

УДК 681.3.069:681.3.015

**РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ
ДІАГНОСТУВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ
У СЕРЕДОВИЩІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Ю.М. ЧОХА

Розглядаються методологічні етапи здійснення універсального комплексного контрольньо-розрахункового методу й особливості його практичної реалізації в середовищі автоматизованих розрахунково-інформаційних систем для забезпечення оперативної поглибленої оцінки поточного технічного стану типових складних об'єктів авіатехніки. При цьому надаються концептуальна, аналітична та функціональна моделі застосування цього методу на прикладі реалізації комплексного підходу до проведення оперативного поглибленого діагностування типового газотурбінного двигуна із застосуванням середовища автоматизованої системи підтримки прийняття рішень «ЕКСПЕРТ-об'єкт АТ». Подаються посилання на отримані технічні рішення, які підтверджують наукову новизну та практичну значимість розробленого методу діагностування складних динамічних технічних об'єктів в умовах їх регулярного використання за призначенням.

ВСТУП

Сучасні об'єкти авіатехніки (АТ): повітряні судна, планер, силова установка, функціональні системи, відносяться до складних динамічних технічних об'єктів. Після їх виготовлення та у період регулярного використання за призначенням виникає необхідність визначення поточного технічного стану (ТС) кожного окремого екземпляру об'єкта АТ і прийняття по ньому конкретного експлуатаційного рішення. Таким чином, авіаперсоналу, який здійснює експлуатацію типової АТ, постійно необхідно шукати відповідь на два традиційних питання: «У якому ТС знаходиться даний об'єкт АТ?» та «Що робити далі з цим об'єктом АТ?». При цьому методи і засоби, які використовуються для отримання відповіді на перше питання, розробляються в межах наукового напряму «технічна діагностика», а для пошуку відповіді на друге питання застосовуються методи і засоби підтримки прийняття рішень. У [1] справедливо зазначено, що «...процеси прийняття рішень тільки тоді стають реально працюючими, коли вони набувають чітко визначену послідовність організаційно-технологічних етапів».

Серед значної кількості існуючих методів і засобів контролю та діагностування об'єктів АТ, які застосовуються в процесах їх технічного обслуго-

вування і льотно-технічної експлуатації для управління поточним ТС, найбільш поширеним є постійний параметричний контроль із реєстрацією даних від вбудованих штатних систем із подальшою оцінкою наявності (або відсутності) тренда контрольованих параметрів методами імовірнісної статистики. Прийняття рішення забезпечується шляхом використання авіаперсоналом бортових (магнітна система реєстрації параметрів, бортова автоматизована система контролю, бортовий облік і реєстрація тощо), наземних (типу «Луч», «Аналіз», «Контроль» тощо) або наземно-бортових (типу «Експерт» тощо) систем контролю та діагностування (СКД) для типових об'єктів АТ [2]. Переважна більшість сучасних складних авіаційних об'єктів експлуатації (таких, як авіадвигуни та їх функціональні системи) обладнуються незначною кількістю засобів прямого вимірювання параметрів. Ефективність існуючих штатних СКД і якість аналізу параметричної інформації залишаються на низькому рівні, що приводить до несвоєчасного виявлення несправностей конструктивних вузлів (елементів) цих об'єктів АТ і неможливості оперативного прийняття авіаперсоналом відповідних експлуатаційних рішень. Як наслідок, збільшується кількість відмов і дострокового припинення експлуатації складних кошторисних об'єктів АТ, знижується рівень безпеки польотів повітряних суден.

Мета роботи — вирішення актуальної науково-прикладної проблеми підвищення ефективності штатних систем контролю параметрів і якості аналізу параметричної інформації складних динамічних об'єктів АТ для забезпечення оперативної підтримки прийняття авіаперсоналом експлуатаційних рішень як у польоті, так і в міжпольотний період під час виконання оперативного технічного обслуговування.

МОДЕЛЬ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ

Одним із перспективних шляхів вирішення вказаної проблеми для процесів поточного діагностування складних об'єктів АТ низького рівня контролепридатності й оперативного прийняття рішення — є розробка нових комплексних розрахунково-інформаційних (РІ) методів із глибиною діагностування до конструктивного вузла (елемента), які реалізуються в середовищі гібридних динамічних автоматизованих систем діагностування та підтримки прийняття рішення (АСД ППР). У зв'язку з цим розроблено концептуальну інформаційну модель застосування автоматизованої оцінки поточного ТС складного об'єкта АТ із використанням наземних і бортових АСД ППР (рис. 1) та її аналітичну модель (рис. 2), яка базується на застосуванні нових РІ методів діагностування конструктивних вузлів (елементів) типових складних динамічних об'єктів АТ та інформаційних технологій, що реалізують їх у середовищі АСД ППР типу «Експерт-об'єкт АТ» [3].

На основі цих моделей комплексного інформаційно-аналітичного підходу до процесів діагностування типових складних об'єктів АТ пропонується до реалізації новий універсальний комплексний контрольнорозрахунковий (ККР) метод оперативної оцінки їх поточного ТС, який, на відміну від існуючих імовірнісних методів параметрично-трендового діагностування, забезпечує послідовне комплексне детерміноване визначення виду поточного технічного діагнозу екземплярів об'єктів АТ у цілому і на

поглиблених рівнях (до вузла/елемента) з одночасною пропозицією відповідних технологічних рекомендацій авіаперсоналу з бази знань середовища АСД ППР. Це дозволяє істотно (у декілька разів) підвищити рівень якості аналізу параметричної інформації та знизити тривалість і працездатність процесів діагностування складних динамічних об'єктів без їх конструктивних доопрацювань. Реалізація ККР методу базується на детермінованому системному аналізі параметрів у розширеному діагностичному просторі, яке забезпечується застосуванням робочих алгоритмів аналітичних (багатопараметричних) інформативно-діагностичних моделей (ІДМ) їх робочих процесів, спеціалізованих баз знань авіафахівців, інформативно-пошукових методів ідентифікації поточного ТС кожного екземпляру об'єктів, що діагностуються, методик прогнозування динаміки деградації ТС, автоматизованих індикативних засобів оперативного інформування авіаперсоналу про результати діагностування з наданням йому конкретних технологічних рекомендацій для прийняття експлуатаційних рішень [3–5].

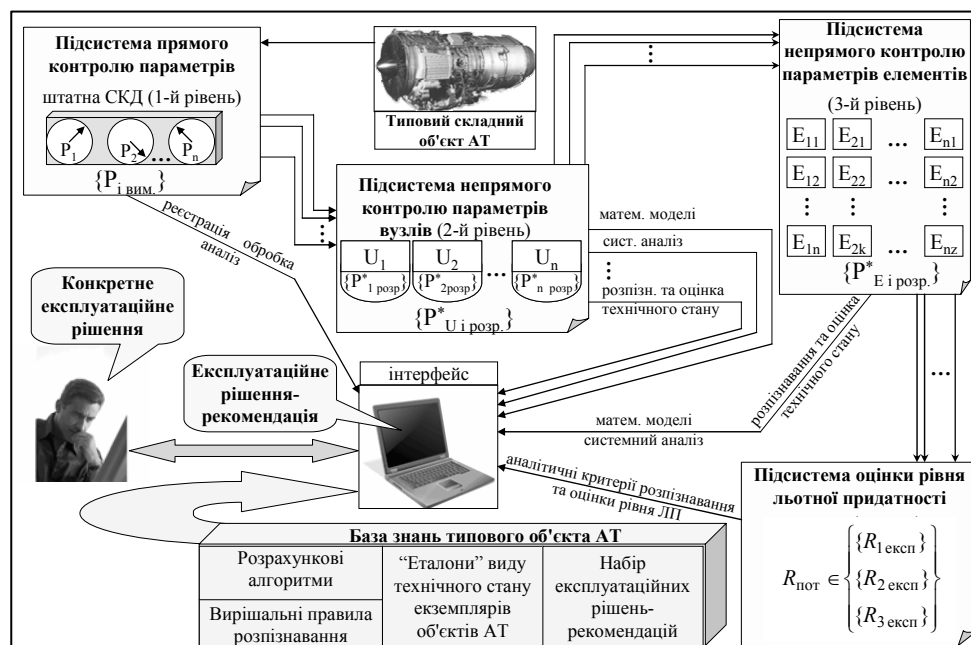


Рис. 1. Концептуальна модель комплексного підходу до вирішення проблеми оперативного поглибленого діагностування складних технічних об'єктів

Особливостями реалізації цього методу на кожному з чотирьох умовних етапів процесу діагностування типового складного об'єкта АТ є (рис. 3).

I етап — формування бази поточних даних екземпляру типового об'єкта АТ у вигляді сукупності $\{P_{i \text{ вим.}}\}$ вимірених і зареєстрованих штатною СКД поточних усереднених значень параметрів та умов зовнішнього середовища на усталеному режимі роботи цього екземпляру об'єкта АТ; приведення вимірених параметрів до стандартних атмосферних умов і діагностичного режиму; подання сукупності $\{P_{i \text{ вим. пр.}}\}$ на вхід бази знань АСД ППР типу «Експерт-об'єкт АТ».

II етап — кардинальне розширення поточної інформативно-діагностичної бази екземпляру об'єкта АТ шляхом реалізації спеціального

розрахункового алгоритму багатопараметричної ІДМ його робочого процесу та формування розширеної поточної сукупності $\{P_{ip}^*\}$ розрахункових параметрів, які характеризують поточний ТС як даного об'єкта АТ у цілому, так і його вузлів (елементів); подання сукупності $\{P_{ip}^*\}$ на вхід блоку порівняння значень параметрів у базі знань АСД ППР.

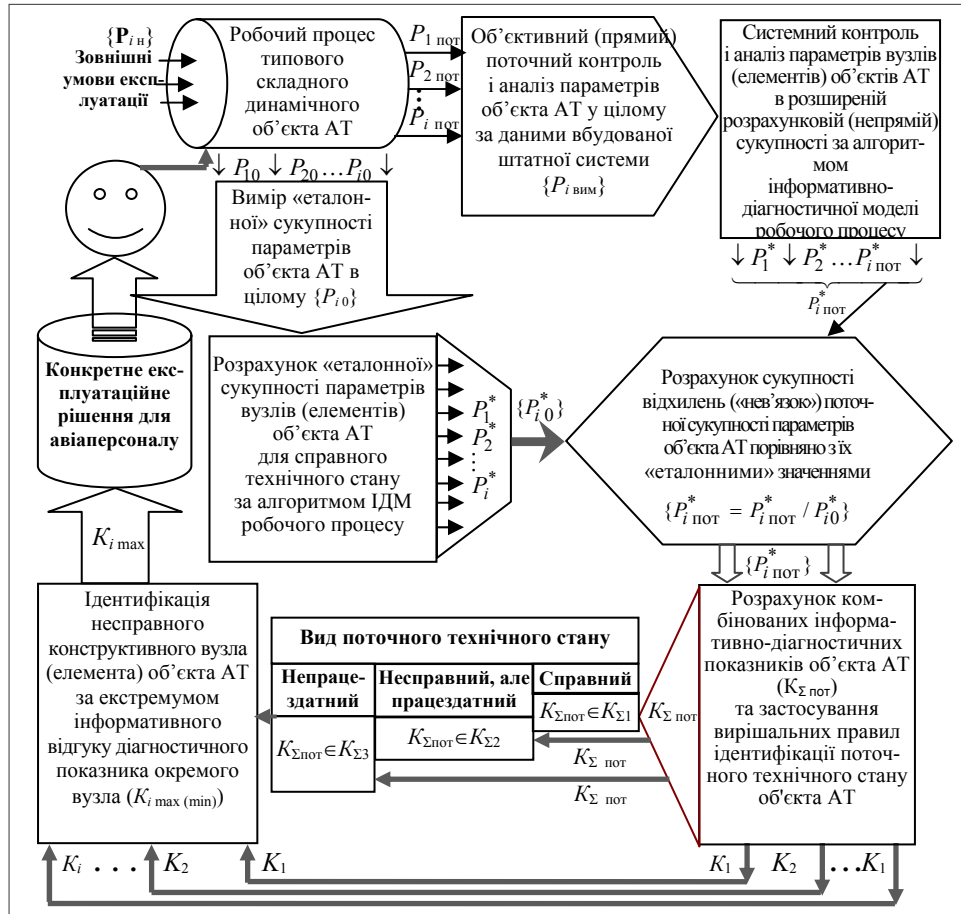


Рис. 2. Аналітична модель застосування комплексного контрольно-розрахункового методу діагностування динамічних об'єктів авіатехніки

III етап — визначення виду поточного технічного діагнозу екземпляра об'єкта АТ шляхом порівняння поточної $\{P_{ip}^*\}$ сукупності значень параметрів із «еталонною» сукупністю $\{P_{i0}^*\}$ тих же параметрів того ж екземпляра об'єкта АТ, які виміряні й розраховані заздалегідь на початку його експлуатації та характеризують його справний ТС і зберігаються в архівному блоці бази знань АСД ППР. Після визначення сукупності відносних відхилень $\{\delta P_i\} = \{P_{ip}^*\} / \{P_{i0}^*\}$, що характеризують наявність або відсутність істотних відхилень параметрів, і застосування спеціальних вирішальних правил визначається як загальний технічний діагноз цього екземпляра об'єкта АТ, так і його оцінка на поглиблених рівнях (до конструктивного вузла / елемента); представлення результатів оцінки поточного діагнозу на вхід блоку експлуатаційних рішень бази знань АСД ППР.

IV етап — визначення експлуатаційного рішення і технологічних рекомендацій авіаперсоналу за результатами оцінки поточного технічного діагнозу шляхом надання спеціального інформаційного повідомлення й набору технологічних операцій, які заздалегідь розроблені для кожного можливого варіанту технічного діагнозу типового об'єкта АТ і зберігаються в архіві бази знань АСД ППР.

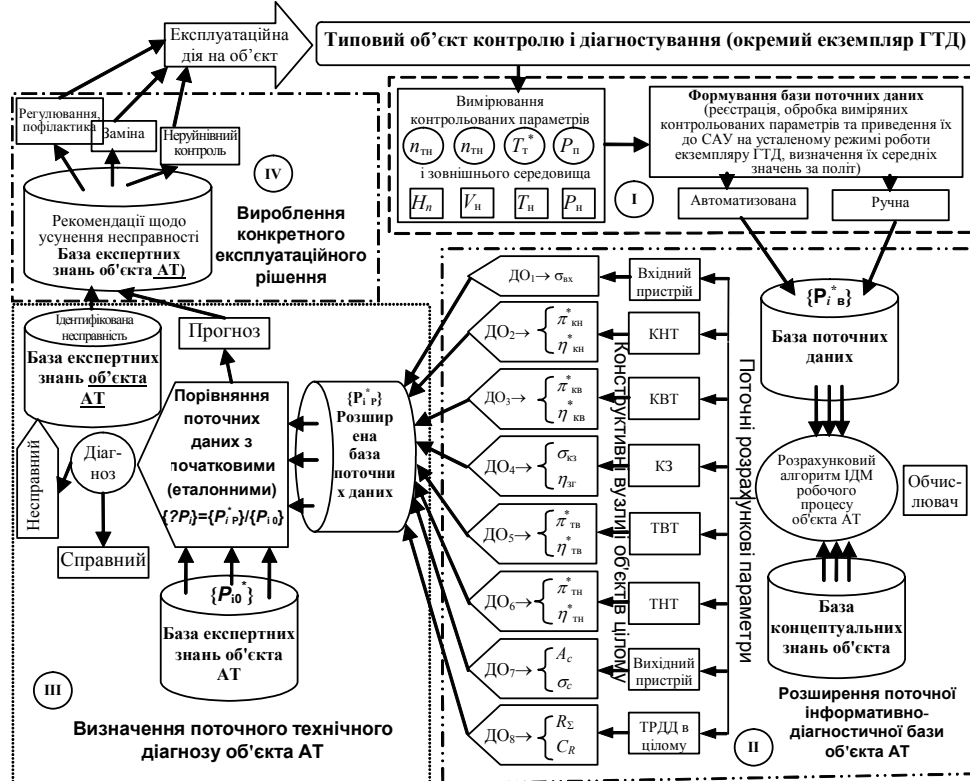


Рис. 3. Модель реалізації комплексного методу діагностування складного динамічного об'єкта АТ (на прикладі авіадвигуна)

Таким чином, принципово більш висока ефективність ККР методу в порівнянні з існуючими полягає в поєднанні сучасних інформаційних технологій у вигляді сформованої бази знань, спеціальних розрахункових алгоритмів, вирішальних правил та їх програмного забезпечення, які реалізуються в середовищі АСД ППР типу «Експерт-об'єкт АТ», із детермінованим інформаційним середовищем штатної СКД екземпляра типового об'єкта АТ. Таке поєднання інформаційних середовищ забезпечує високу оперативність оцінки виду поточного ТС, підтримку прийняття авіаперсоналом рішення і мінімальні працевитрати на процес діагностування складних об'єктів АТ на поглиблених рівнях. Також кардинальне підвищення рівнів параметричної інформативності об'єктів АТ та якості аналізу їх параметрів без істотних конструктивних доопрацювань, а також практичну можливість реалізації їх експлуатації за ТС із контролем параметрів. Однією з основних відмінностей ККР методу від існуючих є застосування методу порівняння ІДМ робочого процесу об'єкта АТ, який знаходиться у справному (еталонному) ТС, із ІДМ робочого процесу цього ж об'єкта, що знаходиться в поточному ТС (рис. 4) [3].

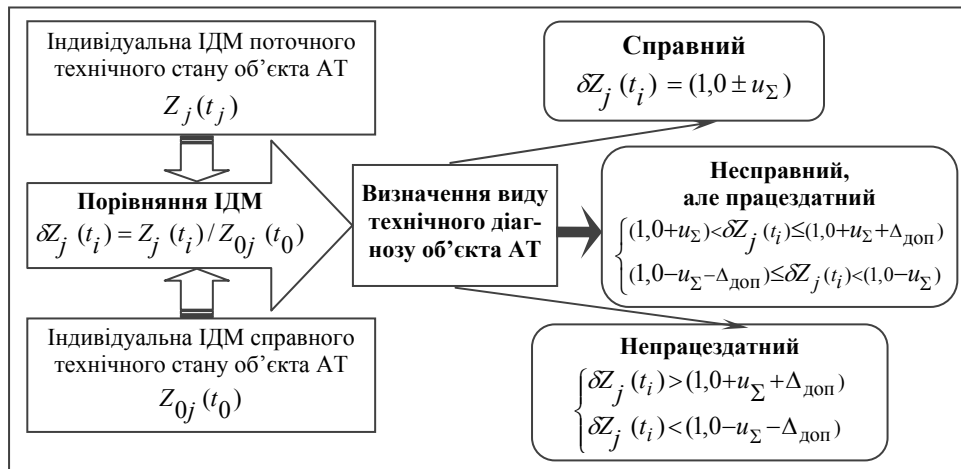


Рис. 4. Модель реалізації комплексного методу діагностування складного динамічного об'єкта АТ (на прикладі авіадвигуна)

Це дає можливість комплексно і більш глибоко, ніж у даний час, контролювати й оцінювати зміни ТС вузлів окремих екземплярів об'єктів АТ без їх конструктивних доопрацювань в умовах реальної експлуатації. Аналітична структура моделі умовного порівняння ІДМ поточного та еталонного ТС має наступний вигляд:

$$\delta Z_j(t_i) = \frac{Z_j(t_i)}{z_{0j}(t_0)} = \delta \varphi_j [\delta x_i + \delta y_i + u_\Sigma] \quad , \text{де } \delta x_i, \delta y_i \text{ —}$$

відповідно відносні відхилення поточних значень вимірюваних і розрахованих контрольованих параметрів об'єкта АТ від їх початкових значень, які відповідають технічним умовам, u_Σ — сумарна похибка вимірювання (розрахунку) i -х параметрів ІДМ.

МОДЕЛІ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ АВАДВИГУНІВ

Виходячи із суті запропонованої моделі реалізації комплексного контрольно-розрахункового методу поточного контролю і оцінки ТС складних динамічних об'єктів АТ, запропоновано функціонально-аналітичну (рис. 5) і структурно-інформаційну моделі автоматизованої системи діагностування та підтримки прийняття рішень типу «Експерт-об'єкт АТ» (рис. 6), які пояснюють процеси взаємодії бази знань і функціонування АСД ППР у процесах діагностування екземплярів об'єктів АТ [3].

При цьому прикладна модель АСД ППР типового об'єкта АТ має задовольняти наступним аналітичним моделям його технічних станів:

- аналітична інформативно-діагностична модель робочого процесу об'єкта АТ для справного (еталонного) технічного стану (ТС):

$$Z_0(t_0) = f(\{X_i = Y_{\text{НОМ}}; t_0\});$$

- аналітична інформативно-діагностична модель робочого процесу об'єкта АТ для несправного ТС:

$$Z_{si}(t_i) = f(\{X_i \geq Y_{\text{max}}; t_i\})$$

або

$$Z_{si}(t_i) = f(\{X_i \leq Y_{\max}; t_i\});$$

• аналітична інформативно-діагностична модель робочого процесу об'єкта АТ для поточного ТС:

$$Z_j(t_j) = f(\{X_j = Y_i; t_i\}) \in \{Z_0(t_0) \text{ або } Z_{si}^*(t_i)\}.$$

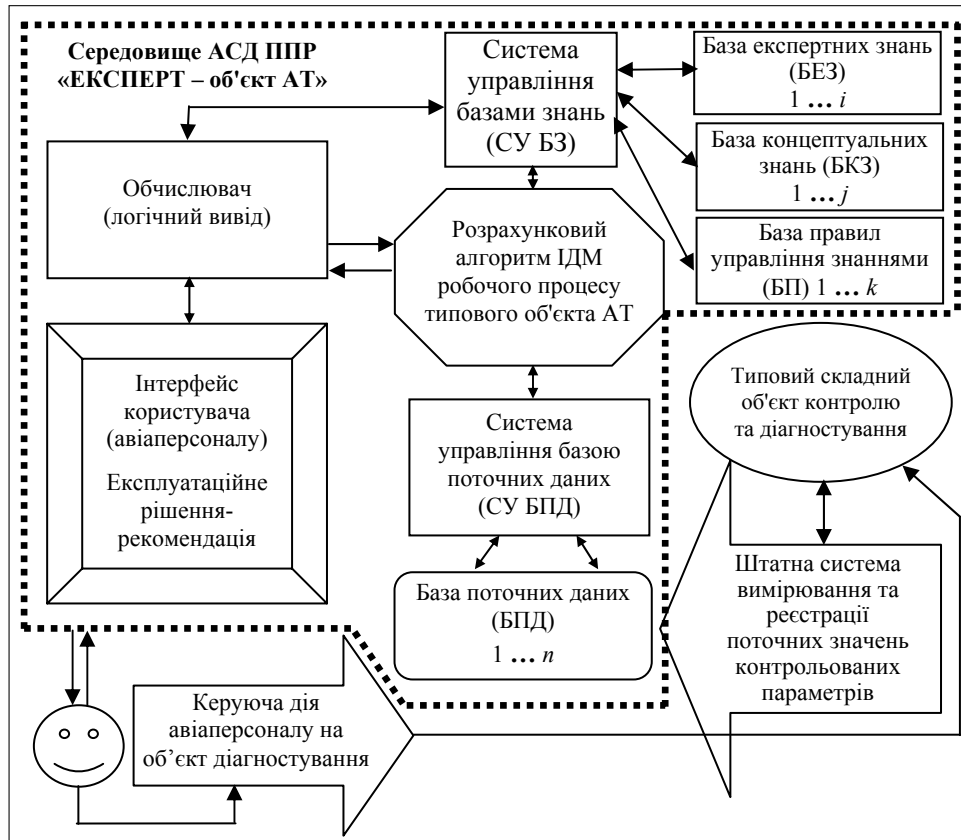


Рис. 5. Функціонально-аналітична модель реалізації комплексного контрольно-розрахункового методу діагностування

Граничні умови:

- множина несправних ТС $\{S_i\}$ об'єкта АТ кінцева:

$$\{S_i\} \in S, i = 1, 2, \dots, |S| \dots;$$

- множина окремих експлуатаційних несправностей $\{O_i\}$ об'єкта АТ кінцева:

$$\{O_i\} \in O, i = 1, 2, \dots, |O| \dots;$$

• забезпечується повна сумісність АСД ППР зі штатною СКД, тобто має місце відповідність бази знань (БЗ), що міститься в середовищі АСД ППР (БЗ_{АСДППР} $\{Y_{\text{НОМ}}; Y_{\text{max}}; Y_{\text{min}}\}$), бази поточних даних (БПД), сформованої штатною СКД типового об'єкта АТ (ББД_{СКД} $\{X_i(t_i)\}$):

$$\text{БЗ}|_{\text{АСДППР}} Y_{\text{НОМ}}; Y_{\text{max}}; Y_{\text{min}} = \text{БДП}|_{\text{СКД}} \{X_i(t_i)\};$$

- всі окремі екземпляри об'єктів АТ, що діагностуються, належать до класу об'єктів безперервної дії, тобто значення контрольованих параметрів і діагностичних ознак об'єктів змінюються за часом їх напрацювання безперервно:

$$\{X_i = f(t_i)\};$$

- рішення-рекомендації для авіаперсоналу з питань експлуатації $\{R_{\text{експ}}(t_i)\}$; під час роботи АСД ППР залежать від значення функціоналу $\{Z_j(t_j)\}$, який оцінює вид поточного технічного стану об'єкта діагностування (тобто, вид його технічного діагнозу):

$$\{R_{\text{експ}}(t_i)\} = f\{Z_j(t_j)\}.$$

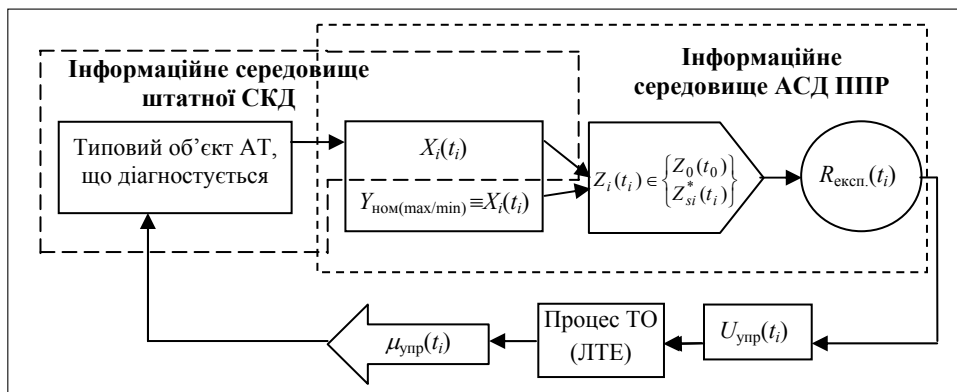


Рис. 6. Структурно-інформаційна модель АСД ППР типу «Експерт-об'єкт АТ»

УМОВИ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ

Для практичного застосування цього методу діагностування потрібно виконати наступні умови:

- визначення Замовником конкретних типів об'єктів АТ, які потребують оперативного діагностування та автоматизованої підтримки прийняття рішення в умовах експлуатації;
- наявність теоретичних і практичних основ побудови спеціалізованих гібридних динамічних автоматизованих систем діагностування складних об'єктів;
- наявність сформованого колективу фахівців-розробників (експертів, інженерів по знаннях і системних програмістів);
- забезпечення фінансової підтримки;
- реалізація прикладних методик синтезу адекватних багатопараметричних інформативно-діагностичних моделей робочих процесів типових об'єктів АТ;
- використання спеціальних методів оперативної ідентифікації виду поточного ТС окремих екземплярів об'єктів діагностування без їх демонтажування;
- застосування сучасного програмного забезпечення для моделювання середовищ спеціалізованих баз знань автоматизованих систем;

- використання новітніх інструментальних засобів обробки і відображення різних видів інформації.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ В СЕРЕДОВИЩІ АСД ППР ТИПУ «ЕКСПЕРТ-ОБ'ЄКТ АТ»

Для апробації комплексного контрольно-розрахункового методу і виконання зазначених умов його реалізації на конкретних складних об'єктах АТ (різно-типових авіадвигунах) розроблено:

- Прикладні методики та розрахункові алгоритми аналітичних ІДМ робочих процесів двоконтурних газотурбінних двигунів [3], в яких використовується повна система нелінійних рівнянь і критеріїв динамічної подібності, що описує параметри на вході й виході кожного конструктивного вузла проточної частини, враховує їх спільну роботу і закони управління на ustalених режимах роботи. Це дозволяє істотно (більш, ніж на порядок) розширити інформативно-діагностичну базу об'єктів АТ низького рівня контролепридатності й дає можливість визначити зміну параметрів вузлів (елементів) у залежності від різновидів можливих експлуатаційних пошкоджень. Працездатність і адекватність ІДМ забезпечується реалізацією методу лінійної оптимізації параметрів із обмеженням за технічними умовами, а їх підтвердження здійснюється шляхом порівняння отриманих результатів аналітичного моделювання з відомими тестовими експериментальними даними за окремими типами авіадвигунів, отриманих в ОКБ їх виробників, а також із даними комплексних експериментальних досліджень, що виконані на натурному газодинамічному стенді типового авіадвигуна.

- Алгоритм реалізації нового виду інформативно-пошукового підходу для оперативного автоматизованого розпізнавання у вигляді комбінованого функціонально-тестового (КФТ) методу ідентифікації [4]. Цей метод, на відміну від існуючих функціональних або тестових методів ідентифікації, базується на використанні послідовної комбінації спеціальних розрахунково-функціональних алгоритмів і вирішальних тестових правил для ідентифікації виду поточного ТС як окремих екземплярів складних об'єктів АТ, які діагностуються в цілому, так і їх конструктивних вузлів. Цей метод реалізовано у вигляді робочих алгоритмів і адаптовано у межах вищерозглянутого ККР методу діагностування об'єктів АТ на чотирьох умовних етапах із застосуванням чітких вирішальних правил на прикладі діагностування типових складних об'єктів АТ (типу авіадвигунів).

- Узагальнений алгоритм вирішення задачі діагностики типових складних динамічних об'єктів АТ до вузла ККР методом у поєднанні з алгоритмами реалізації КФТ методу ідентифікації на прикладах різнотипних двигунів і автоматизований інформативно-діагностичний сигналізатор [5] із варіантами баз знань і програмного забезпечення, які практично реалізують їх у середовищі АСД ППР типу «Експерт-об'єкт АТ» для підтримки прийняття експлуатаційних рішень.

Результати тестової апробації запропонованого методу демонструють його працездатність, достовірність, ефективність і можливість реалізації в реальних умовах експлуатації складних об'єктів АТ на авіапідприємствах. При цьому показано, що використання автоматизованих АСД ППР на всіх етапах процесу оцінки ТС силової установки до конструктивного вузла дозволяє

забезпечити збільшення рівня його оперативності в 3,3 рази (для силової установки Як-40) і в 2,7 рази (для силової установки Іл-76), а рівень якості аналізу параметричної інформації в процесах діагностування таких складних об'єктів АТ підвищується в два рази.

Це призводить до кардинального якісного підвищення рівня параметричної інформативності процесів їх діагностування від існуючого низького до високого рівня без значних економічних витрат і дозволяє в значній мірі знизити показники тривалості й працездатності цього процесу.

ВИСНОВКИ

До переваг розглянутого ККР методу діагностування складних динамічних об'єктів АТ із застосуванням середовищ автоматизованих систем підтримки прийняття рішень варто віднести:

- універсальність застосування методу для різноманітних об'єктів АТ;
- оперативність визначення оцінки поточного технічного стану кожного окремого екземпляру об'єкта АТ, що діагностується, без його демонтажу з повітряного судна в умовах експлуатації з визначенням конкретних технологічних рекомендацій авіаперсоналу для підтримки прийняття експлуатаційного рішення;
- мінімальні працевитрати на технологію діагностування складного об'єкта АТ у цілому і його окремих конструктивних вузлів;
- забезпечення діагностування типових об'єктів АТ на поглиблених рівнях (до конструктивного вузла / елемента);
- кардинальне підвищення рівнів параметричної інформативності, контролепридатності і експлуатаційної технологічності без істотних конструктивних доопрацювань сучасних об'єктів АТ;
- значне підвищення рівнів автоматизації та інформаційного забезпечення процесів діагностування складних динамічних об'єктів АТ;
- практичне забезпечення можливості реалізації стратегії технічного обслуговування об'єктів АТ за технічним станом із контролем параметрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Морозов А.А., Яценко В.А. Ситуационные центры: информационные технологии будущего. — К.: Интертехнодрук, 2008. — 332 с.
2. Бабак В.П., Харченко В.П., Максимов В.О. Безпека авіації — К.: Техніка, 2004. — 584 с.
3. Чоха Ю.М., Кретов В.В. Прикладні автоматизовані системи діагностування та підтримки прийняття експлуатаційних рішень: Методи, моделі, інформаційні технології: монографія. — Київ: Ун-т Україна, 2010. — 488 с.
4. Патент 34671 Україна, МПК G07C 3/00. Спосіб комбінований функціонально-тестовий оперативної оцінки технічного діагнозу газотурбінного двигуна і його конструктивних вузлів проточної частини / Чоха Ю.М. — Опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.
5. Патент 30615 Україна, МПК G07C 3/14. Сигналізатор автоматизований інформативно-діагностичний для оперативної оцінки технічного діагнозу складних динамічних об'єктів технічної експлуатації / Чоха Ю.М. — Опубл. 11.03.2008, Бюл. № 5.

Поступила 15.12.2012