

СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.085.5(045)

В.М. Казак, д. т. н., проф.
Д.О. Шевчук, к. т. н., доц.
О.Ю. Яковицька, старш. викл.

БОРТОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ В УМОВАХ ОСОБЛИВОЇ СИТУАЦІЇ

Проектування нової авіаційної техніки припускає розроблення та впровадження бортових інтелектуальних систем керування для забезпечення керуваності літака в умовах виникнення особливої ситуації в польоті в режимі реального часу. Розглянуто принцип функціонування запропонованої бортової інтелектуальної системи керування, яка основана на логіко-лінгвістичних моделях і нейромережах. Наведено розроблену математичну модель завдання формування бортової інтелектуальної системи керування оптимального варіанта продовження польоту в умовах виникнення особливої ситуації у польоті.

Now new aviation tactics designing presumes development and application of the onboard intellectual control systems working in extra situation appeared in flight in a real-time mode for aircraft controllability provided. The principle of functioning onboard intellectual control systems based on logic-linguistic models and neural networks are considered in the article. The developed mathematical model of the task formation optimum variant flight in extra conditions is presented.

Постановка проблеми

У процесі експлуатації раптовий вплив різних деградуючих механічних, біологічних, електро-механічних та інших зовнішніх факторів і внутрішніх процесів призводить до зміни аеродинамічного стану літака і, як наслідок, до зміни режиму польоту, а іноді й до розвитку авіаційної пригоди.

Аналіз причин авіаційних пригод показав, що більше 8 % з них виникає внаслідок механічних пошкоджень зовнішнього обводу літака [1]. Цей відсоток можна значно скоротити якщо здійснювати в процесі польоту безперервний контроль параметрів, які характеризують аеродинамічний стан літака, та коректувати за його результатами потрібні керуючі впливи з використанням бортової інтелектуальної системи керування (БІСК).

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз останніх публікацій у сфері штучного інтелекту свідчить про велику перспективність застосування БІСК для керування повітряного судна (ПС) у штатних та екстремальних умовах, для чого необхідно:

- розпізнавати польотну ситуацію, що склалася;
- діагностувати стан зовнішнього обводу літака;
- приймати рішення;
- формулювати плани дій для відвернення розвитку особливої ситуації (ОС);
- висувати та перевіряти гіпотези;

– виявляти закономірності в результаті спостереження.

Так, у роботі О.С. Рогальова як ядро БІСК ситуаційного типу запропоновано використовувати базу знань і даних, що призначена для зберігання довгострокових даних, які описують розглянуту область у вигляді логіко-лінгвістичних моделей для реалізації знань і досвіду експертів з керування [2].

У роботі О.А. Мішуліна та О.Г. Трофімова розглянуто завдання траєкторного керування літаком, що виконує оборонний маневр від атакуючої його ракети з використанням інтелектуальних технологій [3].

Аналіз результатів досліджень показав, що нейронні мережі дають можливість реалізувати ефективні й високоточні алгоритми бортової обробки даних за обмеженої обчислювальної складності.

Особливо актуальним стає формування єдиних методологічних засад штучного інтелекту, розробка загальних принципів побудови інтелектуальних систем нових поколінь. Великі перспективи пов'язані з використанням ідей і принципів синергетики у штучному інтелекті [4]. До синергетичних напрямів у дослідженнях Д. Поспелов зараховує нетрадиційні логіко-семіотичні й нейроінтелектуальні моделі, м'які обчислення (soft computing) і обчислювальний інтелект (Computational Intelligence), багатоагентні системи і штучні організації [4].

У різних дослідженнях підтверджено експериментально, що для м'яких обчислень характерна допустимість неточності, невизначеності і часткової істинності, яка дозволяє досягти легкості обробки, робастності, низької вартості рішення й найкращої узгодженості з реальністю.

Незважаючи на інтенсивний розвиток інтелектуальних систем, використовуваних у них методів, а також можливостей апаратних і програмних засобів, що зростають з року в рік, у цій галузі залишається велика кількість невирішених і незрозумілих проблем: від специфікації розв'язуваних задач до адекватних їм методів моделювання знань і процесів.

Бурхливий розвиток теорії діагностування та комп'ютерної техніки, надзвичайні можливості і загальність її застосування породили в останні роки прагнення вирішувати нові практичні завдання, виходячи з усе складніших моделей, пришвидшили потребу в отриманні та обробленні складної й не завжди точної інформації.

Мета – дослідження проблеми розроблення БІСК для забезпечення керованості системи «літак-екіпаж-БІСК-зовнішнє середовище» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті.

Виклад основного матеріалу дослідження

Під системою «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака в польоті будемо розуміти:

- літак з його аеродинамічними властивостями;
- дії екіпажу спрямовані на відбиття ОС, що раптово виникла;
- бортову інтелектуальну систему керування, що функціонує на кожному етапі розвитку ОС;
- середовище, що змінює свої характеристики;
- особливу ситуацію, яка розвивається в часі.

Елементи системи між собою взаємозалежні, відображають у комплексі єдине ціле і впливають на рішення необхідного набору задач польоту залежно від етапу ОС із заданою точністю у визначеному наборі обмежень [5; 6].

Керування такою складною системою, як «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті неможливе без залучення синоптичної якісної інформації. Традиційні методи теорії керування виявляються малоефективними в ситуаціях, коли не всі цілі керування об'єктом можуть бути виражені у вигляді кількісних співвідношень; процес керування є багатокроковим або зміст кожного кроку не може бути заздалегідь однозначно визначений.

Отже, виникає потреба застосування логіко-лінгвістичних моделей, які допомагають формалізувати знання і досвід дій екіпажів в аналогічних ОС, тобто введення в БІСК логіко-лінгвістичних моделей поряд з математичними. Використання логіко-лінгвістичного моделювання, ґрунтованого на принципах нечіткої логіки та нейронних мережах, значно розширює можливості застосування БІСК за рахунок складноформалізованих або зовсім неформалізованих завдань керування польотом літака в умовах виникнення ОС.

На початку циклу роботи запропонованої БІСК ситуаційного типу інформація, яка надходить від об'єкта керування, перетворюється в опис спостережуваної ситуації. На основі аналізу опису, що надійшов, визначається подальший рух літака в системі. Для подальшого викладу матеріалу введемо такі поняття:

- поточний (спостережуваний) стан літака у польоті – сукупність всіх відомостей про його льотно-технічний та функціональний стан на певний момент часу;
- повний стан системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті – сукупність знань про стан всіх елементів системи, тобто про дії екіпажу, про функціонування БІСК на кожному етапі розвитку ОС, вплив зовнішнього середовища, вплив пошкоджень зовнішніх обводів літака, що раптово виникли у польоті.

Поточний стан ПС позначимо D_i , а повний стан системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище-пошкодження несучої поверхні літака» T_i . Нехай існує ряд керуючих впливів u_k , які змінюють структурний або функціональний стан ПС щодо збереження стійкості і керованості літака в умовах розвитку ОС у польоті. Тоді акт вибору варіанта стану ПС можна подати у вигляді

$$D_i, T_i \xrightarrow{u_k} D_j.$$

Зміст цього співвідношення полягає в тому, що якщо керуючі поверхні ПС перебувають у стані D_i , а стан системи T_i вимагає в інтересах досягнення мети (забезпечення потрібної стійкості і керованості) використовувати вплив u_k , то його застосовують, і поточний стан ПС D_i перетворюється в новий D_j .

Через скінченність деградуючих впливів вся множина можливих повних станів системи розпадається на N класів, що зберігаються в базі даних БІСК, кожному з яких буде відповідати один із можливих керуючих впливів u_k . У системі БІСК мають існувати такі процедури, що дозволяють класифікувати типові стани системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище – пошкодження несучої поверхні літака» і виробляти необхідні керуючі впливи в рамках цього стану.

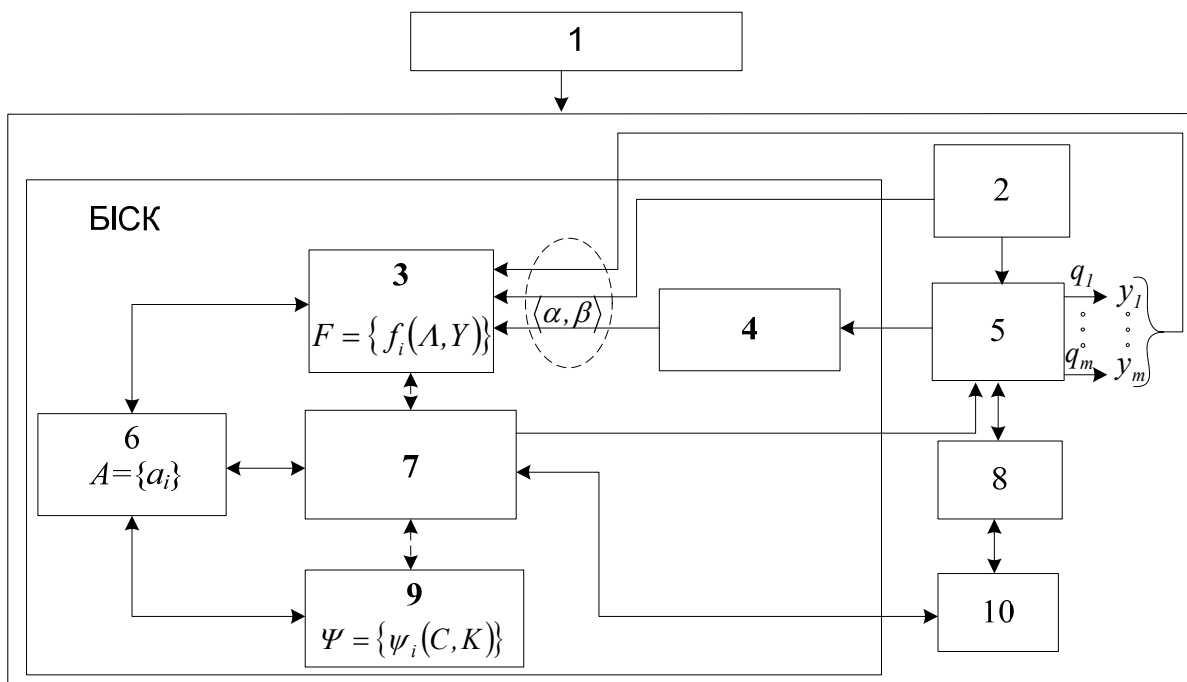
Можливість класифікації ОС дозволяє звести завдання прийняття рішення до завдання пошуку такого розбиття множин ситуацій на типові класи ОС, за якого кожному класу відповідає певне рішення (краще з погляду екіпажів), які успішно нейтралізували аналогічну ОС.

Таким чином, у процесі функціонування БІСК буде генеруватись рішення, що ґрунтуються на типових сценаріях, на основі попереднього досвіду та успішних дій екіпажів в аналогічних ОС.

Сценарії в БІСК мають бути пов'язані між собою такими причинно-наслідковими відношеннями, які зі зміною стану системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище – пошкодження несучої поверхні літака» (у результаті аналізу інформації від бортових вимірювальних пристроїв) повністю описували б розвиток типової ОС, яка виникла в польоті за допомогою переходу з одного сценарію в інший за оптимальним шляхом до досягнення поставленої мети.

Ядром БІСК ситуаційного типу є база даних (див. рисунок), призначена для зберігання довгострокових даних, що описують типові ОС у вигляді логіко-лінгвістичних моделей.

Блок оцінювання поточного стану на основі інформації, яка надходить на його вхід від системи діагностування зовнішнього обводу літака, систем бортового обладнання та інформації про дії екіпажу, буде формалізований опис поточної (спостережуваної) польотної ситуації, здійснює аналіз ситуації та визначає необхідність зміни стану ОС в умовах виникнення типової ОС у польоті.



Структурна схема БІСК:

- 1 – ОС;
- 2 – зовнішнє середовище;
- 3 – блок оцінювання поточного стану;
- 4 – система діагностування зовнішнього обводу літака у польоті;
- 5 – літак;
- 6 – база даних;
- 7 – блок формування підказок та реконфігурації керуючих впливів;
- 8 – екіпаж;
- 9 – блок аналізу та прийняття рішення;
- 10 – табло підказок

Дані про типовий ОС і потрібні керуючі впливи зберігаються в розподіленій базі знань у вигляді набору керуючих правил: якщо (виникла ОС), то (необхідна реконфігурація керуючих впливів), інакше (погіршений етап розвитку ОС).

З використанням інформації про поточний стан системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище – пошкодження зовнішньої поверхні літака» відбувається спрямований пошук потрібного правила керування.

Якщо поточна польотна ситуація вимагає реконфігурації керуючих впливів, тобто формування цільового для ситуації, що склалася у повітрі, керуючого впливу або вироблення відповідної підказки екіпажу, то опис спостережуваної ситуації надходить в блок аналізу та прийняття рішень.

Цей блок містить таблицю рішень, що формується за допомогою системи продуціювання типових ОС на конкретні правила керування, які зберігаються в базі даних, вибирає необхідне, що відповідає поточній польотній ситуації системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище – пошкодження зовнішньої поверхні літака» для забезпечення виконання поставленої мети.

Блок формування підказок та реконфігурації керуючих впливів здійснює зіставлення керуючих впливів екіпажу з потрібними для ситуації, що склалася у польоті та приведення нев'язки, до форми, що видається на індикацію екіпажу, у вигляді підказок або автоматичної стабілізації польоту літака залежно від стану системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище – пошкодження зовнішньої поверхні літака».

Для обробки поточної польотної інформації і прийняття рішень щодо керуючих впливів відбувається постійне звертання до розподіленої бази даних БІСК.

Розроблена БІСК залежно від етапу розвитку ОС функціонує у таких режимах [7]:

- спостереження;
- пасивному;
- напівактивному;
- активному.

Математичну модель задачі формування оптимального варіанта продовження польоту в умовах виникнення ОС у польоті, подамо у вигляді кортежу:

$BICK = \langle C, A, L, P, Q, Y, F, K, \Psi, E \rangle$,

де

$C = \{c_i\}$ – множина цілей (для цієї задачі основною метою є збереження керованості системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище»

в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті);

$A = \{a_i\}$ – множина стратегій виконання поставлених цілей у польоті з урахуванням поточних аеродинамічних властивостей літака, дії екіпажу, що спрямовані на парирування ОС, БІСК, яка функціонує на кожному етапі розвитку ОС, середовища, що змінює з висотою свої характеристики, а також ОС, яка бурхливо розвивається в часі, певним чином;

$L = \{\lambda_j\} = \{\langle \beta_j, \gamma_j \rangle\}$ – множина чинників, що впливають на результат продовження польоту;

β_j – чинники, якими неможливо керувати (зовнішнє середовище, пошкодження несучої поверхні, дії екіпажу);

γ_j – чинники, якими можна керувати (реконфігурація керування, положення органів керування і несучих поверхонь);

$Q = \{q_j\}$ – множина наслідків вибору певної альтернативи забезпечення керованості літака в умовах виникнення ОС у польоті;

$Y = \{y_j\}$ – вектор характеристик наслідків $q \in Q$,

тобто оцінювання результатів вибору певної альтернативи із бази даних БІСК для забезпечення керованості системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє середовище» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті;

$F = \{f_i(A, Y)\}$ – множина функцій, яка ставить у відповідність множинам стратегій A і чинників L множину результатів Y ;

$K = \{k_i\}$ – множина критеріїв ефективності оцінювання вибраного керуючого правила із бази даних БІСК для визначення відповідності результату прийняття рішення поставленим цілям;

$\Psi = \{\psi_i\}$ – множина оцінок корисності існуючих альтернатив за критеріями K , та ймовірностей впливу P^{oc}, P^{zb}, P^{ek} ;

$P^{in} = \{p_i^{in}\}$ – множина оцінок імовірностей впливу зовнішнього пошкодження літака, яке виникло у польоті на керованість системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє збурення – пошкодження зовнішньої поверхні літака»;

$P^{ca} = \{p_i^{ca}\}$ – множина оцінок імовірностей впливу зовнішнього середовища на керованість системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє збурення – пошкодження зовнішньої поверхні літака»;

$P^{ae} = \{p_i^{ae}\}$ – множина оцінок імовірностей впливу дій екіпажу на керованість системи «літак – екіпаж – БІСК – зовнішнє збурення – пошкодження зовнішньої поверхні літака».

Висновки

У роботі розглянуто концепцію побудови БІСК, яка функціонує в таких режимах:

– система «спостерігач» відслідковує значення параметрів польоту та не втручається в процес керування літаком;

– пасивний режим – коли в умовах виникнення ОС екіпажу видаються однозначні та своєчасні підказки у вигляді «якщо..., то..., інакше – погіршений варіант розвитку ОС»;

– напівактивний режим – інтелектуальна система змінює коефіцієнти зворотного зв'язку (або змінює величину динамічних характеристик важелів керування), якщо дії екіпажу правильні, але не достатньо енергійні для відбиття наслідків виникнення ОС у польоті;

– активний режим – відбувається автоматичне виключення пілота з контура керування та активне втручання автоматики в керування літаком, коли на певному етапі розвитку ОС стає зрозуміло, що екіпаж не в змозі впоратися з ОС, що склалася в польоті, через нестачу часу на ухвалення адекватного рішення і його відпрацювання.

Концепція створення БІСК будується на основі інтеграції декількох технологій штучного інтелекту. Оскільки нечіткі системи працюють зі слабкоструктурованою якісною інформацією, а нейронні мережі використовують лише кількісну інформацію, через поєднання цих двох методів можна використовувати усю доступну інформацію про літак в умовах раптового виникнення

ОС у польоті. Розроблений на цій основі алгоритм керування поєднує певним чином здатність нейронних мереж до самонавчання та адаптації до невизначеностей і здатність нечітких систем обробляти якісну інформацію, яка формується у базі даних БІСК, створеної на досвіді успішних дій екіпажів в аналогічних ситуаціях у польоті.

Література

1. Казак В.М., Гальченко С.М. Діагностування аеродинамічної поверхні літальних апаратів // Вісн. НАУ. – 2002. – № 4. – С. 46–49.
2. Роголев А.П. Основы построения ситуационных систем интеллектуальной поддержки решения задач авиационных бортовых комплексов / А.П. Роголев, А.И. Гайнуллин // Авиакосмическое приборостроение. – 2007. – № 2. – С. 50–56.
3. Мишулина О.А. Нейросети в задаче траекторного управления динамическим объектом / О.А. Мишулина, А.Г. Трофимова // Авиакосмическое приборостроение. – 2007. – № 1. – С. 31–36.
4. Поспелов Д.А. Слово редактора // Новости искусственного интеллекта. – № 2–3 (44–45). – 2001. С. 2–4.
5. Казак В.Н., Салимон В.И., Туник А.А. Системы автоматического и полуполуавтоматического управления полетом. – К.: НАУ, 2001. – 200 с.
6. Шевчук Д.О. Застосування нечіткого регулятора для відновлення керованості системою «літак–регулятор–середовище–особлива ситуація» // Вісн. північного наук. центру ТАУ. – 2006. – № 9. – С. 154–158.
7. Шевчук Д.О., Тачиніна О.М., Кравчук М.П. Застосування інтелектуальних технологій для збереження системи «літак–екіпаж–регулятор–середовище–особлива ситуація» // Вісн. північного наук. центру ТАУ. – 2008. – № 11. – С. 87–91.

Стаття надійшла до редакції 10.11.08.