управління шляхом побудови його моделі і вироблення на її основі правильної стратегії управління об'єктом. В даний час все ширше використовується підхід до ідентифікації математичних моделей ГТД з використанням НМ [5, 6]. Загальна ідея даного підходу заснована на уявленні моделі ГТД у вигляді «чорного ящика» за допомогою НМ із заданою структурою і великим числом настроюваних коефіцієнтів. Як показує аналіз, з числа існуючих на сьогодні архітектур НМ найбільш підходящими для вирішення даної задачі є рекурентні (динамічні) мережі із затримками вхідного сигналу. Ці НМ зберігають

протягом декількох послідовних тактів попередні вхідні образи, що дозволяє їм з певною точністю апроксимувати часові залежності вихідних та вхідних даних.

Відомо часовий ряд  $\{u(t), u(t-1), \dots, u(t-L); y(t), y(t-1), \dots, y(t-L)\}$ , який представляє собою значення множини вхідних змінних  $U(i)$  і множини вихідних змінних  $Y(i)$ , що відповідають реальному процесу функціонування ГТД на конкретному режимі його роботи;  $L$  – довжина часового вікна. Необхідно побудувати нейромережеву модель, яка із заданою точністю відтворює залежність «вхід-вихід» на зазначеному відрізку часового ряду. Схема рішення задачі ідентифікації приймає наступний вигляд (рис. 3). Порівнюються вектор виходів об'єкта  $y$  і вектор виходів НМ  $y_{\text{НМ}}$  при одному і тому ж векторі вхідних впливів  $u$ . Процедура навчання НМ полягає в зміні ваги її зв'язків таким чином, щоб зменшити суму квадратів нев'язок до прийнятної (досить малої) величини:

$$E = \sum_{ij}^{\varepsilon_i^2 < E_{\text{доп.}}}$$

де  $E_i = y_i - y_{\text{НМ}}$  нев'язка на  $i$ -му кроці;

$E_{\text{доп.}}$  – допустима величина помилки навчання.

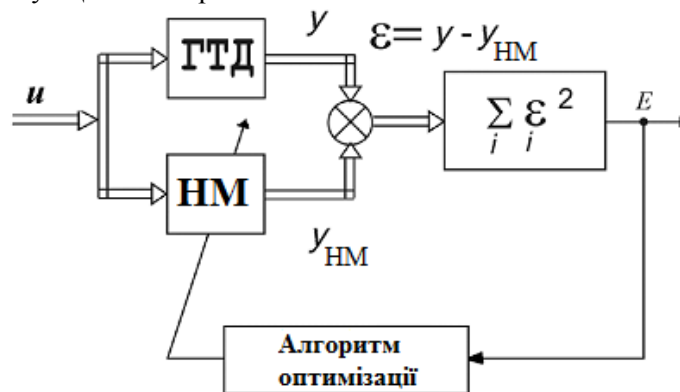


Рис. 3. Схема рішення задачі ідентифікації

Методика НМ-ідентифікації включає в себе наступні етапи:

- 1) попередня обробка даних;
- 2) нормування даних;
- 3) вибір архітектури (структури) мережі;
- 4) вибір алгоритму навчання;
- 5) тестування мережі;
- 6) оцінка якості ідентифікації.

Можливі різні способи застосування НМ в ІСК ГТД. На рис. 4 представлені найбільш розповсюджені варіанти ввімкнення НМ в САК ГТД. Кожна із цих схем має свої переваги. На рис. 4, а представлена схема замкнутої САК ГТД, в якій супервізорна НМ використовується для налаштування параметрів лінійного ПД-регулятора в залежності від режиму роботи ГТД і зовнішніх умов.

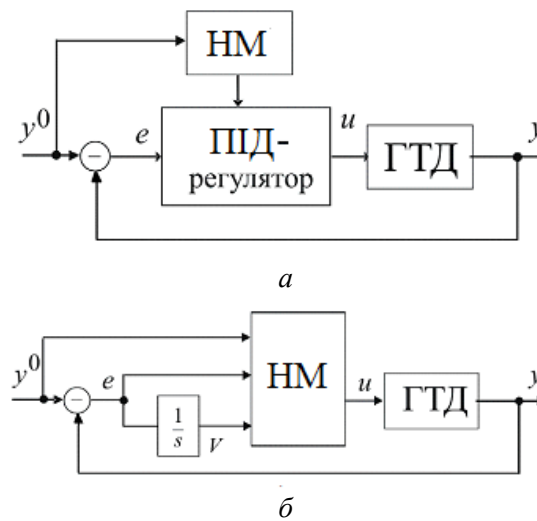


Рис. 4. Схеми включення НМ-регулятора в САК ГТД.

У порівнянні з класичним(табличним) способом апроксимації коефіцієнтів, НМ-апроксиматор забезпечує більш гнучкі можливості адаптації (навчання) до зміни зовнішніх умов і параметрів ГТД. На рис. 4, б представлена схема безпосереднього включення НМ-регулятора в канал керування ГТД. В даному випадку НМ виконує функції нелінійного багаторежимного регулятора, забезпечуючи формування необхідних управляючих впливів на виконавчі механізми ГТД на основі процедури навчання.

**Висновки.** Створення систем, які орієнтуються для роботи в умовах неповноти або нечіткості вихідної інформації, невизначеності зовнішніх впливів і середовища функціонування, вимагає залучення нетрадиційних підходів до управління з використанням методів і технологій штучного інтелекту. Інтерес до інтелектуальних систем управління пояснюється низкою причин. Перша з них полягає в тому, що традиційні технології вже не можуть забезпечити підвищення якості управління, оскільки не враховують всіх невизначеностей, що впливають на систему. Удосконалення відомих алгоритмів адаптивного управління не завжди дає бажаний результат. Це пояснюється як складністю самих алгоритмів, так і труднощами їхньої реалізації на сучасній елементній базі з урахуванням умов забезпечення функціональної стійкості систем управління. Другою причиною, що сприяє інтенсифікації дослідження в області інтелектуальних технологій управління, є наявність фундаментальної теоретичної бази, застосування якої в сполученні з розумінням теорії управління, можна й потрібно очікувати

позитивних результатів в обґрунтованій інтелектуалізації систем управління на основі застосування сучасних методів і технологій обробки знань. Таким чином, проблема розробки моделей, алгоритмів і програмно-апаратної реалізації інтелектуальних систем управління ГТД з використанням сучасних нейромережових технологій є актуальною.

#### Список літератури

1. Сигеру, О. Нейроуправление и его приложения / О.Сигеру. - М.:ИПРЖР, 2000. - 272 с.
2. Нейрокомпьютеры в авиации (самолеты) /под ред. В.И. Васильева, Б. Г. Ильясова, С.Т. Кусимова. Кн. 14. М. : Радиотехника, 2003. - 496 с.
3. Макаров, И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И. М. Макаров, В. М. Лохин , С. В. Манько, М. П. Романов.М. : Наука, 2006. - 333 с.
4. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 382 с.
5. Кусимов С. Т. Проблемы проектирования и развития систем автоматического управления и контроля ГТД / С. Т. Кусимов, Б. Г. Ильясов, В. И. Васильев. М.: Машиностроение, 1999. – 120 с.
6. Васильев, В.И. Применение нейросетевых моделей реального времени в системах управления ГТД / В. И. Васильев, С. С. Валеев, А. А. Шилоносов, И. А. Каримов // Научная сессия МИФИ-2000. 2-я Всерос. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2000» : сб. науч. тр. Ч. 1. - М. :МИФИ, 2000. С. 236–242.