

УДК 629.735.03:681.518.54(045)

ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПОГЛИБЛЕНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ СУЧАСНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В. В. Козлов, канд. техн. наук; Ю. М. Чоха, д-р техн. наук; О. В. Беляєв

Національний авіаційний університет

vladimirvkozlov@yandex.ru

Проаналізовано існуючі методи поточної оцінки технічного стану авіаційних двигунів та визначено шляхи вирішення актуальної науково-прикладної проблеми підвищення ефективності контролю та якості аналізу параметрів.

Ключові слова: повітряне судно, силова установка, газотурбінний двигун, експлуатація, модель, оперативне діагностування, ефективність, контролепридатність.

Analysis of existing methods of on-line diagnostics of gas turbine engines is given. Definition of methods of important scientific and applied problem of parametric control efficiency quality of parametric analysis is described.

Keywords: aircrafts, power plant, gas turbine engine, operation, model, on-line analysis, on-line diagnostics, efficiency, controllability.

Вступ

Постійне вдосконалення конструкції авіаційних силових установок (СУ) сучасних повітряних суден (ПС), до складу яких входить декілька двигунів з функціональними системами, інтенсифікація робочих процесів, що в них відбуваються, значно загострює проблему необхідності підвищення ефективності процесів їх льотно-технічної експлуатації (ЛТЕ) та технічного обслуговування (ТО).

Найважливішу роль при цьому відіграє наявність можливості адекватної оперативної оцінки авіаційними фахівцями поточного технічного стану (ТС) кожного окремого екземпляра авіаційного двигуна і прийняття рішення щодо доцільності його подальшого безпечного використання за призначенням.

Процесами визначення ТС авіаційних СУ, що експлуатуються, і оцінювання динаміки їх деградації під дією різних факторів, зумовлених реальними умовами використання цих складних динамічних об'єктів, займається технічна діагностика.

Основні задачі, які при цьому розв'язуються, зводяться до аналізу конструктивних особливостей і газодинамічних процесів конкретної типової СУ, що діагностується, умов її експлуатації, розроблення і застосування на цій основі конкретних алгоритмів оцінки ТС, методів, моделей, засобів і технологій діагностування, ефективних автоматизованих систем підтримки прийняття експлуатаційних рішень.

Діагностика авіаційних СУ через ряд специфічних особливостей їхньої конструкції та експлуатації має власні характерні відмінності у визначенні взаємодії таких об'єктів з методами і засобами діагностування, тобто в побудові сис-

тем контролю параметрів та їх аналізу в умовах ЛТЕ і ТО. Вивченню цих науково-технічних питань присвячено роботи багатьох авторів, серед яких чільне місце займають дослідження представників наукової школи проф. Л. П. Лозицького [1–7]. Вони вважаються класичними в питаннях розроблення нових методів діагностування сучасних газотурбінних двигунів (ГТД) із застосуванням математичних діагностичних моделей та автоматизованих систем діагностування СУ в умовах експлуатації.

Така увага до проблеми підвищення ефективності діагностування складних динамічних об'єктів авіаційної техніки (АТ) пов'язана насамперед з їх високою функціональною значущістю щодо забезпечення необхідного рівня безпеки польотів ПС і підтримки льотної придатності.

Актуальність і шляхи вирішення науково-прикладної проблеми підвищення ефективності діагностування ГТД

Сучасні авіаційні двигуни та їх функціональні системи належать до складних динамічних технічних об'єктів. Після їх виготовлення та в разі регулярного використання за призначенням (експлуатації) виникає необхідність постійного моніторингу поточного ТС кожного окремого екземпляру АТ і прийняття щодо них конкретних експлуатаційних технічних рішень.

Отже, авіаційному персоналу, що здійснює експлуатацію силових установок будь-якого типу, необхідно шукати відповіді на два традиційні питання: «В якому технічному стані знаходиться конкретний об'єкт АТ?» та «Що дозволяється робити далі з цим об'єктом АТ?». При цьому методи і засоби, що використовуються для отри-

манья відповіді на перше питання, розробляють-ся в межах наукового напрямку «Технічна діагностика», а для пошуку відповіді на друге питання застосовуються методи, засоби і технології підтримання прийняття рішень.

Серед значної кількості існуючих методів та засобів контролю й діагностування СУ, що застосовуються у процесах їх ЛПЕ і ТО для оцінювання й керування поточним ТС, найбільш розповсюдженим є постійний параметричний контроль з реєстрацією даних від вбудованих штатних систем з наступною оцінкою тренду контрольованих параметрів методами ймовірнісної статистики. Збирання та оброблення інформації при цьому забезпечується шляхом використання авіаційним персоналом бортових (типу МСРП,

БАСК, БУР і т.п.), наземних (типу «Луч», «Аналіз», «Контроль» і т.п.) або наземно-бортових (типу EIDS, XMAN, ЕКСПЕРТ і т.п.) систем контролю та діагностування (СКД) для типових об'єктів АТ.

Проте, зважаючи на ту обставину, що переважна більшість сучасних ГТД обладнується незначною кількістю засобів прямого вимірювання параметрів (див. таблицю), ефективність існуючих штатних СКД та якість аналізу параметричної інформації залишається на низькому рівні, що призводить як до несвочасного виявлення несправності конкретного вузла (елемента) цих об'єктів АТ, так і до неможливості оперативного прийняття авіаційним персоналом адекватних експлуатаційних технічних рішень.

Якісний аналіз існуючих рівнів контролепридатності та ступенів автоматизації штатних СКД авіаційних двигунів, що знаходяться в експлуатації на ПС авіакомпаній в Україні та країнах СНД власного виробництва

Тип ПС	Тип ГТД	Кількість контрольованих польотів проточної частини	Рівень контролепридатності	Тип БСРП	Вид статистичної обробки параметрів	Ступінь автоматизації процесу діагностування	Узагальнений рівень параметричної інформативності та контролепридатності сучасних ГТД
			Глибина діагностування				
Ан-12	ТГВД АІ-20М	4	Низький	МСРП-12-96	Вручну	Низький	<p>Узагальнений рівень параметричної інформативності та контролепридатності сучасних ГТД</p> <p>98%</p> <p>■ низький ■ підвищений</p>
Ан-24	ТГВД АІ-24	4	Низький	МСРП-12-96	Вручну	Низький	
Ан-26			Низький	Борт. картка			
Ан-140	ТГВД ТВ3-117СБМ-1	6	Низький	БУР-92	Вручну	Низький	
Ан-148	ТРДД Д-436Т1(ТП)	10	Підвищений	БУР-148	ТЕСТЕР-М	Низький	
Ан-124	ТРДД Д-18Г	10	Підвищений	БАСК-124	ТЕСТЕР-М	Низький	
Ан-225	ТРДД НК-32	8	Низький	СКСУ-32	МСРП-256	Низький	
Ан-70	ТГВД Д-27	14	Підвищений	БСКД-27М-41	ТЕСТЕР-М	Підвищений	
Як-40	ТРДД АІ-25	4	Низький	МСРП-12-96	Вручну	Низький	
Як-42	ТРДД Д-36	6	Низький	МСРП-64-2	Дуч-84	Низький	
Іл-76	ТРДД Д-30КП	5	Низький	МСРП-64-2	Дуч-84	Низький	
Іл-86	ТРДД НК-86	8	Низький	МСРП-256	Аналіз-86	Низький	
Іл-62М	ТРДД НК-84	6	Низький	МСРП-64-2	Вручну	Низький	<p>Узагальнений ступінь автоматизації процесу діагностування (прийняття експлуатаційного рішення) авіаційних ГТД</p> <p>99.9%</p> <p>■ низький ■ підвищений</p>
Ту-134	ТРДД Д-30КУ	5	Низький	МСРП-64-2	Дуч-74	Низький	
Ту-154	ТРДД НК-8-2У	5	Низький	МСРП-64-2	Контроль-8-2У	Низький	
Мі-2	ТВаД ГТД-350	4	Низький	Борт. картка	Вручну	Низький	
Мі-81	ТВаД ТВ3-117А	4	Низький	САРП-12	Вручну	Низький	
Мі-26	ТВаД Д-136	6	Низький	МСРП-256	ТЕСТЕР-У-2М	Низький	
Ту-204	ТРДД ПС-90А	16	Підвищений	МСРП-А-02	Диагноз-90	Підвищений	
			Підвищений	Автоматиз.	Автоматиз.		

Наслідком цього є збільшення кількості відмов і дострокового припинення експлуатації авіаційних двигунів (рис. 1) та зниження рівня безпеки польотів ПС.

При цьому методи діагностування ГТД за вимірними у польоті параметрами [1; 2; 3] забезпечують глибину їхнього діагностування лише

на першому рівні, тобто СУ в цілому, без оцінювання ТС вузлів та елементів проточної частини ГТД та їх функціональних систем.

Тому особливо важливим і актуальним питанням для авіаційної галузі є вирішення науково-прикладної проблеми підвищення ефективності контролю параметрів та якості аналізу па-

параметричної інформації шляхом створення теоретичних основ підтримання прийняття рішень щодо оперативного поглибленого діагностування сучасних силових установок, які за допомогою автоматизованих засобів і технологій забезпечують підтримку прийняття авіаційним персоналом неквазіважних експлуатаційних технічних рішень як в льототі, так і в міжпольотний період при виконанні ТО.

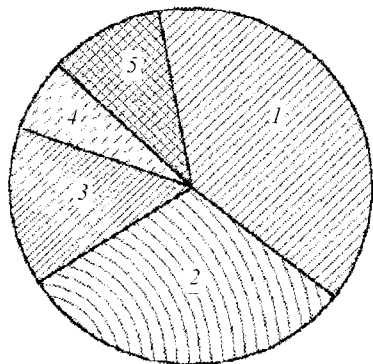


Рис. 1. Розподіл типових експлуатаційних несправностей сучасних ГТД, що знаходяться в експлуатації на ПС в Україні:

- 1 — погіршення характеристик вузлів проточної частини;
- 2 — прогари камери згоряння і соплових апаратів турбін, закоксованість робочих форсунок;
- 3 — механічні uszkodження проточної частини;
- 4 — розбандажування робочих лопаток перших ступенів компресорів;
- 5 — руйнування деталей підшипників опор роторів і приводів агрегатів

Постійна деградація ТС вузлів та елементів СУ робить актуальним забезпечення реалізації автоматизованого моніторингу їх поточного рівня льотної придатності протягом усього періоду використання за призначенням.

Можливий шлях вирішення зазначеної науково-прикладної проблеми без суттєвих конструктивних доопрацювань СУ подано на рис. 2.

Модель реалізації комплексного підходу до вирішення актуальної науково-прикладної проблеми діагностування ГТД

Відповідно до вимог міжнародних стандартів групи ISO-9000-2000 та ICAO SARPS стосовно забезпечення високих рівнів інформатизації, якості, автоматизації та ефективності поточного контролю й оцінювання ТС об'єктів АТ та своєчасного інформування про наявність несправності як в умовах ЛТЕ, так і при наземному ТО все більшого поширення знаходить використання якісно нових технологій, що ґрунтуються на теорії інженерії знань, аналітичного моделювання робочих процесів, застосування генетичних алгоритмів підтримки прийняття рішень.

Отже, розвиток сучасних автоматизованих інформативно-діагностичних систем продиктований часом, особливо коли це стосується таких складних динамічних об'єктів контролю і діагностування, як авіаційні двигуни.

Їх розроблення й впровадження дозволяє практично реалізувати принципову можливість автоматизованого інформування авіаційного персоналу про виникнення несправностей СУ за рахунок своєчасного виявлення передвідмовних станів і вироблення відповідних рішень-рекомендацій щодо своєчасного їх усунення або локалізації.

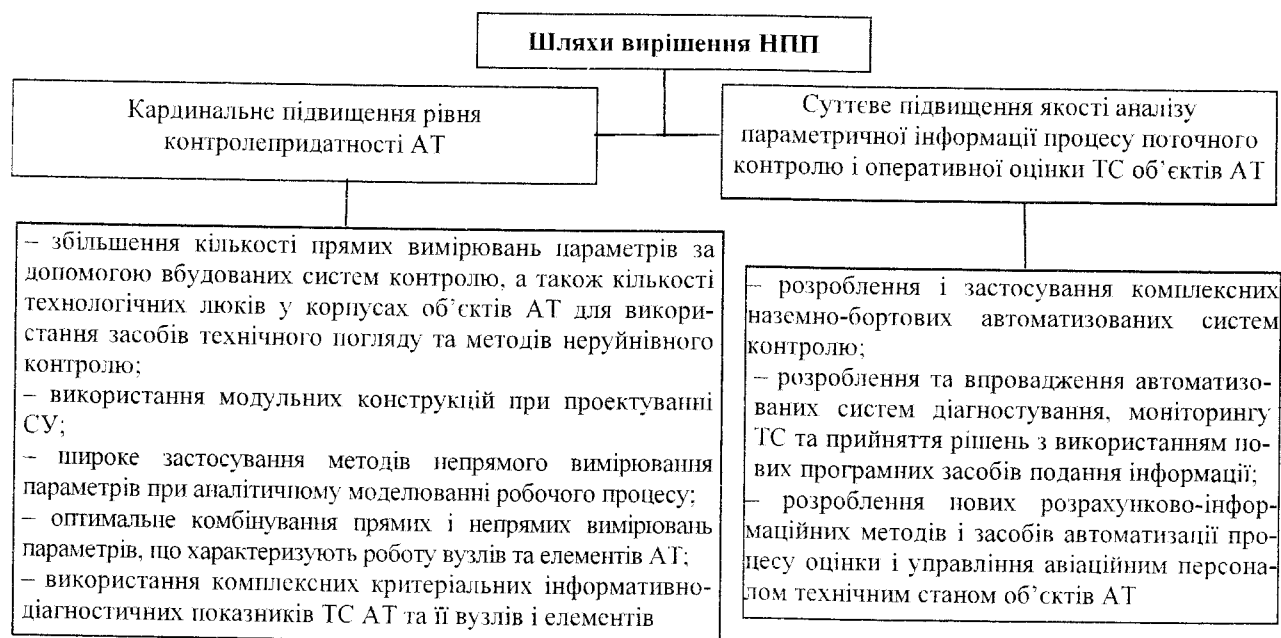


Рис. 2. Шляхи вирішення поставленої науково-прикладної проблеми

Одночасно це забезпечує високий рівень параметричної інформативності й оперативності здійснення процесів управління ТС окремих екземплярів ГТД, що діагностуються, за рахунок більш повної оцінки їх індивідуальних особливостей.

Оцінка застосування зазначеного підходу показує можливість досягнення значного підвищення (на 50–80 %) ефективності використання авіаційних об'єктів експлуатації та рівня безпеки польотів при суттєвому зниженні (на 30–60 %) витрат на їх ТО [1; 3; 4].

Сучасні методи, засоби та технології контролю і діагностування ГТД у цілому забезпечують управління їх ТС у процесі ЛТЕ і ТО шляхом постійного прямого вимірювання параметрів контролю, що характеризують режими їх роботи, здійснення поточного оцінювання ТС цих об'єктів і прийняття авіаційним персоналом відповідних експлуатаційно-технологічних рішень, які реалізуються ним на конкретних екземплярах ГТД протягом усього періоду регулярної експлуатації.

Але такий підхід не дозволяє в повному обсязі забезпечити підтримку льотної придатності СУ, а отже, і підтримку заданих рівнів їх надійності та безпеки польотів. Саме тому питанням удосконалення методів і засобів контролю і діагностування авіаційних СУ присвячено виконання значної кількості науково-технічних робіт [4].

Проте недостатня увага приділяється питанням розроблення і впровадження нових методів синтезу розрахунково-інформаційних алгоритмів контролю параметрів, розширенню інформативно-діагностичної бази штатних СКД без їх конструктивних доопрацювань, технологіям оперативної оцінки поточного ТС глибиною до вузла, елемента, вибору ефективних засобів подання діагностичної інформації авіаційного персоналу й забезпечення високого рівня автоматизації й оперативності здійснення процесів прийняття експлуатаційних технічних рішень, забезпеченню практичної реалізації стратегії експлуатації ГТД за технічним станом з контролем рівня параметрів.

Крім того, існуючі експлуатаційні методики діагностування авіаційних СУ за вимірюваними в польоті параметрами досить громіздкі, неоперативні і не повною мірою враховують комплексний вплив експлуатаційних факторів на динаміку деградації ТС кожного екземпляру двигуна, який діагностується.

Це зумовлено, насамперед, низьким рівнем контролепридатності та параметричної інформативності переважної більшості СУ, які експлуатуються на ПС авіаційних компаній України та

країн СНД, і низьким ступенем автоматизованого інформаційного забезпечення процесів управління їх ТС. До того ж однією з причин, що обмежувала можливість використання нових аналітичних методів оцінки ТС, підтримки прийняття рішень та сучасних інформаційних технологій, які їх реалізують, була відсутність на більшості ПС автоматизованих бортових СКД на базі мікроелектронних обчислювальних машин.

Тому введення в експлуатацію ПС з сучасними засобами об'єктивного контролю параметрів, обладнаними електронними системами збору і обробки діагностичної інформації, а також наявність автоматизованих робочих місць з ПЕОМ в авіакомпаніях, відкривають реальні перспективи впровадження нових розрахунково-інформаційних методів оперативного поглибленого діагностування ГТД, технологій та індикативних засобів раннього інформування про виникнення несправностей вузлів та елементів СУ та забезпечення реалізації стратегії експлуатації за технічним станом з контролем рівня параметрів або з контролем рівня льотної придатності [4].

Отже, особливо важливим і актуальним питанням для авіаційної галузі є вирішення вищезазначеної науково-прикладної проблеми (НПП) діагностування ГТД.

У зв'язку з цим пропонується методологічна модель реалізації комплексного розрахунково-інформаційного підходу до вирішення поставленої НПП (рис. 3), який передбачає розроблення нових автоматизованих систем діагностування на основі бази знань, логічних аналітичних методів, методик, моделей та індикативних засобів, що реалізуються за допомогою сучасних аналітичних технологій інженерії знань, їх апробацію і оцінку ефективності на конкретних типах ГТД, що знаходяться в експлуатації, без суттєвих конструктивних доопрацювань.

Висновок

Розроблення і впровадження принципово нових інформативно-діагностичних автоматизованих систем контролю, діагностування і підтримки прийняття експлуатаційних рішень різнотипних авіаційних силових установок дозволяє кардинально розширити можливості реалізації нових аналітичних методів, моделей і технологій їх оперативного поглибленого діагностування для забезпечення ефективного управління авіаційним персоналом їх технічним станом, ідентифікації на ранніх стадіях розвитку характерних експлуатаційних пошкоджень вузлів та елементів проточної частини ГТД та функціональних систем, а також застосування нових інструментально-технологічних засобів профілактики і усунення ідентифікованих несправностей силових установок.

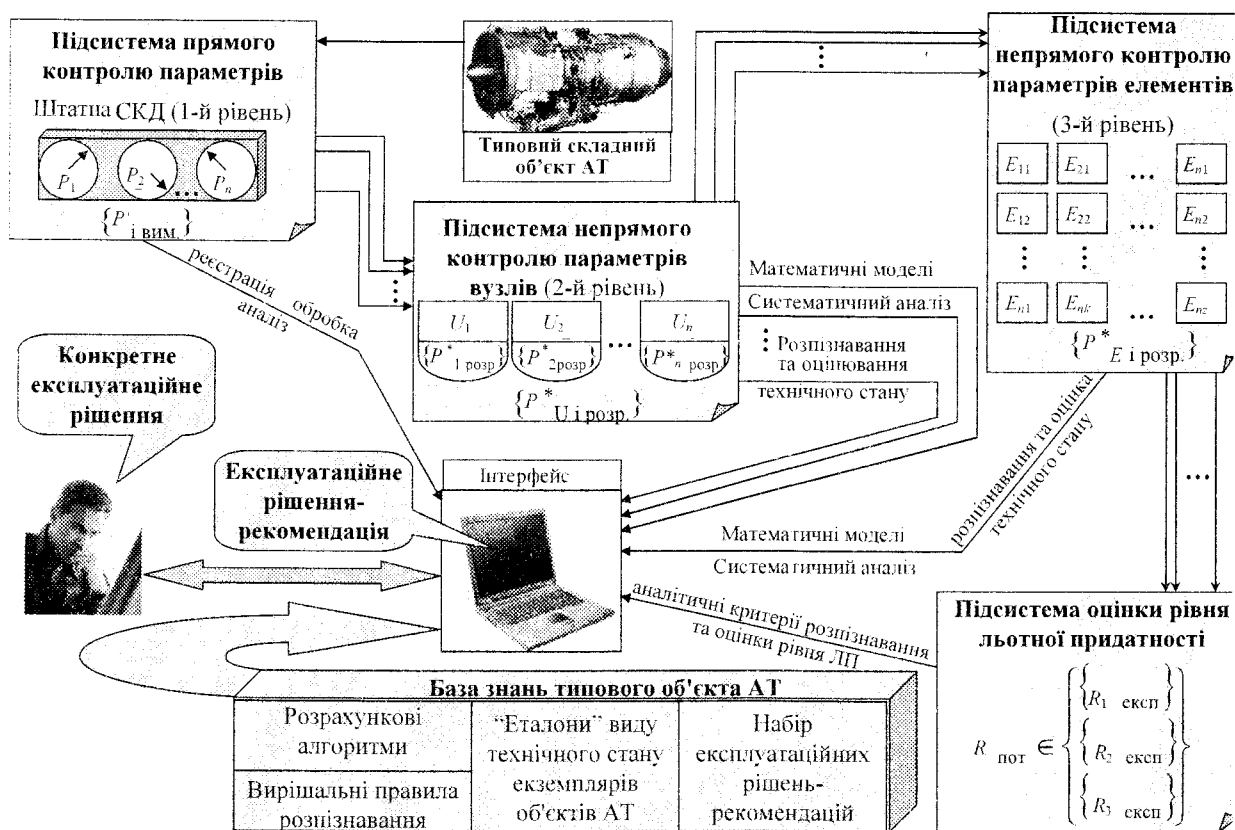


Рис. 3. Методологічна модель реалізації комплексного підходу для вирішення проблеми оперативного поглибленого діагностування ТС ГТД

ЛІТЕРАТУРА

1. Лозицкий Л. П. Оценка технического состояния авиационных ГТД / Л. П. Лозицкий, А. К. Янко, В. Ф. Лаишов. — М. : Транспорт, 1982. — 160 с.
2. Лозицкий Л. П. Автоматизированная система диагностирования ГТД АСД «Контроль-8-2У» / Л. П. Лозицкий, М. Д. Авдошко, И. И. Марченко. — К. : КИИГА, 1986. — 230 с.
3. Кулик Н. С. Параметрические методы оценки технического состояния ГТД в эксплуатации / Н. С. Кулик. — К. : КИИГА, 1993. — 139 с.
4. Козлов В. В. Экспериментальное исследование влияния эксплуатационных факторов на потери в плоской турбинной решетке профилей / В. В. Козлов, В. А. Конев, С. А. Дмитриев, С. Н. Демкович // Проблемы управления техническим состоянием авиационных двигателей: Межвуз. сб. научн. тр. — К. : КИИГА, 1992/1993. — С. 20–23.
5. Козлов В. В. Исследование влияния забоин на характеристики плоской охлаждаемой турбинной

решетки / С. А. Дмитриев, Н. С. Кулик, В. В. Козлов // Обеспечение надежности авиационных двигателей в эксплуатации : Сб. научн. тр. — К. : КИИГА, 1993. — С. 40–43.

6. Козлов В. В. Математичне моделювання робочого процесу турбореактивного двигуна / Н. С. Кулик, В. В. Козлов, В. В. Пуляевський, С. О. Осадчий. // Вісник Національного авіаційного університету. — 2001. — № 3(10). — С. 5–9.

7. Козлов В. В. До оцінювання технічного стану осевих компресорів газотурбінних ГПА / В. В. Козлов, Л. Г. Волянська, С. О. Осадчий, С. В. Ізбаш // Нафтова і газова промисловість. — 2002. — № 3. — С. 32–34.

8. Чоха Ю. М. Прикладні автоматизовані системи діагностування та підтримки прийняття експлуатаційних рішень: Методи, моделі, інформаційні технології : монографія / Ю. М. Чоха, В. В. Кретов. — К. : Ун-т Україна, 2010. — 488 с.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2012