

СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.02:338.47(045)

М.С. Кулик, д.т.н., проф.
О.А. Тамаргазін, д.т.н., проф.
І.І. Ліннік, к.т.н.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ ПІДТРИМКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБІВ В АВІАДВИГУНОБУДУВАННІ

Розглянуто питання підвищення ефективності інформаційного забезпечення створення і супроводу в експлуатації сучасних авіаційних двигунів. Виявлено найбільш перспективні напрями розвитку комплексних систем супроводу життєвого циклу авіаційної техніки.

Questions of increase of efficiency of a supply with information of creation and support in operation of modern aviation engines are considered. The revealed most perspective directions of development of complex systems of support of life cycle aviation technics.

авіаційний двигун, інформаційні технології, логістика**Вступ**

Однією з вирішальних умов науково-технічного прогресу є постійне удосконалення продукції, що випускається. Розв'язання цього завдання пов'язано із впровадженням інформаційних технологій. Комплексна автоматизація всіх видів виробництв – один з напрямів розвитку сучасного авіадвигунобудування, оскільки поряд з підвищенням гнучкості виробництва вона забезпечує підвищення продуктивності праці, поліпшення якості виробів [1].

Інформаційна складова процесу розроблення і експлуатації авіаційних двигунів як наукоємних виробів була споконвічно надзвичайно значущою і її значущість безперервно зростає.

Створення кожного з п'яти поколінь авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) супроводжувалося вирішенням певної групи проблем, що дозволили зробити якісний стрибок у підвищенні основних вихідних параметрів.

Визначальною проблемою, яку вирішують у процесі розроблення двигунів шостого покоління, стала проблема керування катастрофічним зростанням обсягу інформації, кількістю інформаційних потоків і складністю їх опрацювання в процесі всього життєвого циклу створюваного виробу [2].

Постановка проблеми

Багатофакторне математичне моделювання на основі статистичних моделей і багатокритеріальна оптимізація технологічних систем та процесів один з основних напрямків інформаційного забезпечення [3].

Математичне моделювання інформації забезпечує раціональні умови вдосконалювання і створення технологій виготовлення авіаційних двигунів, установлює причинні, структурні та кількісні зв'язки між початковим комплексом технічних умов реалізації технологічного процесу і групою критеріїв якості виробів, що виготовляються.

Математичне моделювання покликано виявити характерні ознаки функціонування та вибрати оптимальні статичні й динамічні характеристики вузлів та агрегатів двигуна на основі глибокого теоретичного аналізу створюваної конструкції та процесів, що відбуваються як в окремих вузлах і агрегатах, так і у двигуні в цілому.

За допомогою математичного моделювання задовго до створення реальних вузлів, агрегатів і двигуна вдається «відчути» особливості його роботи. Математичне моделювання супроводжує натеper весь життєвий цикл існування двигуна, починаючи з етапу технічної пропозиції та ескізного проектування, його експериментальних досліджень і закінчуючи припиненням серійного виробництва.

Зокрема, математичні моделі використовують для розрахунку режимів оброблення деталей різанням.

Розроблення програм з автоматичного призначення режимів різання тісно пов'язано з наявністю математичних моделей для розрахунку основних параметрів, які характеризують процес різання:

- сили та швидкості різання;
- стійкості різального інструменту;
- шорсткості обробленої поверхні.

Для розміщення вихідної інформації використовують спеціалізовану базу даних, що дозволяє користуватися різнорідними вхідними даними, які програма ідентифікації розпізнає за допомогою системи шифрів і ознак.

Результати ідентифікації містять емпіричні константи, коефіцієнти поліномів і деякі характерні для кожної моделі параметри. Ці результати зберігаються також у базі даних у вигляді структур, призначених для використання в алгоритмах вибору оптимальних режимів різання під час виконання токарних операцій.

У базу даних внесено інформацію для одержання моделей обробки широкого спектра матеріалів: конструкційних сталей, чавунів, латуней, алюмінієвих сплавів, нержавіючих і жароміцних сталей та сплавів, титанових сплавів [4].

За допомогою методів математичного моделювання виконано оптимізацію віброчастотних характеристик лопаток осьових компресорів в умовах виробництва, проведено дослідження в умовах виробництва методики оптимізації віброчастотних характеристик лопаток ГТД цілеспрямованою зміною геометрії пера в межах відхилень основних розмірів у процесі формування її вальцюванням або іншими технологічними способами з використанням можливостей багатоваріантного регресійного аналізу і теорії коливань.

Забезпечення надійності та довговічності виробів поєднується з потребою керувати їх якістю, що являє собою сукупність властивостей продукції задовольняти потреби відповідно до призначення. Експлуатація виробів в умовах агресивного середовища потребує систематичного контролю якості. Особливо актуальне завдання контролю і прогнозування якості в авіадвигунобудуванні, де доводиться мати справу з вузлами та деталями, які працюють в умовах великих навантажень за негативного впливу навколишнього середовища. Ефективним методом для розв'язання цього завдання є методи неруйнівної діагностики, що ґрунтуються на використанні інтелектуальних засобів: теорії розпізнавання образів, штучних нейронних мереж тощо. Для розв'язання цих завдань використовують спеціалізовані автоматизовані системи діагностики [5]. Автоматизована система діагностики являє собою комплекс програм, призначених для автоматизації окремих етапів оброблення діагностичної інформації, і містить підсистеми: попередньої обробки та візуалізації даних, скорочення розмірності даних, топологічної діагностики, нейросіткової діагностики.

Завдяки високому рівню комп'ютерних технологій комп'ютерне конструювання нових матеріалів і технологій їх оброблення активно використовують в авіадвигунобудуванні [6]. Останнім часом з'явилася можливість прогнозувати властивості матеріалів, оцінювати ефективність технологічних процесів і знижувати витрати на експериментальні дослідження з використанням комп'ютерних технологій. Авіадвигунобудівні підприємства у своїй діяльності використовують системи автоматизованого проектування (CAD), автоматизовані системи виробництва (CAM), автоматизовані системи технологічної підготовки (CAE), системи керування базами даних про продукцію, що випускається (PDM), та інші програмні пакети. Основні напрями розвитку CAD/CAM/CAE систем – удосконалення математичного апарату та інтерфейсів користувача й інтеграція в інформаційне середовище підприємства. Універсальність систем є неодмінною умовою їх поширення та комерційного успіху. Але тільки системи, орієнтовані на мережеві технології, дозволили здійснювати обмін даними між всіма структурними підрозділами підприємства.

Розв'язання проблеми

British Airways – одна з авіакомпаній, що лідирують у галузі підтримання парку літаків за принципом «як вони є» за допомогою розробленої компанією SAP комплексної системи, що замінила понад 200 не пов'язаних між собою пакетів програм.

Співпрацюючи з SAP, авіакомпанія British Airways забезпечила комплексне планування технічного обслуговування та експлуатації, включаючи прогнозування і аналіз можливих сценаріїв розвитку ситуацій за принципом «що, якщо...», для більше як 400 літаків.

У системі SAP використовується система моніторингу авіаційних двигунів для технічного обслуговування і ремонту, розроблена компанією Domain Dynamics Ltd [7].

Пакет PLM-рішень, який ґрунтується на програмних продуктах фірми Dassault Systems, включає систему високого рівня САПР CATI та підсистеми ENOVI і SmarTeam, що реалізують технологію PDM. Проектування в системі CATI засновано на застосуванні стандартизованого формату даних та інструментів.

У процесі проектування створюється багатопараметрична керована база даних моделі-шаблону. В неї входять всі геометричні параметри, теоретичні розрахунки, рекомендації, стандарти, бази даних деталей і комплектуючих тощо.

Система дозволяє значно спростити процес узгодження між проектувальниками та виробничниками. Якщо об'єктами проектування є складні деталі або вузли, то проект може бути розділений між декількома розробниками.

У системі CATI є потужні модулі, призначені для формування програм багатокординатних фрезерних верстатів із числовим програмним керуванням [8]. Натепер цілі ділянки верстатів з числовим програмним керуванням об'єднані в мережу. Керувальні програми для таких верстатів створюються в різних CAD/CAM системах.

Переваги такої роботи верстатів полягають з усуненням фізичних носіїв передачі керувальних програм, креслень, технологічних процесів, карт налагодження, виробничих завдань та іншої інформації, необхідної на робочому місці.

На сьогодні авіадвигунобудування – це єдина інтегрована система високотехнологічного виробництва. Для забезпечення конкурентоспроможності потрібно забезпечувати не тільки високу якість продукції, але й не менш високу якість конструкторської документації.

Цього можна домогтися тільки подальшим розвитком CALS-технологій [7]. Ця технологія дозволяє використовувати єдиний інформаційний простір на всіх етапах життєвого циклу виробу – від його проектування до виготовлення і експлуатації. Особливістю авіаційного виробництва є велика номенклатура деталей, які мають складну геометрію поверхні, що відрізняється великим діапазоном зміни вектора нормалі й кривизни поверхні. Щоб скоротити витрати й терміни технологічної підготовки виробництва, використовують систему автоматизованого проектування технологічних процесів. Система дозволяє:

- проектувати технологічні процеси оброблення деталей у діалоговому режимі з використанням формул і таблиць;
- оперативно формувати вид і склад комплексу технологічної документації для різних видів виробництв; створювати та супроводжувати технологічні таблиці й формули для їх застосування під час проектування технологічних процесів;
- підтримувати декілька видів виробництв.

Для проектування складних вузлів і деталей ГТД можна також використати систему CAD/CAM/CAE із тривимірним моделюванням, наприклад UNIGRAPHICS. Застосування цієї сучасної системи разом з PDM забезпечує підтримку всього життєвого циклу виробу, починаючи від концептуального дизайну і проектування,

підготовки виробництва, виконання інженерного аналізу до керування всім проектом виготовлення виробу, технічної підтримки і консалтингу [9]. У системі UNIGRAPHICS розробляються найбільш складні вузли і деталі, що входять до складу ГТД. Це корпуси складної просторової форми, диски відцентрових компресорів, лопатки та інші деталі складної конфігурації.

Система UNIGRAPHICS дозволяє виконувати складання вузлів і загальне складання макета двигуна. Більш прості завдання можна розв'язувати за допомогою «середніх» САПР, таких, як SolidWorks і AutoCAD [10]. Наявність твердотільних моделей прискорює процес виготовлення оснащення, а в деяких випадках, не розробляючи математичних моделей, твердотільні моделі можна використовувати для роботи із COM-технологією і розроблення програм для верстатів з числовим програмним керуванням.

Випробування – це завершальний і відповідальний етап у технологічному ланцюзі виробництва двигуна. Кожний тип двигуна має свою програму випробувань. Отримувана в процесі випробувань інформація використовується для сертифікації двигуна, конструктивних доробок, у процесі ремонту і регламентного обслуговування двигуна. Системи керування випробуваннями мають контролювати понад 500 параметрів.

Використовувані нині автоматизовані системи керування випробуваннями дозволяють регулювати і перевіряти працездатність двигуна на всіх режимах, тому об'єктивне і достовірне оцінювання параметрів, їх математичне опрацювання в ході випробувань є важливим завданням.

Автоматизована інформаційно-вимірвальна система випробувань двигунів призначена для вимірювання, збирання, опрацювання та видачі інформації про значення параметрів, контрольованих під час стендових випробувань двигуна на сталих і перехідних режимах.

Сучасні авіаційні двигуни є найбільш енергоємними і високонапруженими елементами літака, які для забезпечення високих економічних показників працюють в умовах високих теплових і силових навантажень, що потребує особливої уваги до забезпечення надійності двигуна в польоті.

В експлуатаційній практиці більш інтенсивно розвиваються системи, які передбачають використання бортових засобів контролю і нагромадження інформації про технічний стан двигуна.

Вони дозволяють оцінювати справність, працездатність, правильність функціонування і пошук несправності до вузла.

Високий рівень розвитку методів і засобів контролю, який дає змогу не тільки оцінювати працездатність або справність елементів на момент контролю, але й більш глибоко аналізувати їх технічний стан та прогнозувати його зміну використовувати в практиці експлуатації третій вид граничного стану (передвідмовний) і стратегію експлуатації за станом з контролем параметрів.

У конструкції сучасних двигунів передбачено наявність розвинених систем вбудованого контролю, виявлення і розпізнавання несправностей у польоті та під час технічного обслуговування. Ці системи збирають інформацію про роботу двигунів у польоті, реєструють її і в разі потреби видають інформацію про несправності на індикатори моніторів пілотів та персоналу з технічної експлуатації. Базовою ланкою системи керування технічним станом авіаційних двигунів є лабораторія діагностики (центри з опрацювання та аналізу інформації), куди стікається вся інформація про технічний стан двигуна із цехів, від екіпажу та інших служб авіаційно-технічного комплексу, від розробника двигунів. У центрі виконується первинний аналіз цієї інформації.

Система параметричного контролю і діагностики ГТД призначена для оцінювання його технічного стану в процесі експлуатації, виявлення та попередження відмов двигуна і основних функціональних систем у польоті. Система параметричного контролю і діагностики виконує автоматичну реєстрацію параметрів і сигналів, записуваних на електронні носії, їх експрес-обробку після кожного польоту, контроль і аналіз інформації методами параметричної діагностики. Вона дозволяє оперативно оцінювати поточний стан двигуна, його функціональні системи, вібраційний стан двигуна на всіх режимах його функціонування і аналізувати тренди параметрів.

Для поточного оцінювання технічного стану застосовують логічний аналіз параметрів і сигналів, експрес-аналіз польотної інформації, візуальний контроль параметрів і сигналів.

Для середньострокового оцінювання прогнозування працездатності двигуна використовують трендовий аналіз, де будують залежності зміни параметрів від напрацювання і визначають тенденції їх виходу за граничні рівні. Комплексний аналіз польотної інформації в лабораторії діагностики дозволяє класифікувати двигуни на

«справні» і «підозрілі на несправність», виявляти порушення в роботі функціональних систем двигуна і відмови системи контролю та реєстрації параметрів, обґрунтовано ухвалювати рішення щодо технічного стану двигуна, необхідних замінах, оглядах і регулюваннях, проводити автоматизований пошук несправностей.

Система параметричного контролю і діагностики реалізується у вигляді розподіленого обчислювального комплексу, що дозволяє організувати розподілену обробку даних.

У зв'язку з появою двигунів підвищеної контролепридатності, розвитком наземно-бортових автоматизованих систем контролю і збору польотної інформації появилися нові можливості оперативно виконувати комплексне оцінювання технічного стану авіаційних двигунів. Для оцінювання відпрацювання ресурсу в умовах реальної експлуатації ГТД оснащуються автоматизованими системами обліку ресурсу найбільш навантажених деталей двигуна. Вірогідність цих систем визначається точністю даних, що входять до складу математичних моделей і алгоритмів розрахункового моніторингу температурного та напружено-деформованого станів.

Методи розв'язання завдань моніторингу температурного стану повинні мати високу точність і дозволяти розв'язувати завдання теплопровідності у вигляді покрокового за часом алгоритму, здатного здійснювати моделювання в масштабі реального часу при роботі в складі алгоритмів бортових або наземних систем діагностики двигуна.

Для моніторингу нестационарного температурного стану деталей ГТД застосовують сіткові моделі та розрахунково-аналітичні методи на основі інтегральних рівнянь. Сіткові моделі, які реалізують метод кінцевих елементів, є найбільш універсальними з погляду розв'язання завдань теплопровідності різних типів. Розрахунково-аналітичні методи на основі інтегральних рівнянь являють собою інтегральні вирази, вагові функції яких визначаються в числовому вигляді за результатами числового або фізичного експерименту [11]. Експлуатація ГТД за технічним станом припускає діагностування їх стану без демонтажу в умовах експлуатації.

Найбільш ефективно діагностування – в умовах експлуатації за параметрами реактивного струменя, обмірюваного на зрізі сопла двигуна [12].

До найефективніших вимірювальних систем візуального контролю проточної частини авіаційних ГТД належить відеоендоскопи.

Використання відеосигналу для передачі зображення відкрило широкі можливості:

- спостереження на вбудованому або зовнішньому моніторі;
- записування сигналу на стандартні інформаційні носії та безпосередньо у внутрішню флеш-пам'ять ендоскопа з одночасним записуванням звукових коментарів через вбудований мікрофон;
- просте й досить точне вимірювання розмірів дефектних ділянок у різних ракурсах спостереження;
- оброблення зображення з використанням спеціального програмного забезпечення;
- цифрове збільшення з кратністю 1,5...8,0, що дозволяє збільшувати зображення на екрані без заміни об'єктива зонда;
- порівняння поточного зображення з отриманим раніше архівним знімком за допомогою системи «поділу» екрана;
- відстеження технічного стану вузлів і агрегатів авіаційного ГТД у процесі експлуатації.

Як наслідок, це дозволяє приймати коректні, обґрунтовані рішення про доцільність подальшої експлуатації авіаційного ГТД.

Висновки

Нині відбувається повна комп'ютеризація та автоматизація всіх етапів життєвого циклу авіаційного ГТД. Прагнучи забезпечити конкурентоспроможність своєї продукції, підприємства авіадвигунобудування нарощують обсяги та потужність програмно керованого обладнання, персональних комп'ютерів, графічних станцій, купують і розробляють програмне забезпечення, упроваджують обчислювальні мережі та створюють єдиний інформаційний простір підприємства. Однак далеко не завжди кількість засобів і зусиль, спрямованих на комп'ютеризацію виробництва, приводить до бажаного результату. Успіх можливий лише тоді, коли на основі всебічного наукового аналізу сформованого рівня технічного розвитку виробництва йде безперервний пошук принципово нових підходів до розв'язання проблем його організації. Це можливо тільки за допомогою обґрунтованого застосування сучасних інформаційних технологій.

Література

1. *Богуслаев В.А.* Теоретические аспекты компьютеризации современного производства авиационных двигателей / В.А. Богуслаев, В.Ф. Мозговой, В.Ф. Сорокин // Технологические системы. – К., 2003. – № 1. – С. 19–24.
2. *Ахмедзянов А.М.* Информационное "запирание" в технологии проектирования авиационных ГТД (к вопросу о научно-техническом задании двигателей шестого поколения) / А.М. Ахмедзянов // Авиационная техника. – Казань: КГТУ им. А. Н. Туполева, 2002. – № 1. – С. 35–38.
3. *Радченко С.Г.* Методология создания новой техники и технологий / С.Г. Радченко, С.Н. Лапач // Технологические системы. – К., 2003. – № 1. – С. 41–43.
4. *Математические модели для расчета режимов резания при точении* / Ю.П. Катаев, Э.Б. Мац, Р.М. Валеев, А.Р. Шакиров // Авиационная техника. – Казань: КГТУ им. А. Н. Туполева, 1999. – № 1. – С. 41–44.
5. *Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей: моногр.* / В.И. Дубровин, С.А. Субботин, А.В. Богуслаев, В.К. Яценко. – Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2003. – 279 с.
6. *Математическое трехмерное моделирование композитных и керамических конструкций двигателей* / В.В. Кулибаба, П.Г. Зиновьев, В.Ю. Захаров и др. // Вестник двигателестроения. – Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2003. – № 2. – С. 92–93.
7. *Хьюз Д.* Системы, охватывающие весь жизненный цикл изделия / Д.Хьюз // Авиатранспортное обозрение. – М., 2003. – № 49. – С. 48–50.
8. *Голдовский П.* Система автоматизированного проектирования фирмы Dassault Systems / П. Голдовский, В. Захаров // Двигатель. – М., 2002. – № 6. – С. 6.
9. *Опыт внедрения современных информационных технологий при проектировании авиадвигателей* / Ю.Ф. Басов, А.Ю. Басов, В.Ф. Цыкура, Е.Д. Кулиш // Технологические системы. – К., 2003. – № 3. – С. 60–63.
10. *Опыт освоения лицензионного пакета твердотельного моделирования SolidWorks и одновременной разработки проекта двигателя для подвесного лодочного мотора мощностью 40 л. с.* / В.А. Иванков, Е.П. Воропаев, О.О. Левандовский, А.С.Охупкин // Вестник двигателестроения. – Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2002. – № 1. – С. 16–18.
11. *Крикунов Д.В.* Математические модели расчетного мониторинга нестационарных температурных состояний деталей ГТД на базе матриц переходных характеристик тепловых систем / Д.В.Крикунов // Вестник двигателестроения. – Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2003. – № 2. – С. 82–84.
12. *Виноградов Ю.В.* Система экспресс диагностики технического состояния авиационных ГТД / Ю.В. Виноградов, А.П. Тунаков // Авиационная техника. – Казань: КГТУ им. А. Н. Туполева, 2002. – № 1. – С. 78–79.