

Жданов С. В.

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України. Україна, Київ

## СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: АНАЛІЗ СТАНУ І ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ

### Анотація

*В статті приводиться аналіз систем керування БпЛА, які базуються на нових напрямках розвитку теорії автоматичного керування і інформаційних технологій. На підставі проведеного аналізу формулюються загальні тенденції, що можуть бути покладені в основу розробки нових типів систем керування.*

### Abstract

*The article provides an analysis of UAV control systems, which are based on new directions for the development of automatic control theory and information technology. On the basis of analysis identifies the overall trends that could be the basis for developing new types of control systems.*

### Вступ

На сьогодні більшість розвинутих країн світу наполегливо працюють в напрямку оснащення власних збройних сил, інших військових формувань а також цивільного сектору економіки безпілотними літальними апаратами (БпЛА) різного функціонального призначення. Існуюча на сьогодні потреба Міністерства оборони, Міністерства внутрішніх справ, Міністерства з надзвичайних ситуацій, Державної прикордонної служби у БпЛА різного класу свідчить про актуальність даного напрямку і для України. Вважається, що в Україні цей напрямок буде розвиватися як шляхом досягнення сучасного закордонного рівня тактико-технічних характеристик БпЛА, так і шляхом вирішення актуальних науково-технічних проблем в контексті загальносвітових тенденцій розвитку БпЛА за рахунок проведення наукових досліджень.

Досвід практичного використання БпЛА у світі свідчить, що експлуатація БпЛА пов'язана з високою аварійністю, при цьому розподіл причин які призвели до втрат БпЛА складають: відмова двигуна — 37 %, помилки системи керування — 25 %, помилки операторів — 17 %, проблеми зв'язку — 11 %, інші причини — 10 % [1].

Аналіз цих даних показав, що такі причини як: втрата зв'язку носія з наземною станцією керування,

помилки операторів, свідчать про потенційну недосконалість системи дистанційного керування БпЛА за участю оператора. Функціонування таких систем пов'язано з великими ризиками, що, набувають системного характеру.

Крім того, ці системи мають ряд принципів обмежень, а саме: обмежений зоною стійкого радіообміну радіус дії БпЛА, високі вимоги щодо надійності та завадозахищеності каналів зв'язку, потенційна вразливість каналів зв'язку від застосування засобів радіоелектронної протидії супротивника.

Слід також зазначити, що ускладнення кола задач, які стали покладатися на БпЛА військового призначення, а саме: детальна розвідка, розвідка в замкненому просторі в умовах міста, виконання ударних завдань, виконання завдань щодо ведення повітряного бою, радіоелектронне придушення, групове застосування БпЛА при веденні бойових дій, ставлять дуже високі вимоги до тактико-технічних характеристик БпЛА, які вже на сьогодні не можуть бути забезпечені шляхом застосування традиційних методів та підходів синтезу систем дистанційного керування БпЛА.

При цьому до основних факторів, що обмежують застосування традиційних методів синтезу безпосередньо систем керування БпЛА слід віднести: складність формалізованого опису об'єкта і задач керування, нестаціонарність параметрів об'єкта і системи керування, невизначеність середовища та умов функціонування, швидкоплинність змін зовнішньої обстановки, наявність випадкових впливів зовнішнього середовища, неповнота або нечіткість вхідної інформації, нечіткість цілей функціонування і задач керування [2].

Актуальність проведення на сьогодні досліджень щодо розробки принципово нових методів синтезу систем керування БпЛА, може підкреслити такий факт, що починаючи з 15 Міжнародного конгресу IFAC (Міжнародної федерації з автоматичного керування) який відбувся у 2002 році, створена та постійно діє у його складі окрема секція з проблем керування БпЛА [3].

Метою статті є аналіз стану систем керування БпЛА, формулювання на його основі тенденцій їх подальшого розвитку які можуть бути покладені в основу нових систем керування.

## Аналіз стану систем керування БпЛА військового призначення

Незважаючи на всю різноманітність БпЛА, до недавнього часу, їх системи керування за способом формування керуючих сигналів можна було поділити на чотири основні групи [4] рис. 1.

Найбільше розповсюдження серед БпЛА першого покоління отримали системи телекерування. В цих системах контроль координат руху БпЛА і формування керуючих сигналів здійснюється на пункті керування і команди по каналам зв'язку передаються в бортову систему керування БпЛА. Комбіновані системи, які реалізують можливості декількох систем, зокрема автономних та телекерування на сьогодні є найбільш поширеними.

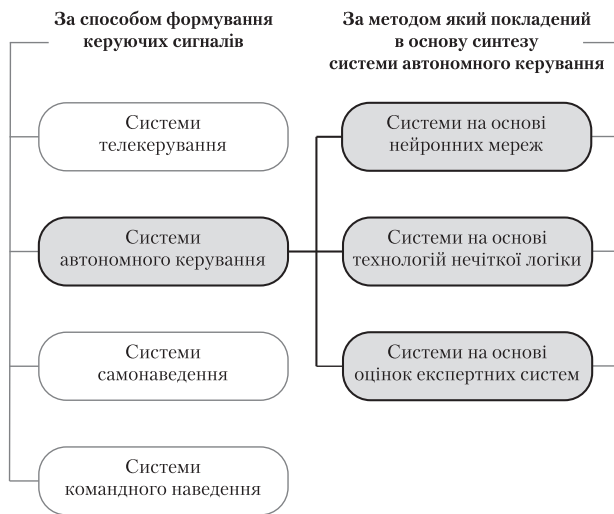


Рис. 1. Класифікація систем керування БпЛА

Автономні системи в свою чергу, за методом який покладений в основу системи керування рис. 1, поділяються на: системи на основі нейронних мереж, системи на основі технологій нечіткої логіки, системи на основі оцінок експертних систем. В той же час існуючі системи автономного керування мають багато недоліків, базуються на різних теоретичних основах і не забезпечують у повному обсязі заданих вимог щодо систем керування БпЛА. Вищезазначені причини обумовлюють потребу у розробках нових теоретичних основ синтезу системи автономного керування БпЛА, які мають базуватися на ґрунтовному аналізі досягнутого стану і існуючих тенденцій їх розвитку.

Даний напрям досліджень є на сьогодні актуальним у багатьох країнах, зокрема МО РФ ставить завдання щодо концентрації зусиль на створенні: «інтелектуальних роботів и робототехнических комплексов военного назначения различных видов базирования, повышение степени автономности их функционирования» [5]. У багатьох закордонних фа-

хових виданнях, наприклад [6], також наводяться дані про те, що розвиток БпЛА у світі перейшов у фазу автономізації. Таким чином, подальший розвиток комплексів БпЛА військового призначення за оцінками більшості закордонних авіаційних фахових видань пов'язується з підвищенням автономності комплексів за рахунок передачі функцій які виконує людина-оператор бортовим засобам.

Розгляд у статті питань дослідження стану і визначення тенденцій розвитку системи керування БпЛА військового призначення, спрямовано на вирішення практичного завдання, щодо визначення автором перспективного напрямку проведення наукових досліджень за проблемою забезпечення автономії безпілотних літальних апаратів при виконанні польотного завдання.

## Системи керування БпЛА синтезовані на основі традиційних методів

Перші покоління БпЛА використовували системи керування, які були синтезовані на основі традиційних методів, а саме теорії автоматичного регулювання, чисельних методів та інші. Прикладом синтезу систем керування на основі застосування традиційних методів є БпЛА «Пчела» першого покоління комплексу «Строй-П» рис. 2, де  $g(t)$  – вхідний сигнал, а саме задані значення:  $\Psi_3(t)$  – курсу,  $H_3(t)$  – висоти польоту,  $e(t)$  – похибка керування,  $u(t)$  – сигнал керування,  $y(t)$  – вихідний сигнал, у тому числі поточні значення:  $D_r(t)$  – дальності,  $A_r(t)$  – азимуту,  $H_r(t)$  – висоти польоту,  $\Psi_r(t)$  – курсу польоту,  $m(t)$  – зовнішнє збурення.

Закон керування у загальному вигляді:

$$u(t) = k_0 e(t) + k_1 \int_{t_0}^{t_1} e(t) dt + k_2 \dot{e}(t), \quad (1)$$

де  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  – значення коефіцієнтів регулятора;  $e(t) = g(t) - y(t)$  – похибка керування.

Система керування даного БпЛА побудована на реалізації керування по двом каналам: висоти і курсу. Керування висотою польоту: бортовий обчислювач відхиляє сектор газу двигуна від положення номіналу у тій чи іншій бік, пропорційно різниці заданої оператором та обмірюваної баровисотоміром висоти. Руль висоти відхиляється пропорційно обмірюваному куту тангажа. Елерони відхиляються пропорційно обмірюваному крену у напрямку компенсації крену.

Керування курсом: бортовий обчислювач відхиляє руль напрямку БпЛА пропорційно різниці вимірюваного і заданого оператором курсу. При синтезі даної системи керування застосовані традиційні методи теорії автоматичного регулювання: передаточних функцій, методи аналізу логарифмічних та час-

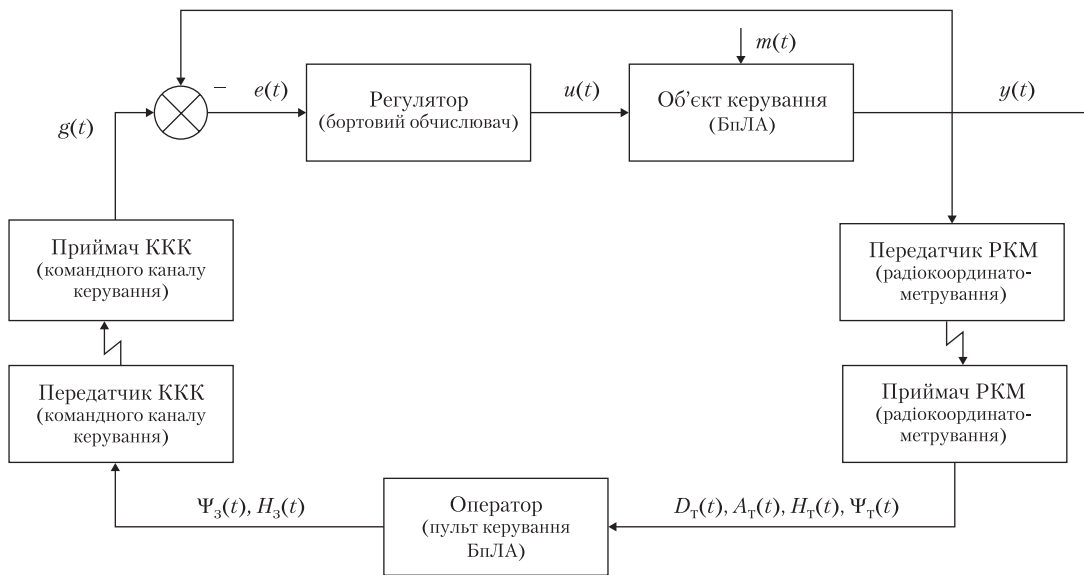


Рис. 2. Структурна схема системи керування БпЛА «Пчела» синтезованої на основі традиційних методів

тотних характеристик динамічних систем, чисельні методи та інші. Системи керування, побудовані на основі традиційних методів, добре вивчені, надійні, і багаторазово апробовані на різних об'єктах.

Разом з тим, є декілька принципових моментів, які значно обмежують область застосування традиційних методів для побудови систем керування БпЛА, а в деяких випадках роблять їх застосування і зовсім неможливим. Один з них полягає у труднощах розробки точної математичної моделі об'єкта керування при необхідності урахувати у моделі такі трудноформалізуєми умови як нелінійності, можливі несправності, зміни властивостей об'єктів в процесі функціонування та інші. Спрощення які застосовуються у цьому випадку не завжди дозволяють добитися необхідної якості керування, а іноді є і зовсім неприпустимими.

В пошуках шляхів подолання цих проблем, розробники систем керування все частіше звертаються до нових, так званих «інтелектуальних» методів керування, які будуються не на апріорних математичних моделях об'єктів, а на емпіричних «знаннях», які отримані або від експертів (експертні системи, системи на основі нечіткої логіки), або витягнутих з навчальної вибірки (штучні нейронні мережі), або автоматично одержувані самою системою керування безпосередньо в процесі взаємодії з об'єктом (системи з підкріплюючим навчанням і др.).

У підсумку, пошук шляхів боротьби з невизначеностями що супроводжують застосування БпЛА обумовив активізацію теоретичних та експериментальних досліджень щодо розвитку нових методів синтезу систем керування БпЛА. При цьому основні зусилля зосереджені у напрямках синтезу систем керування БпЛА на основі: модульних нейронних ме-

реж, застосування технології нечіткої логіки, оцінок експертних систем, генетичних алгоритмів та інші.

Дослідження за даними напрямками знаходяться на різних етапах: від практичної реалізації в системах БпЛА, математичного моделювання, до етапу теоретичної проробки самої можливості синтезу систем керування БпЛА за допомогою нових підходів і методів.

### Системи керування БпЛА синтезовані на основі модульних нейронних мереж

Принцип побудови: виявлення закономірностей, ідентифікація подібних ситуацій і формування керуючих впливів на основі накопиченої інформації нейронної мережі.

Структурна схема системи керування БпЛА синтезованої на основі модульних нейронних мереж наведена на рис. 3, де  $g(t)$  – вхідний сигнал,  $e(t)$  – похибка керування,  $u(t)$  – сигнал керування,  $y(t)$  – вихідний сигнал,  $m(t)$  – зовнішнє збурення,  $S^n$  – функція диференціювання  $n$ -го ступеня.

Закон керування у загальному вигляді:

$$u = F_u(e_1, \dots, e_n), \quad (2)$$

де  $e_1, \dots, e_n$  – вектор координат сигналу похибки керування;  $F_u$  – нелінійна функція перетворення;  $n$  – порядок диференційного рівняння об'єкта керування.

В цій схемі нейронна мережа включається в прямий контур керування в якості регулятора, на вхід якої подається сигнал похибки та його похідні (кількість похідних визначається порядком диференціального рівняння моделі БпЛА).

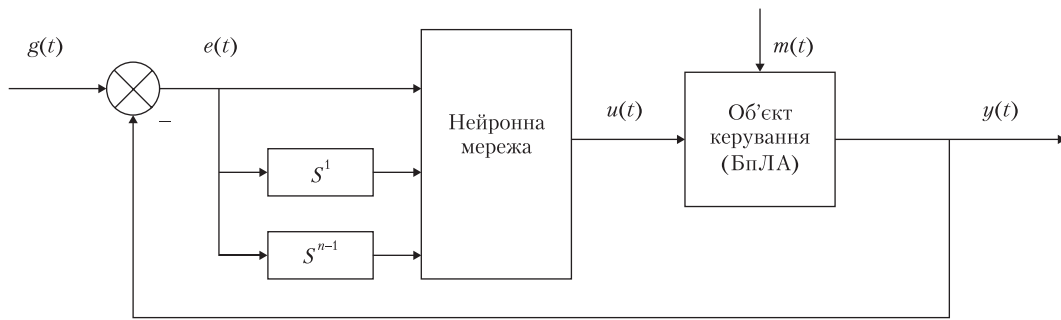


Рис. 3. Структурна схема системи керування БпЛА синтезованої на основі модульних нейронних мереж

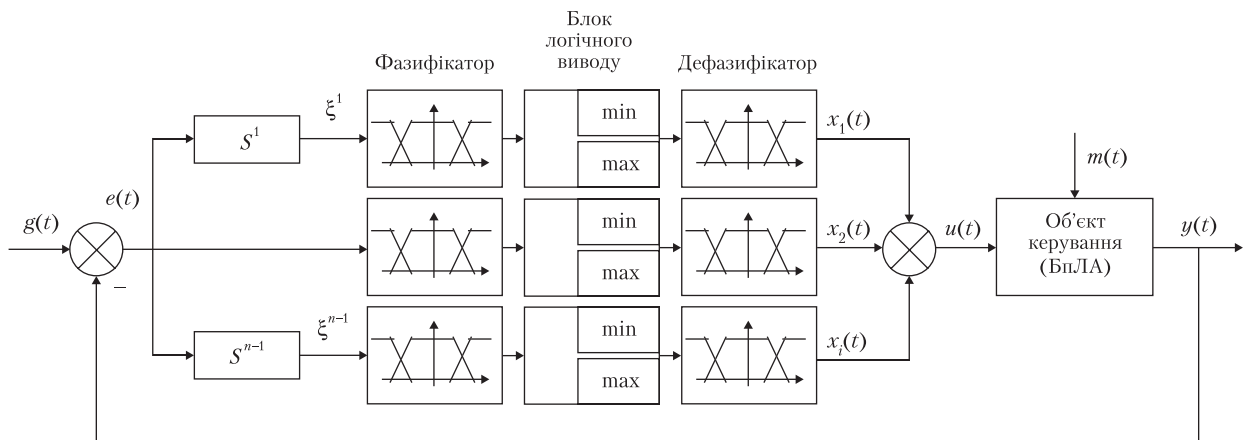


Рис. 4. Структурна схема системи керування БпЛА синтезованої на основі застосування технології нечіткої логіки

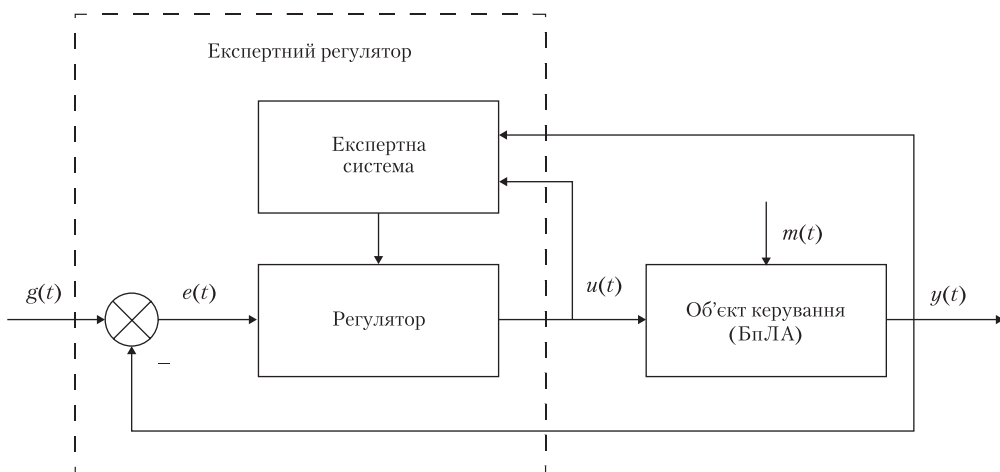


Рис. 5. Структурна схема системи керування БпЛА синтезованої на основі оцінок експертних систем

Позитивні фактори: можливість синтезу алгоритмів керування з урахуванням наявних невизначеностей, відтворення достатньо складних нелінійних залежностей, висока швидкодія (особливо у разі апаратної реалізації паралельної обробки), адаптивність, здатність до навчання у т.ч. при діях БПЛА у групах, потенційно висока завадо і відмовостійкість, відсутність традиційного програмування.

Проблеми: залежність якості функціонування системи керування від якості попереднього навчання нейронної мережі. Високі вимоги до об'єму пам'яті.

Практична реалізація: ударний БПЛА X-45A (Boeing, DARPA США), ударний БПЛА X-47B (Northrop Grumman США).

### Системи керування БПЛА синтезовані на основі застосування технології нечіткої логіки

Принцип побудови: модель об'єкта керування розробляється у вигляді логіко-лінгвістичного опису взаємозв'язків вхідних керуючих впливів і вихідних координат стану.

Структурна схема системи керування БПЛА синтезованої на основі застосування технології нечіткої логіки наведена на рис. 4, позначення на рисунку аналогічні рис. 3.

*Закон керування у загальному вигляді:*

$$u = \int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx / \int_{\min}^{\max} \mu(x) dx \quad (3)$$

де  $x$  — змінна яка відповідає вихідній лінгвістичній змінній,  $\mu(x)$  — функція приналежності нечіткої множини відповідної вихідної змінної після етапу акумуляції,  $\min$  та  $\max$  — ліва та права точки інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної.

Позитивні фактори: можливість синтезу алгоритмів керування з урахуванням існуючих невизначеностей. Високий рівень адаптивності, надійності і якості функціонування БПЛА в різних режимах.

Проблеми: забезпечення сталості алгоритмів керування в залежності від дискретизації параметрів. Вибір функції приналежності. Високі вимоги до об'єму пам'яті.

Практична реалізація: експерименти на спеціалізованому моделюючому комплексі у Московському державному інституті радіотехніки, електроніки і авіації (МДІ РЕ і А) [7, 8].

### Системи керування БПЛА синтезовані на основі оцінок експертних систем

Принцип побудови: отримані за допомогою алгоритму формування знань правила дають можливість експертному регулятору ідентифікувати параметри

системи, та вибрати коефіцієнти регулятора таким чином щоб показники якості системи задовольняли заданим вимогам.

Спрощена структурна схема системи керування БПЛА синтезованої на основі оцінок експертних систем наведена на рис. 5, позначення на рисунку аналогічні рис. 3.

*Закон керування у загальному вигляді:*

$$u(t) = k_0(t)e(t) + k_1(t) \int_{t_0}^{t_1} e(t) dt + k_2(t) \dot{e}(t) \quad (4)$$

де  $k_0(t) = k_{00} + \Delta k_0(t)$ ,  $k_1(t) = k_{10} + \Delta k_1(t)$ ,  $k_2(t) = k_{20} + \Delta k_2(t)$  — змінні параметри регулятора, при цьому,  $k_0(t)$ ,  $k_1(t)$ ,  $k_2(t)$  — початкові значення коефіцієнтів регулятора,  $\Delta k_0(t)$ ,  $\Delta k_1(t)$ ,  $\Delta k_2(t)$ , — змінні параметричні прирости, алгоритми змін яких синтезуються експертною системою,  $e(t) = g(t) - y(t)$  — похибка керування.

В цій схемі наряду з основним контуром керування (регулятор — об'єкт керування) присутній інтелектуальний контур (регулятор — експертна система), що автоматично коригує коефіцієнти регулятора в умовах змін характеристик зовнішньої середовища та об'єкта керування.

Позитивні фактори: можливість функціонування в умовах невизначеності; простота програмно-апаратної реалізації засобів керування, розробка програмного забезпечення по принципам «відкритої» архітектури.

Проблеми: високі вимоги до якості бази знань експертної системи; низька швидкодія; великі об'єми необхідних знань і пам'яті для їх зберігання.

Практична реалізація: автономний безпілотний вертоліт ULB на базі серійного вертольоту Little Bird (Boeing, США) [9].

Узагальнені відомості проведеного дослідження щодо аналізу стану систем керування БПЛА військового призначення подані у таблиці 1.

### Тенденції розвитку систем керування БПЛА військового призначення

На підставі аналізу традиційних та сучасних підходів до синтезу систем керування БПЛА можна констатувати, що кожен напрям має свій смисл та потенціал щодо подальшого розвитку. Однак в цілому простежується стійка тенденція до «інтелектуалізації» систем керування БПЛА. При цьому під інтелектуальною системою керування розуміється система, яка побудована на обробці знань щодо об'єкта керування, які постійно змінюються [10]. Більш детально під інтелектуальною системою слід розуміти об'єднану інформаційним процесом сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, що працює у взаємозв'язку з людиною (колективом людей) або автономно, здатну на підставі відомос-



Узагальнені відомості щодо аналізу стану систем керування БпЛА військового призначення

Перспективні напрями синтезу систем керування БпЛА	Переваги напряму які позитивно впливають на можливості синтезу систем керування БпЛА	Проблеми що виникають при синтезі систем керування БпЛА	Приклади практичного впровадження напряму в системах керування БпЛА
1. Модульні нейронні мережі	<ul style="list-style-type: none"> <li>адаптивність, здатність до навчання у т. ч. при дії в групах;</li> <li>можливість синтезу алгоритмів керування з урахуванням існуючих невизначеностей;</li> <li>відсутність необхідності знати або створювати математичну модель;</li> <li>широкі апроксимаційні можливості щодо нелінійних об'єктів;</li> <li>можливість синхронізації роботи нейронних мереж на паралельних пристроях;</li> <li>висока швидкодія</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>залежність якості функціонування від якості навчання нейронної мережі;</li> <li>високі вимоги до об'єму пам'яті</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ударний БпЛА X-45A (Boeing, DARPA США);</li> <li>ударний БпЛА X-47B (Northrop Grumman США)</li> </ul>
2. Технології нечіткої логіки	<ul style="list-style-type: none"> <li>високий рівень адаптивності, надійності і якості функціонування у різних режимах;</li> <li>можливість синтезу алгоритмів керування з урахуванням існуючих невизначеностей;</li> <li>можливість синтезу систем керування без висування вимог щодо додержання високих стандартів математичної точності і строгості</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>сталість алгоритмів керування в залежності від дискретизації параметрів;</li> <li>високі вимоги до об'єму асоціативної пам'яті;</li> <li>алгоритми керування цілком і повністю визначаються наявною базою знань;</li> <li>адекватність логіко-лінгвістичної моделі керування конкретному зразку БпЛА залежить від настройки функцій приналежності значень фізичних перемінних тому чи іншому класу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>модельні експерименти на спеціалізованому програмному комплексі (МДІ РЕ і А, Росія)</li> </ul>
3. Експертні системи	<ul style="list-style-type: none"> <li>можливість функціонування в умовах невизначеності;</li> <li>простота реалізації засобів керування у вигляді програмного продукту;</li> <li>розробка програмного забезпечення по принципам «відкритої» архітектури</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>складність створення баз знань;</li> <li>самонавчання експертної системи;</li> <li>високі вимоги до якості бази знань експертної системи;</li> <li>низька швидкодія;</li> <li>великі об'єми необхідних знань і пам'яті для їх зберігання</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>автономний безпілотний вертоліт ULB на базі серійного вертольоту Little Bird (Boeing, США)</li> </ul>

Таблиця 2

Узагальнені відомості щодо тенденцій розвитку систем керування БпЛА військового призначення

Перспективні напрями синтезу систем керування БпЛА	Тенденції подальшого розвитку напряму синтезу систем керування БпЛА
1. Модульні нейронні мережі	<ul style="list-style-type: none"> <li>використання розподілених обчислювальних мереж;</li> <li>підтримка механізму самонавчання нейронної мережі;</li> <li>підтримка механізму оптимізації генеруємих планів досягнення цілі</li> </ul>
2. Технології нечіткої логіки	<ul style="list-style-type: none"> <li>використання нечітких баз даних при синтезі систем керування;</li> <li>комплексування робастних, нейро-нечітких і адаптивних алгоритмів;</li> <li>зменшення фактору суб'єктивізму при виборі функції приналежності</li> </ul>
3. Експертні системи	<ul style="list-style-type: none"> <li>від інтелектуального помічника льотчику до рівня автономної системи;</li> <li>пошук шляхів підвищення швидкодії</li> </ul>
4. Генетичні алгоритми	<ul style="list-style-type: none"> <li>пошук шляхів зменшення витрати часу на рішення;</li> <li>оптимізація обчислювальних ресурсів</li> </ul>

тей та знань при наявності мотивації синтезувати цілі, приймати рішення до дії і знаходити раціональні способи досягнення цілі [11]. При цьому можна констатувати, що автономність і інтелектуальність на сьогодні вже стають синонімами. Все вищезазначене свідчить, що на сьогодні стрімко набуває розвитку новий науковий напрям — теорія інтелектуального керування. При цьому відомо вже більше 400 прикладів практичного застосування інтелектуальних систем керування, у військовій, промисловій, медичній та інших галузях.

Окремим напрямом синтезу системи керування БпЛА може стати напрям синтезу на основі генетичних алгоритмів. У зв'язку з відсутністю відомостей щодо практичної реалізації його у системах керування БпЛА, він у статті не розглядався. Але слід відзначити, що даний напрям має свою перспективу через позитивні фактори: можливість оптимізації складних багатоконтурних і багатозв'язаних систем регулювання, керування важкоформалізуємими об'єктами і процесами. Цей метод вже знайшов своє місце у невійськових сферах застосування. Він базується на постулатах теорії еволюції і досвіду селекції рослин та тварин, які використовуються для отримання керуючих сигналів. Стимування його поширення на керування БпЛА пов'язано в першу чергу з проблемами щодо значних витрат часу на рішення та необхідністю використання значних обчислювальних ресурсів.

Узагальнені відомості щодо загальних тенденцій розвитку систем керування БпЛА наведені у таблиці 2.

Як показує проведений аналіз, до загальних тенденцій розвитку автономних систем керування БпЛА слід віднести:

- ієрархічність побудови системи керування;
- здатність урахування ступеня автономності;
- відкритість системи керування і можливість гнучкої заміни функцій;
- здатність до самонавчання у процесі функціонування;
- інтеграція декількох «інтелектуальних» методів у одній системі керування;
- розподільність обчислень.

Однак, за результатами проведеного аналізу можливо зробити висновок і про те, що остаточного рішення наукова проблема забезпечення автономності БпЛА при виконанні польотного завдання ще не набула. Це в свою чергу спонукає до проведення подальших теоретичних досліджень за визначеним напрямом.

При започаткуванні нових досліджень за обраним напрямом необхідно урахувати, що новий метод повинен зберігати основні переваги існуючих методів, але не мати тих проблем, що суттєво знижують їх ефективність та відповідати основним вимогам до функціональних можливостей перспективних систем керування БпЛА.

Зокрема до цих вимог можна віднести: забезпечення автоматичного підстроювання до зміни параметрів системи і об'єкта керування, забезпечення високої адаптивності до зовнішніх впливів різної природи, підтримання високої надійності і якості керування при роботі в умовах невизначеності, здатність до виконання прогнозів та пророкувань, автоматичне формування моделі зовнішньої обстановки на основі аналізу сенсорних даних, можливість організації режимів самонавчання для узагальнення накопиченого досвіду, проведення сеансів самодіагностування, підтримання діалогу на рівні природної мови і символічним вводом-виводом інформації.

До початку етапу проведення теоретичних досліджень за проблемою забезпечення автономності БпЛА, робиться вихідна гіпотеза (передумова) автора, що нова методологія синтезу систем автономного керування БпЛА військового призначення повинна базуватися вже на існуючих програмно-апаратних пристроях та системах, але підкріплюватися експериментальними дослідженнями ефективних алгоритмів керування, які зокрема будуть базуватися на пасивних (у тому числі нетрадиційних для БпЛА) датчиках інформації і принципово без розповсюдженого на сьогодні застосування інформації від приймача GPS.

Нова теоретична база синтезу систем автономного керування повинна витікати з великої кількості модельних експериментів і аналізу працездатності алгоритмів керування БпЛА синтезованих за допомогою розглянутих у даній статті і існуючих на сьогодні методів та підходів, практичного вивчення їх переваг та недоліків.

Теоретичні дослідження за зазначеною проблемою мають лягти в основу практичної реалізації двох автономних режимів системи автоматичного керування БпЛА: перший — аварійне повернення до місця посадки; другий — виконання завдання у автономному режимі з подальшим поверненням до місця посадки.

## Висновки

Таким чином, враховуючи підвищення складності, розширення кола завдань та невизначеність умов функціонування БпЛА, традиційні методи синтезу систем керування вже не дозволяють досягти таких технічних характеристик, які б в повному обсязі відповідали сучасним вимогам. Це призводить до інтенсифікації наукових досліджень у напрямку «інтелектуалізації» систем керування БпЛА на основі застосування нейронних мереж, технологій нечітких множин, оцінок експертних систем, генетичних алгоритмів та ін. Загальною ознакою нових методів є синтез систем керування на емпіричних «знаннях» отриманих або від експертів (експертні системи, системи на основі нечіткої логіки) або витягнутих з навчальної вибірки (нейронні мережі) в умовах відсутності даних про математичні моделі.



Окремим перспективним на сьогодні напрямком розвитку інтелектуальних систем автоматичного керування є інтеграція розглянутих методів у одній системі керування, це дозволяє об'єднувати позитивні властивості кожного з методів і підвищувати таким чином якість керування, наприклад, експертних систем і технології нечітких множин, що призводить до збільшення швидкодії, скорочення об'єму бази знань (за верхньою оцінкою — від одного до двох порядків).

Підводячи підсумок, можна зазначити, що остаточного розв'язку проблема забезпечення автономії БПЛА при виконанні польотного завдання ще не знайшла, що спонукає до проведення подальших досліджень, у тому числі і щодо розвитку нових методологічних основ синтезу систем автономного керування безпілотних літальних апаратів військового призначення.

### Література

1. Попов В. А., Федутин Д. В. Найдётся ли место в небе // Вестник авиации и космонавтики. — 2006. — № 1. — С. 62–65.
2. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Евстигнеев Д. В. Интеллектуальные системы управления беспилотными летательными аппаратами на основе комплексного применения технологий нечёткой логики и ассоциативной памяти // Авиакосмическое приборостроение. — 2002. — № 2. — С. 29–42.
3. XV Международный конгресс IFAC (21–26 июня 2002 г.) // Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 1. — С. 10–11.
4. Красовский А. А., Вавилов Ю. А., Сучков А. И. Системы автоматического управления летательных аппаратов. — М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1986. — 478 с.
5. Поповкин В. К новому облику Вооруженных Сил России // Национальная оборона № 10 октябрь 2010. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.oborona.ru/284/112/index.shtml?id=4145#>
6. Butler A. Autonomous Path // Aviation Week & Space Technology. — 2010. — Vol. 172, № 22. — P. 38–40.
7. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Евстигнеев Д. В. Интеллектуальная система управления автоматической посадкой беспилотного летательного аппарата на основе комплексного применения технологии нечёткой логики // Авиакосмическое приборостроение. — 2004. — № 10. — С. 30–39.
8. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 576 с.
9. ULB. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.boeing.com/rotorcraft/military/ulb/index.html>.
10. Осипов Г. С., Тихомиров И. А., Хачумов В. М., Яковлев К. С. Интеллектуальные системы управления автономными транспортными средствами: стандарты, проекты, реализация // Авиакосмическое приборостроение. — 2009. — № 6. — С. 34–43.
11. Пупков К. А. Интеллектуальные системы в мехатронике. МГТУ им. Н. Э. Баумана. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.ga-asi.com/news\\_events/index.php?read=1&id=284](http://www.ga-asi.com/news_events/index.php?read=1&id=284)