

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



В І С Н И К

ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

ВИПУСК 3

***BULLETIN OF ENGINEERING ACADEMY
OF UKRAINE***

Issue 3

**ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE**

Журнал друкує статті науковців вузів та установ України, інших країн відповідно до рубрик:

Авіаційна і космічна техніка
Військово-технічні проблеми
Геологія, видобування та переробка корисних копалин
Інженерні проблеми агропромислового комплексу
Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування
Матеріалознавство
Машинобудування
Медична інженерія
Металургія
Охорона навколишнього середовища (інженерна екологія) і ресурсозбереження
Стандартизація, метрологія і сертифікація
Будівництво та будіндустрія
Технологія легкої промисловості
Технологія харчової промисловості
Хімічні технології й інженерна біотехнологія
Економіка, право та керування в інженерній діяльності
Енергетика
Освіта та виховання

Journal submits articles of researchers of universities and institutions of Ukraine and other countries in accordance with headings:

Aviation and Space Engineering
Military-technical problems
Geology, Mining and Processing of Minerals
Engineering Problems of Agroindustrial Complex
Information systems , computers and electronic equipment , communication systems and instrumentation
Material Science
Mechanical Engineering
Medical Engineering
Metallurgy
Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving
Standardisation, Metrology and Certification
Building and Construction Engineering
Technology of Light Industry
Technology of Food Industry
Chemical Technologies and Engineering Biotechnology
Economics, law and management in engineering
Energetics
Education and training

Матеріали друкуються українською, російською або англійською мовами.

Materials are submitted in Ukrainian, Russian or English languages.

Номер затверджено на засіданні Вченої ради Кіровоградського національного технічного університету

The issue is approved at the meeting of Academic Council of Kirovograd National Technical University

Протокол № 1 від 24.09.2018р
Вісник Інженерної академії України включений у новий Перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук в галузі технічних наук (Наказ МОН України від 13.07.2015р. №747)

Protocol No.1 dated 24.09.2018
Bulletin of Engineering academy of Ukraine is included into the new List of Scientific special editions of Ukraine, in which results of dissertation works may be published for to be conferred with academic degrees of doctor and candidate of sciences in the field of engineering sciences (Decree of Ministry Education and Science of the Ukraine No.747 dated 13.07.2015)

Співзасновники:
Кіровоградський національний технічний університет
Інженерна академія України
Одеська державна академія технічного регулювання та якості

Cofounders:
Kirovograd National Technical University
Engineering Academy of Ukraine
Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

Редакційна колегія:

Головний редактор – д.т.н., проф. **В.П. Квасніков**
Відповідальний секретар – к.т.н. **В.І. Савченко**
Редактор – **П.П.Дубина**

Члени редколегії:

А.І. Бабушкін - д.т.н., проф. (авіаційна і космічна техніка),
Л.Р. Вишняков – д.т.н.(матеріалознавство),
Р.Б. Гевко - д.т.н., проф. (машинобудування),
В.Л. Дикань - д.т.н., проф. (економіка, право та управління в інженерній діяльності),
В.В. Древецький - д.т.н., проф. (інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування),
Ігор Емри - доктор, проф. (директор Інституту стійких інноваційних технологій, Словенія),
М.Ю. Ізбаш - д.т.н., проф. (будівництво і будіндустрія),
Л.В. Коломісць – д.т.н., проф.. (стандартизація, метрологія і сертифікація),
В.І. Литвиненко - д.х.н. (хімічні технології та інженерна біотехнологія),
А.П. Мельник - д.т.н., проф. (нафтогазові тех..ї),
В.М. Мельник - д.т.н., проф. (геологія, добування та переробка корисних копалин),
Й.С. Мисак - д.т.н., проф. (енергетика),
О.О. Панасенко - д.т.н., проф. (водне господарство і гідротехніка),
В.В. Соловей - д.т.н., проф. (охорона навколишнього середовища і ресурсозбереження),
В.І. Ступа - д.т.н., проф. (технологія легкої промисловості),
О.К. Тришин - академік УААН, д.с/г.н., проф. (інженерні проблеми АПК),
М.І. Хвисьюк - д.м.н., проф. (медична інженерія),
О.І. Черевко - д.т.н., проф. (технологія харчової промисловості),
М.І. Черновол – член-кор. УААН, д.т.н., проф. (матеріалознавство),
С.Л. Ярошевський - д.т.н., проф. (металургія).

Editorial board:

Editor-in-chief – Dr. of Eng., Prof. **V.P. Kvasnikov**
Executive secretary – Cand.of Eng. **V.I. Savchenko**
Editor – **P.P.Dubyna**

Members of editorial board:

A.I. Babushkyn – Dr. of Eng., Prof. (Aviation and Space Engineering),
L.R. Vyshniakov - Dr. of Eng (Material Science),
R.B. Gevko – Dr. of Eng., Prof. (Mechanical Engineering),
V.L. Dykan' - Dr. of Eng., Prof.(Economics, law and management in engineering),
V.V. Drevets'kyi - Dr. of Eng., Prof. (Information systems , computers and electronic equipment , communication systems and instrumentation),
Ihor Emri – Dr., Prof. (Director of the Institute of sustainable innovative technologies, Slovenia),
M.Yu. Izbash - Dr. of Eng., Prof.(Building and Construction Engineering),
L.V. Kolomiets – Dr. of Eng., Prof. (Standardisation, Metrology and Certification),
V.I. Lytvynenko – Dr. of Chem. (Chemical Technologies and Engineering Biotechnology),
A.P. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Oil-and-Gas Technologies),
V.M. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Geology, Mining and Processing of Minerals),
I.S. Mysak – Dr. of Eng., Prof. (Power Engineering),
O.O. Panasenko – Dr. of Eng., Prof. (Water management and hydraulic engineering),
V.V. Solovey – Dr. of Eng., Prof. (Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving),
V.I. Stupa – Dr. of Eng., Prof. (Technology of Light Industry),
O.K. Tryshyn - academician of UAAS, Dr. of agriculture, Prof. (Engineering Problems of Agroindustrial Complex),
M.I. Khvysuk – Dr. of Med., Prof. (Medical Engineering),
O.I.Cherevko - Dr. of Eng., Prof. (Technology of Food Industry),
M.I. Chernovol – A corresponding-member of UAAS, Dr. of Eng., Prof. (Material Science),
S.L. Yaroshevsky – Dr. of Eng., Prof. (Metallurgy).

Підписано до друку 27.09.2018р.

Ціна договірної

Адреса редакції: просп. Космонавта Комарова, 1,
корп. 11, кімн. 402, м. Київ, 03680, Україна

Тел.: +38(044)406-71-58

E-mail: kvp@nau.edu.ua

Signed for printing on 27.09.2018р.

Agreed price

Address of Editorial Staff: Cosmonaut Komarov St., 1,
build. 11, 402 room, Kyiv, 03680, Ukraine

Тел.: +38(044)406-71-58

E-mail: kvp@nau.edu.ua

Зміст

Авіаційна і космічна техніка

Е. Bezvesilnaya, S. Nechai	7
ANGLE MEASUREMENT DEVICE FOR POSTING THE SENSITIVITY AXIS OF AVIATION GRAVIMETER.	
В.М. Азарсков, Дивнич В.М.	15
ЛАЗЕРНИЙ ВИМІРЮВАЧ ДВОХ КОМПОНЕНТ ВЕКТОРА ШВИДКОСТІ АЕРОГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ	
О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук, В.М. Зайцев, О.А. Іващенко,	19
СПОСОБИ РОЗМІЩЕННЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ГРАВІМЕТРА АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ.	
О. М. Безвесільна, В.П. Квасніков, О. Чепюк,	25
ВІБРАЦІЙНИЙ ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЛЕГКИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН.	
В.И. Бурлаков, В.А. Максимов, А.В. Попов, Д.В. Попов, В.Е. Зимин	32
ОБЕСПЕЧЕННЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ.	
Н.С. Кулик, В.В. Панин, А.Д. Донец, "Л.Г. Волянская	39
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГИ ДВУХКОНТУРНЫХ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
В. Ю. Усенко	47
ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ШУМУ ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА.	

Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування

О.А. Балтовський, І.А. Белека, К.В. Пономаренко, Р.Г. Статкін	52
МЕТОДИКА АНАЛІЗУ СХЕМ ЦИФРО-АНАЛОГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТРИЦЬ ГІБРИДНОГО ТИПУ.	
І.А. Дичка, М.В. Онай, О.І. Ролік	56
МОДИФІКОВАНІ МЕТОДИ АПАРАТНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЇ РЕДУКЦІЇ ЗНАЧЕНЬ ВЕЛИЧИН У СКІНЧЕННОМУ ПОЛІ $GF(P)$.	
С.І.Тараненко О.О. Яковенко Н.І. Кушніренко О.Є. Плачінда	64
МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ЗЛОВМИСНОЇ АКТИВНОСТІ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ВЕКТОРНОГО АНАЛІЗУ СЕСІЇ.	
Т.В. Бабенко І. І. Пархоменко Р.В. Зюбіна Д.В. Палко	71
ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ТА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ	
Ю.М.Кеменяш, В. С. Дем`янюк, Б. В. Нижник	76
ХИБНІ УЯВЛЕННЯ ТА СПОСОБИ ОБМАНУ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.	
О.Р. Кульчицький, Т.М. Локтікова, А.В. Морозов, О.С. Іщенко	82
СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КОНФІГУРУВАННЯ ТЕЛЕМЕХАНІЧНИХ ЗАСОБІВ SCADA – СИСТЕМИ	
І.А. Жирякова, В.А. Чубенко	89
ГІБРИДНИЙ МЕТОД СТЕНОГРАФУВАННЯ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	
І.А. Жирякова, Я.В. Медведенко	96
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИБОРУ ІГРОВОЇ СТРАТЕГІЇ КОМП'ЮТЕРНИМ БОТОМ	

Матеріалознавство

- В.О. Онищенко, Ю.Л. Винников, В.Д. Макаренко, О.О.Петренко, А.М.Ногіна, І.М.Чеботар** 103
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ І ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗНЕЦНЕННЯ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ ОХОЛОДЖУЮЧИХ СИСТЕМ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УМОВАХ БРОДИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА
- В.Г.Паращанов** 110
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ

Машинобудування

- С.М. Лісовець, С.В. Барилко, В.Г. Здоренко, І.Л. Ківа,** 115
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМ РОБОТОМ МП-9С З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛК110-32.P
- А.Л. Передерко** 120
ПІДВИЩЕННЯ ЛІНІЙНОСТІ ІНТЕГРАТОРІВ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ
- Д.О. Шевчук, В.С. Гасиджак, І.В. Прохоренко, С.М. Гальченко, Н.А. Тимошенко** 124
АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ГТД У ПРОЦЕСІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Медична інженерія

- В.А. Темников, Е.Л. Темникова, А.В. Темников** 129
АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ В ТЕЧЕНИЕ РАБОЧЕЙ СМЕНЫ

Охорона навколишнього середовища (інженерна екологія) і ресурсозбереження

- С.В. Кононцев, Л.А. Саблій, Ю.Р. Гроховська, М.С. Коренчук** 133
КОМПЛЕКСНЕ ОЧИЩЕННЯ ОБОРОТНОЇ ВОДИ УЗВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ АКВАПОНІКИ
- В.В. Коніщук, С.І. Коваль, М.Х. Шершун, Н.М. Мельник** 137
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ЗА ПРАВОПОРУШЕННЯ В ГАЛУЗІ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА
- В.В. Коніщук, С.І. Коваль, М.Х. Шершун, Н.М. Мельник** 143
РЕАЛІЗАЦІЯ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ У СФЕРІ ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
- А.П. Сафоник, В.В. Жабчик, І.М. Грицюк** 148
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРЕДОВИЩА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЙНОЇ ОЧИСТКИ РІДИНИ

Стандартизація, метрологія і сертифікація

- В.П. Квасніков, А.В. Рудик, В.А. Рудик, М.І. Матей** 153
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ
- В.А. Мащенко, Квасніков В.П.,** 161
КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ІМЕРСІЙНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ ПОШИРЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ
- Д.П. Орнатський, В.В. Довгань, В.П. Квасніков, Д.В. Нікітенко** 166
РОЗРОБКА АНАЛОГОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ З ПОКРАЩЕНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ
- Петров Юрій Іванович** 170

Д.О. Шевчук, д-р. техн. наук, с.н.с.

В.С. Гасиджак, канд. техн. наук

І.В. Прохоренко, канд. техн. наук

С.М. Гальченко, канд. техн. наук

Н.А. Тимошенко, канд. техн. наук

АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ГТД У ПРОЦЕСІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Національний авіаційний університет, do@nau.edu.ua

УМГ «Прикарпаттрансгаз»

Наведено основні вимоги до газотурбінного двигуна (ГТД), що визначають його ефективність функціонування. Запропоновано алгоритм синтезу інтелектуальної системи діагностування та керування ГТД у процесі його експлуатації. Наведено узагальнений функціонал якості, що забезпечує оптимальне курування ГТД у процесі його експлуатації.

Ключові слова: газотурбінний двигун, інтелектуальна система, система діагностування, технічний стан.

Вступ

Газотурбінні двигуни (ГТД) знайшли широке застосування в авіації, енергетиці, наземному й морському транспорті, а також у газовій галузі, завдяки цілому ряду їх переваг над іншими типами установок. В експлуатаційних умовах важливим завданням є визначення дійсних характеристик ГТД і установок, які змінюються з різних причин, для оцінки їх технічного стану, оптимальних режимів роботи й рівня завантаженості. Газотурбінний двигун – складна динамічна система (ДС), що складається з безлічі взаємодіючих елементів і підсистем. У міру вдосконалення конструкції й підвищення контролепридатності ГТД скорочується відсоток вузлів і агрегатів, що експлуатуються "за ресурсом", і збільшується число тих, які експлуатуються за прогресивними стратегіями. Ефективність експлуатації ГТД зв'язана, головним чином, з підвищенням їх надійності, збільшенням ресурсу, зниженням витрат на ТО і Р [1]. Основні вимоги до ГТД, що визначають його ефективність функціонування, показані на рис. 1.

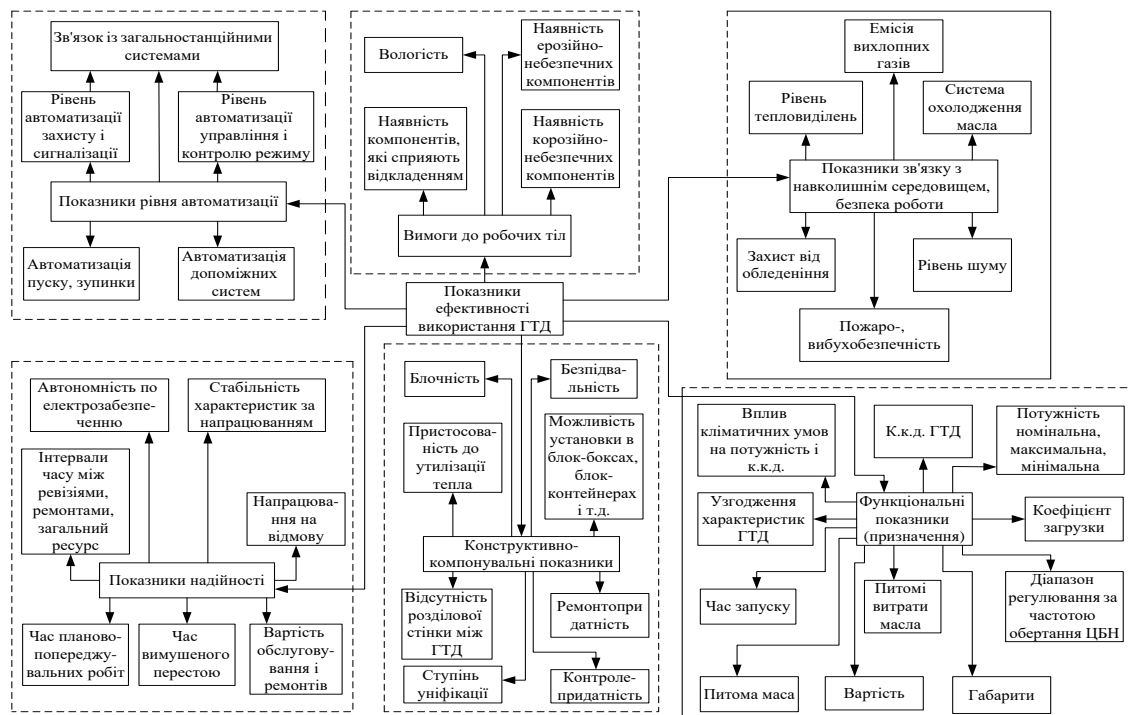


Рис. 1. Основні вимоги до ГТД, що визначають його ефективність функціонування

Широка гама інструментальних методів і засобів діагностування і контролю за ТС, використовуваних під час технічної експлуатації ГТД, має істотний недолік, який полягає у тому, що їх застосування можливе лише з певною періодичністю, заданою програмою ТО конкретного типу повітряного корабля або

газоперекачувального апарату, яка може виявитися недостатньою для запобігання несправностей двигуна, здатних привести до важких авіаційних пригод або до аварійних ситуацій на компресорних станціях. Таким чином, однією з найважливіших проблем в області експлуатації ГТД, є проблема діагностики й контролю за ТС двигуна з метою підвищення безпеки польотів, а також підвищення ефективності їх використання на КС газотранспортної системи України (оптимізація режимів роботи, недопущення виникнення аварійних ситуацій на КС і т.п.).

На цей час непростий стан промисловості в Україні призвів до значного зниження виробництва ГТД, комплектуючих до них та одночасного підвищення їх вартості. Знизилися темпи активної модернізації існуючих типів двигунів. Ці фактори підвищили зацікавленість експлуатаційних підрозділів авіаційної, морської та газової промисловості не тільки України, а й багатьох інших країн, у переході на ресурсозберігаючі технології, а також до експлуатації основного обладнання "за технічним станом" [2,3]. Сьогодні в практику експлуатації ГТД впроваджується прогресивний і економічно ефективний спосіб експлуатації за фактичним технічним станом. Такий метод експлуатації за фактичним станом забезпечує більш високий рівень надійності вузлів ГТД в цілому та суттєво зменшує збитки, заподіяні періодичними профілактичними оглядами і аварійними зупинками ГТД. Згідно зі статистичними даними витрати на необґрунтоване обслуговування і ремонт, відповідно до системи планово-попереджувальних ремонтів, складають майже 8.0 % по відношенню до всіх витрат на експлуатацію.

У процесі експлуатації зміни технічного стану двигуна відбуваються під впливом факторів, які визначаються умовами використання ГТД та, зокрема, режимами його роботи, властивостями робочих середовищ, впливом оточуючого середовища, а також своєчасністю та якістю проведення ТО та ремонту, оптимізацією режимів роботи ГТД на базі проведених досліджень фактичних характеристик двигунів, додержанням обслуговуючим персоналом правил технічної експлуатації, правильним монтажем ГТД. Крім того, реальні технічні характеристики навіть нового обладнання так чи інакше відрізняються від паспортних значень. Причини цих відхилень – у розкиді характеристик окремих ГТД у межах технічних умов на поставку заводів-виробників. Вплив конструктивно-виробничих та експлуатаційних факторів на вихідні показники обладнання має випадковий характер. Він проявляється у відхиленнях значень початкових показників однотипного обладнання від паспортних, а також у рівнях та динаміці змін у часі фактичних показників під час експлуатації. Різноманітність і стохастичний характер цих факторів призводять до того, що при однаковому напрацюванні ГТД мають різний фактичний технічний стан.

Постановка завдання

Науковому дослідженню підлягає проблема розробки алгоритму структурного синтезу інтелектуальної системи діагностування та керування технічного стану ГТД в процесі його експлуатації. В статті запропоновано функціонала якості, що забезпечує оптимальне керування ГТД.

Вирішення поставленого завдання

Газотурбінний двигун характеризується множиною станів. Кожний стан визначається конкретним набором вхідних і вихідних діагностичних параметрів. Зміна вхідного впливу або значень параметрів, що характеризують поведінку окремих елементів двигуна, відповідно до встановлених функціональних залежностей, а також вплив зовнішніх факторів приводять до зміни вихідних параметрів двигуна і його фактичного технічного стану. Наявність складних функціональних залежностей між елементами двигуна, а також значне число різних параметрів, що характеризують кожний з елементів ГТД, ускладнюють формалізацію опису поведінки такої складної технічної системи. На практиці рідко вдається одержати повний математичний опис поведінки ГТД у загальному вигляді, тому частіше намагаються використовувати методи імітації двигуна, що досліджується.

У процесі експлуатації ГТД виникають завдання оцінки їх технічного стану [4]:

- справний – такий стан ГТД, при якому він відповідає всім вимогам, установленим нормативно-технічною документацією;
- працездатний, при якому він здатний виконувати задані функції в межах, установлених нормативно-технічною документацією;
- функціонуючий, при якому ГТД або його складові частини виконують у цей момент часу запропоновані їм алгоритми функціонування зі значенням параметрів, відповідним до встановлених вимог;
- граничний стан – такий стан ГТД, при якому його подальша експлуатація повинна бути припинена через порушення вимог безпеки внаслідок виходу заданих параметрів за допустимі межі, або зниження

ефективності функціонування й експлуатації нижче припустимої, або необхідності проведення середнього або капітального ремонту.

Зміна технічного стану ГТД від справного до настання відказу (непрацездатного), пов'язане з виникненням і розвитком у двигуні несправності до будь-якого критичного рівня, після якого двигун досягає граничного стану. Тому одним з найважливіших завдань, є розроблення ефективних методів і засобів діагностики на основі інтелектуальних технологій, для підвищення якості оцінки технічного стану ГТД. Дане завдання діагностування двигуна пропонується вирішувати у вигляді алгоритму, який складається з таких етапів (рис 2) [7, 8]:

- виявлення типових станів ГТД, розпізнавання та класифікація, які необхідно здійснювати в процесі його експлуатації;
- аналіз зовнішніх факторів і внутрішніх процесів, що протікають у ГТД у разі нормального функціонування й виникнення та розвитку типових несправностей;
- розроблення методів експериментального визначення діагностичних параметрів і ознак;
- вибір діагностичних параметрів і ознак, що забезпечують розпізнавання й класифікацію типових станів;
- розроблення й обґрунтування вибору методів оцінки технічного стану, пошук несправностей і прогнозування;
- розроблення оптимальних алгоритмів діагностування;
- розроблення системи збирання, зберігання й аналізу діагностичної інформації;
- розроблення інтелектуальної системи автоматичного діагностування для класифікації ТС ГТД у процесі його експлуатації.

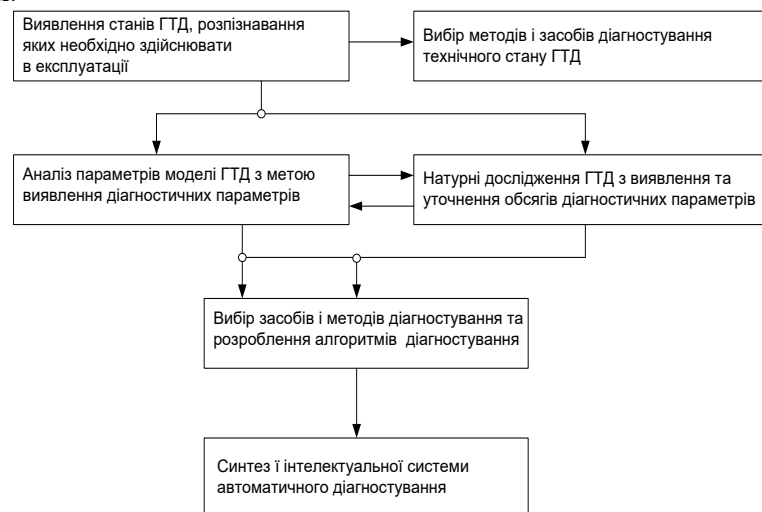


Рис. 2. Алгоритм вирішення завдання технічної діагностики ГТД

У загальному вигляді мету керування ГТД можна сформулювати так [1]: забезпечення заданого рівня надійності й ефективності застосування двигуна у разі мінімальних витрат на їх експлуатацію. Відповідно до цього визначення, оптимальність алгоритму керування ГТД характеризується векторним критерієм:

$$TE_{ГТД} = \{C_{\Sigma}(t), K_{Г}(t), W(t)\}, \quad (1)$$

де $TE_{ГТД}$ – технічна ефективність; C_{Σ} – сумарні витрати на контроль, діагностування, прогнозування, керування, технічне обслуговування й ремонт ГТД під час експлуатації t ; $K_{Г}$ – коефіцієнт, що характеризує надійність ГТД у процесі експлуатації; $W(t)$ – визначає ступінь ефективності застосування ГТД за призначенням під час використання різних алгоритмів керування режимами роботи ГТД.

Для більшості ГТД найбільш загальним показником технічної ефективності є ймовірність виконання встановленого завдання алгоритмом керування [5]. Наприклад: в авіаційній галузі – це забезпечення безпеки й регулярності польотів; у газотранспортній галузі – надійне й постійне постачання газу споживачам і т.п. Розглянемо процес керування режимами роботи ГТД, який виконується під впливом стохастичних зовнішніх та внутрішніх збурень.

Нехай ТС ГТД описується випадковим вектором $s(t) \in S$ кінцевого фазового простору $S = \{0, \dots, 1\}$, а зміна структури об'єкт діагностування у часі – випадковою послідовністю $s(t_1), s(t_2), \dots, s(t_n)$, де t_1, t_2, \dots, t_n – дискретні моменти часу. Позначимо $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – вектор керування режимами роботи двигуна, тоді динаміку керованого процесу опишемо таким рівнянням:

$$s(t_{n+1}) = f(s(t_n), u(t_n)),$$

а правило вибору керування, представимо у вигляді:

$$u(t_n) = \phi(s(t_n), u(t_{n-1})),$$

де $\Phi = \{\phi\}$ – множина типових правил.

Послідовність правил $\sigma = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}$ визначає стратегію керування у просторі часу $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$. Сукупність типових стратегій керувань утворює простір стратегій $\Sigma = \{\sigma\}$, тоді програма керування режимами роботи ГТД визначимо такою трійкою:

$$PK_{ГТД} := \langle U, \sigma, t \rangle, \quad (2)$$

де $PK_{ГТД}$ – програма керування ГТД; U – простір типових керуючих дій або впливів; t – послідовність моментів керування й задана для них стратегія керування – σ .

Аналіз формули (1) показує, що алгоритм керування являє собою будь-яку керуючу програму, яка реалізує той або інший метод керування сформований САК двигуна. У теорії діагностики й керування ГТД знайшли широке застосування три основних методи: програмний, керування зі зворотним зв'язком, адаптивний з використанням інтелектуальних технологій.

Програмне діагностування й керування будується, відповідно до жорстко заданої програми дій, незалежно від реакцій об'єкта й зовнішнього середовища. Для цього має бути повністю визначено математичну модель об'єкта експлуатації, відомі характеристики зовнішнього середовища (умов експлуатації), чітко задані критерії оптимізації програми, що під час експлуатації двигуна незавжди можливо.

Під час діагностування й керування з використанням принципу зворотного зв'язку програма керування режимами ГТД є гнучкою, вона формується залежно від поточного стану газотурбінного привода. Однак при цьому вважаємо, що: модель об'єкта діагностування й керування, характеристики зовнішнього середовища повністю відомі, а також чітко задані критерії керування режимами роботи ГТД.

Адаптивне діагностування та керування режимами роботи ГТД із використанням інтелектуальних технологій використовується для "неточно" заданого об'єкта діагностування, у разі невідомих характеристиках зовнішніх та внутрішніх збурень. У цьому випадку програму діагностування та керування, пропонується реалізувати у такому вигляді: якщо (діагностичні ознаки), то (клас ТС ГТД) [8]. Класи діапазонів зміни ТС ГТД пропонується описувати нечіткими множинами, наприклад: добре, прийнятно, допустимо, недопустимо. Залежно від класифікації ТС ГТД, формується необхідний закон керування режимами роботи двигуна.

Для реального процесу експлуатації ГТД більшою мірою характерна третя інформаційна ситуація, коли "неточно" задана модель об'єкта діагностування і керування й неповністю витримуються умови експлуатації.

Правила вибору керування підбираються у ході реалізації процесу класифікації технічного стану ГТД, тобто після визначення діагнозу вибирається та або інша типова стратегія керування.

Відповідно до загальної мети керування режимами роботи ГТД, виразимо цільові вимоги до показника технічної ефективності $TE_{ГТД} = \{C_{\Sigma}(t), K_{\Gamma}(t), W(t)\}$ за допомогою предикантів [6]:

$$\begin{aligned} \Theta_{K_{\Gamma}} &= \{K_{\Gamma}(t_n) \geq \hat{K}_{\Gamma}\}, \\ \Theta_W &= \{W(t_n) \geq \hat{W}\}, \\ \Theta_C &= \{C_{\Sigma}(t_n)/t_n \leq (1 - a_n)C_{\Sigma}(t_{n-1})/t_{n-1}\}. \end{aligned} \quad (3)$$

де $0 < a_n < 1$.

Формулу (3) в такому компактному вигляді:

$$\Theta = \Theta_{K_r} \Theta_W \Theta_C. \quad (4)$$

де: $\chi_n = \begin{cases} 1, \Theta(t_n) \\ 0, \Theta(t_n) \end{cases}$ – індикатор істинності предиката (3).

Оцінюючий функціонал, який характеризує значення ефективності використання ГТД (надійність, енергозбросність і т.п.), що залежить від обраної стратегії керування режимами роботи ГТД $\sigma = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}$, представимо в такому вигляді:

$$R_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \chi_k. \quad (5)$$

Функціонал оцінки ефективності функціонування R_n є згортою векторного критерію $TE_{ГТД} = \{C_{\Sigma}, K_r, W\}$, що характеризує техніко-економічну ефективність функціонування ГТД.

Стратегію керування σ_{opt} будемо називати оптимальною, якщо вона забезпечує при неперервному процесі, керування ГТД максимум нижньої границі:

$$\rho = \sup_{\sigma \in \Sigma} \lim_{n \rightarrow \infty} R_n(\sigma). \quad (6)$$

Дана межа існує внаслідок обмеженості величини $0 \leq R_n \leq 1$, яка залежить від номінальної потужності двигуна, його технічного стану, впливу зовнішніх та внутрішніх збурень. Величина ρ характеризує гарантовану ймовірність виконання цільових вимог (3) у разі необмеженої тривалості експлуатації. Отриманий критерій (6) представляє собою узагальнений критерій оптимального керування режимами роботи ГТД залежно від його поточного технічного стану.

Висновки

Запропоновано алгоритм синтезу системи, що забезпечує адаптивне діагностування та керування режимами роботи ГТД із використанням інтелектуальних технологій, у разі невідомих характеристиках зовнішніх та внутрішніх збурень. Наведено узагальнений функціонал якості, що забезпечує заданий рівень надійності й ефективності застосування двигуна у разі мінімальних витрат на їх експлуатацію.

Список літературних джерел

1. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – М.: Транспорт. – 1980. – 232 с.
2. Вертепов А.Г. Метод оценки выходных показателей ГТУ в эксплуатационных условиях / А.Г. Вертепов // Газовая промышленность. – 2001. – №3. – С.31–33.
3. Абрамов О. В. Прогнозирование состояния технических систем / О. В. Абрамов, А. Н. Розенбаум. – М.: Наука, 1990. – 126 с.
4. Коллакот Р.А. Диагностирование механического оборудования / Р.А. Коллакот. – Л.: Судостроение, 1980. – 296 с.
5. Бодянский Е.В. Искусственные нейронные сети: архитектура, обучение, применение / Е.В. Бодянский Е.В., О.Г. Руденко. – Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004. – 372 с.
6. Управление техническим состоянием динамических систем. / А. И. Буравлев, Б. И. Доценко, И. Е. Казаков. – М.: Машиностроение. 1995. – 240 с.
7. Гасиджак В.С. Байесовський алгоритм розпізнавання передвідмовних станів газоперекачувальних агрегатів / В.С. Гасиджак, В.М. Казак // Вісник центрального наукового центру ТАУ. – К., 2007. – Вип. 10. – С. 77 – 78
8. Казак В.М. Інтелектуальна система автоматичного діагностування та реконфігурації керування режимами роботи ГТД в особливих експлуатаційних ситуаціях / В.М. Казак, Д.О. Шевчук, В.С. Гасиджак, М.П. Кравчук // Вісник Інженерної академії України. – 2012. – №1. – С. 121-126.