

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра авіаційних двигунів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
докт. техн. наук, проф.
_____ Ю.М. Терещенко
«__» _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
«МАГІСТР»

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І АВІАДВИГУНІВ»

Тема: «Модель процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД»

Виконав: _____ **А.С. Данилюк**

Керівник: канд. техн. наук, доц. _____ **І.Ф. Кінащук**

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: канд. техн. наук, доц. _____ **О.М. Гунченко**

охорона навколишнього середовища:
канд. техн. наук, доц. _____ **Є.О. Бовсуновський**

Нормоконтролер

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра авіаційних двигунів

Освітній ступень «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

докт. техн. наук, проф.

_____Ю.М. Терещенко

«__»_____2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

ДАНИЛЮКА АНДРІЯ СВЯТОСЛАВОВИЧА

1. Тема роботи: **«Модель процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД»**

затверджено наказом ректора від 11 жовтня 2021 року № 2196/ст.

2. Термін виконання роботи: з 25 жовтня 2021 р. по 31 грудня 2021р.

3. Вихідні дані до роботи: статистичні дані про відмови авіаційної техніки, структурні схеми і статистичні дані по результатам досвіду експлуатації авіаційних ГТД, пошкодження, руйнування, відмови та несправності конструктивних вузлів авіаційного ГТД, рівень контролепридатності об'єкта моніторингу.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ, аналітична частина, дослідна частина, охорона навколишнього середовища, охорона праці, загальні висновки.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: рисунки, схеми моделей процесу моніторингу та діагностування технічного стану авіаційного ГТД.

Графічний (ілюстративний) матеріал виконано за допомогою Microsoft Office Excel, Microsoft Office Visio, Microsoft Office Power Point, AutoCad, Adobe Acrobat DC та Paint.

6. Календарний план-графік

Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
Аналіз досвіду експлуатації авіаційних ГТД.	25.10.21 р. – 27.11.21 р.	
Аналіз існуючих моделей процесу моніторингу технічного стану авіаційних ГТД. Постановлення задач дослідження.	28.10.21 р. – 31.10.21 р.	
Виконання першого розділу.	01.11.21 р. – 07.11.21 р.	
Виконання другого розділу.	08.11.21 р. – 14.11.21 р.	
Виконання третього розділу.	15.11.21 р. – 21.11.21 р.	
Виконання окремих розділів роботи: охорона праці, охорона навколишнього середовища.	22.11.21 р. – 28.11.21 р.	
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	29.11.21 р. – 01.12.21 р.	
Аналіз виконаної роботи та написання висновків до розділів та загального висновку до всієї виконаної роботи.	02.12.21 р. – 05.12.21	
Попередній захист дипломної роботи.	06.12.21 р. – 17.12.21 р.	

7. Консультанти по окремих розділам

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	<i>канд.техн.наук, доцент</i> ГУНЧЕНКО Оксана Миколаївна		
Охорона навколишнього середовища	<i>канд.техн.наук, доцент</i> БОВСУНОВСЬКИЙ Євген Олексійович		

8. Дата видачі завдання: «__» _____ 2021 року.

Керівник дипломної роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Модель процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД»:

99 сторінок, 13 рис., 6 табл., 28 використаних джерела.

Об'єкт досліджень – авіаційний газотурбінний двигун.

Предмет досліджень – модель моніторингу та діагностування технічного стану авіаційного газотурбінного двигуна.

Мета роботи – аналіз моделей процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД та алгоритмів програмного забезпечення систем контролю, діагностики та прогнозування технічного стану ГТД на основі інтелектуального аналізу даних з використанням технологій експертних систем та нейронних мереж.

Методи досліджень – аналітичні та статистичні, математичне моделювання.

Розроблені автором рекомендації можуть бути запропоновані для підвищення ефективності взаємодії між експлуатантом, розробником повітряних суден та їх компонентів, а також державним органом регулювання авіаційної діяльності з метою забезпечення та підтримання льотної придатності задля забезпечення безпеки польотів, ефективності функціонування авіаційно-транспортної системи та регулярності авіаційних перевезень.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності під час розробки програм технічного обслуговування повітряних суден з урахуванням специфіки діяльності експлуатанта.

Зміст

Перелік умовних позначень, скорочень та індексів	
Вступ	
Розділ 1. Аналіз необхідності сучасного моніторингу технічного стану авіаційного ГТД	
1.1. Сучасний авіаційний двигун як складний технічний об'єкт моніторингу	
1.2. Загальна характеристика проблеми моніторингу технічного стану авіаційного двигуна	
1.3. Сучасні системи моніторингу та керування експлуатацією авіаційним ГТД	
1.4. Сучасні інформаційні технології моніторингу стану складних технічних об'єктів	
1.5. Концепція вирішення проблеми інформаційного моніторингу параметрів авіаційного ГТД	
1.6. Висновки до розділу	
Розділ 2. Модель процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД	
2.1. Комплекс функціональних моделей процесу моніторингу параметрів авіаційного ГТД	
2.2. Комплекс інформаційних моделей процесу моніторингу параметрів авіаційного ГТД	
2.3. Динамічна модель процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД	
2.4. Висновок до розділу	
Розділ 3. Модель моніторингу технічного стану авіаційного ГТД на базі нейронних мереж	
3.1. Короткий огляд нейромережових експертних систем	
3.2. Загальна структура нейромережової експертної системи	

3.3. Особливості програмної реалізації інтерфейсу та програмних модулів нейромережевої експертної системи	
3.4. Методика роботи з нейромережевою експертною системою	
3.5. Особливості бортової реалізації нейромережевих алгоритмів моніторингу технічного стану ГТД	
3.6. Висновки до розділу	
Розділ 4. Охорона праці	
4.1. Небезпечні та шкідливі фактори, що впливають на працівника під час технічного обслуговування повітряних суден	
4.2. Технічні і організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників під час технічного обслуговування повітряних суден	
4.3. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки при технічному обслуговуванні двигуна (ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ, ДНАОП 5.1.30-1.06-98, ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ)	
4.4. Перевірочний розрахунок штучного освітлення офісного приміщення	
4.5. Інструкція з безпеки праці при роботі з персональним комп'ютером	
4.6. Висновки до розділу	
Розділ 5. Охорона навколишнього середовища	
5.1. Тенденції впливу авіаційного шуму	
5.2. Тенденції впливу емісії авіаційних двигунів	
5.3. Аналіз впливу авіаційного транспорту на забруднення атмосфери	
5.4. Висновки до розділу	
Загальні висновки	
Список використаних джерел	

Перелік умовних позначень, скорочень та індексів

ПС	– Повітряне судно
ГТД	– Газотурбінний двигун
ВТ	– Високий тиск
НТ	– Низький тиск
ПТ	– Проміжний тиск
ЛТХ	– Льотно-технічні характеристики
ЖЦ	– Життєвий цикл
FP	– Хибно-позитивною
TP	– Істинно-позитивною
TN	– Істинно-негативні
FN	– Хибно-негативні
ITM	– Інформаційна технологія моніторингу
БСКД	– Бортова система контролю та діагностики
SCADA	– Supervisory Control And Data Acquisition (Диспетчерське управління і збір даних)
CALS	– Continuous Acquisition and Life cycle Support (Безперервне придбання та підтримка життєвого циклу)
FFTs	– Fast Fourier Transforms (Швидке Перетворення Фур'є)
CBR	– Міркування на основі CASE
CASE	– Computer-Aided Software Engineering (Набір інструментів і методів програмної інженерії для проектування програмного забезпечення)
SVM	– Method of Support Vector Machines (Метод машини опорних векторів)
TORCH	– Tracked ORder Characteristics (аббревіатура від Rolls-Royce)
SADT	– Structured analysis and design technique (структурований аналіз і техніка проектування)
ПММ	– Паливно-мастильні матеріали
ТЧ	– Тверді частинки
ЗР	– Забруднюючі речовини

IDEF Modeling Techniques	–	Техніки моделювання IDEF— комбінація графічних і мовних символів та правил, розроблених для фіксації процесів і структури інформації в організації
CAEP	–	Комітет ICAO з охорони навколишнього середовища від впливу авіації
P3		ринкових заходів
EAG		Консультативна група Ради ICAO з питань охорони навколишнього середовища
GLAD		Глобальні діалоги в сфері авіації

ВСТУП

Авіаційний газотурбінний двигун (ГТД) як відновлюваний об'єкт протягом терміну служби вимагає постійного моніторингу, трудомісткість якого залежить від рівня автоматизації процесів отримання, обробки, зберігання, документування інформації про поточний стан авіаційного двигуна, а також контролю, діагностики, прогнозування його технічного стану, послідовність та методи виконання яких визначають інформаційну технологію моніторингу (ІТМ). Засобом їх реалізації є розподілені системи моніторингу, на які покладається завдання визначення ступеня відповідності об'єкта моніторингу вимогам, тобто контролю його технічного стану.

Розподілена система моніторингу є логічним доповненням ІТМ, оскільки разом із останньою здійснює аналіз фактичного технічного стану ГТД: прогнозування залишкового ресурсу, відстежує деградацію робочих характеристик авіаційного двигуна, визначає програму ремонтно-відновлювальних робіт тощо.

Основні льотно-технічні характеристики (ЛТХ) ГТД визначаються на всіх етапах його життєвого циклу (ЖЦ). Ефективність моніторингу авіаційного двигуна суттєво залежить від вірогідності правильного розпізнавання його технічного стану.

Моніторинг технічного стану ГТД забезпечується раціональним вибором SCADA систем та методів обробки інформації відповідно до завдань контролю, діагностики та прогнозування технічного стану двигуна, що ефективно вирішують завдання координації управління експлуатацією двигуна за технічним станом та здійснюють підтримку прийняття рішень.

Основа моніторингу технічного стану ГТД становить підпорядкування цілей функціонування інформаційних технологій моніторингу та управління експлуатацією цілям функціонування ГТД, що визначає правила та порядок обробки комплексної інформації відповідно до умов його експлуатації.

Створення інформаційних технологій моніторингу та управління експлуатацією ГТД є процесом, що передбачає певну методологію

використання апріорної та апостеріорної інформації про об'єкт, вимірювальні, обчислювальні та корпоративні засоби, що утворюють ресурси ІТ моніторингу, та різноманітні математичні методи вирішення завдань обробки та аналізу інформації про технічний стан двигуна, а також прийняття рішень для досягнення цілей моніторингу та управління його експлуатацією.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, ІТ моніторингу технічного стану ГТД не є досконалими з низки причин, основними з яких є, з одного боку, роз'єднаність баз даних випробувань, контролю та діагностики, відсутність інтелектуальних компонентів, що дозволяють якісно та ефективно здійснювати підтримку прийняття відповідальних рішень і, як наслідок, скорочувати загальний час, що витрачається на обслуговування ГТД; з іншого боку, не стаціонарність фізичних процесів в авіаційному двигуні, складність його математичного опису, залежність технічних характеристик двигуна від зовнішніх умов роботи, обмежений склад термогазодинамічних параметрів двигуна, що вимірюються, їх технологічний розкид і т.д. Зазначені фактори призводять до необхідності прийняття рішень про технічний стан двигуна в умовах суттєвої невизначеності.

Основними напрямками, що визначають підвищення якості ІТ моніторингу технічного стану ГТД, слід вважати інтелектуалізацію процесів обробки інформації із залученням методів інтелектуального аналізу даних, які здатні забезпечити підвищення якості розпізнавання технічного стану ГТД при дії зазначених вище невизначених факторів, а також інтеграцію інформаційних процесів (розподілених локальних баз даних та знань у глобальну базу даних та знань).

Таким чином, створення ІТ моніторингу стану ГТД включає розробку моделі процесу, алгоритмічного та програмного забезпечення, що дозволяють підвищити ефективність вирішення завдання управління експлуатацією ГТД за технічним станом.

У зв'язку з вищевикладеним, тема роботи, присвячена аналізу інтелектуальних систем контролю, діагностики та прогнозування технічного стану ГТД на основі інтелектуального аналізу даних є актуальною.

Метою цієї роботи є аналіз моделі процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД та алгоритмів і програмного забезпечення систем контролю, діагностики та прогнозування технічного стану ГТД на основі інтелектуального аналізу даних з використанням технологій експертних систем та нейронних мереж.

У цій роботі було:

- Проаналізована розробка концепції побудови інтелектуальних систем моніторингу технічного стану авіаційного ГТД з урахуванням інтелектуального аналізу даних;
- Проаналізована розробка комплексу системних моделей процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД;
- Розглянута та проаналізована розробка методів та алгоритмів контролю та діагностики технічного стану ГТД на основі технологій експертних систем;
- Розглянуті та проаналізовані моделі та алгоритмів контролю, діагностики та прогнозування технічного стану ГТД на основі нейромережових технологій;

Практична значимість результатів роботи визначається тим, що використання розглянутих в ній моделей процесу моніторингу технічного стану ГТД дозволить скоротити витрати на контроль та діагностику стану двигуна в процесі його стендових випробувань та льотної експлуатації за рахунок більш повного використання апріорної та апостеріорної інформації про режими роботи двигуна, автоматизації процесів обробки та аналізу даних, застосування методів штучного інтелекту на всіх етапах оцінки технічного стану ГТД та прийняття рішень. Розглянуті алгоритми та інженерні методики контролю, діагностики та прогнозування стану ГТД,

застосування яких дозволяє суттєво підвищити якість та ефективність прийнятих рішень про технічний стан ГТД.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НЕОБХІДНОСТІ СУЧАСНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ГТД

1.1. Сучасний авіаційний двигун як складний технічний об'єкт моніторингу

Авіаційний газотурбінний двигун як об'єкт, що відновлюється, протягом терміну служби постійно потребує досконалого моніторингу, від якого багато в чому залежить якість управління його технічним станом.

Аналіз існуючих підходів показує, що сучасні системи моніторингу та управління експлуатацією ГТД є багаторівневими, причому нерідко ці рівні мало пов'язані між собою. Практика автономного проектування відповідних підсистем призводить до того, що на різних рівнях управління використовуються різні методики та стандарти, немає єдиного метрологічного та інформаційного супроводу, а звідси велика надмірність інформації, що потребує значних обчислювальних ресурсів. Ця проблема ефективно вирішується шляхом інформаційної «ув'язки» різних рівнів управління ГТД.

Згідно рис. 1.1, «нульовий» рівень утворює об'єкт управління - авіаційний двигун, що складається з вузлів (агрегатів) та підсистем.

Рівень управління (I) безпосередньо взаємодіє з ГТД через датчики та виконавчі механізми. Рівень контролю та діагностики (II) здійснює спостереження за роботою ГТД та системи управління та у разі виявлення несправних відмов, дефектів, фіксує цей факт і приймає рішення про зміну конфігурації системи.

Верхній рівень управління експлуатацією (III) здійснює управління процесом експлуатації ГТД (прогноз, планування прийнятих рішень), забезпечуючи максимальне вироблення ресурсу авіаційного двигуна

(збільшення часу його експлуатації) та своєчасне (обґрунтоване) зняття його з експлуатації.



Рис. 1.1 – Функціональна схема багаторівневої системи управління ГТД

На рис. 1.1 ГТД розглядається в рамках системи управління моніторингу його параметрів та експлуатації, де кожен із перерахованих рівнів може бути описаний формальними та неформальними (кількісними та якісними) математичними моделями.

При цьому з «нульового» по «третьій» рівень у процесі моніторингу та управління експлуатацією ГТД здійснюється «Data Maning» (виділення даних), а з «третього» по «нульового» рівні йде розподіл даних, необхідних для своєчасного та якісного управління ГТД.

Наведена схема реалізує принцип, що означає, що від рівня управління системи – інтелектуальність підвищується.

У табл. 1.1 перераховані цілі управління, критерії ефективності та способи формування керуючих впливів залежно від рівня управління ГТД.

Табл. 1.2 дає загальну характеристику математичним моделям, що використовуються на різних рівнях управління.

Таблиця 1.1

Цілі управління, критерії ефективності та способи формування керуючих впливів залежно від рівня управління ГТД

Рівень управління	Мета управління	Критерій ефективності управління	Керуючі дії
I. Виконавче (автоматичне) управління	Підтримка необхідного (оптимального) режиму роботи ГТД	Точність (помилка) управління, критерій якості перехідних процесів	Управління ГТД (за допомогою виконавчих механізмів)
II. Контроль та діагностика	Забезпечення заданого рівня надійності (відмово-стійкість системи)	Імовірність безвідмовної роботи системи управління ГТД, середнє напрацювання на відмову.	Команди на перемикання резерву заміни елементів
III. Управління процесом експлуатації	Підтримання необхідної ефективності функціонування ГТД	Коефіцієнт готовності ГТД, можливість виконання поставленого завдання, ресурс експлуатації ГТД	Термін проведення ремонтів (регламентних робіт, доробок), вибір стратегії обслуговування

Загальна характеристик математичних моделей, що використовуються на різних рівнях управління.

Рівень керування експлуатацією	Математичні моделі
«нульовий» - об'єкт управління (елементи, деталі, вузли, агрегати, підсистеми)	Динамічні моделі (лінеаризовані, багаторежимні, по-елементні моделі)
I – керування ГТД	Алгоритми керування (диференціальні, різницеві рівняння)
II - контроль та діагностика ГТД	Логічні моделі, моделі прийняття рішення
III – керування експлуатацією ГТД	Моделі ресурсу

Зміна в роботі ГТД, як правило, може обумовлюватися відмовами в об'єкті керування. Забезпечення допустимого рівня якості моніторингу та керування експлуатацією ГТД в умовах невизначеності може бути покладено на (III) рівень, що виступає в ролі координатора [1, 2].

Вважатимемо, що координатором системи моніторингу та керування експлуатацією ГТД виступають рівні з II по III.

1.2. Загальна характеристика проблеми моніторингу технічного стану авіаційного двигуна

Сучасний авіаційний двигун як об'єкт моніторингу має різні стратегії технічного обслуговування та ремонту. У процесі проведених досліджень було встановлено [3, 4], що на сьогоднішній день існують такі стратегії технічного обслуговування (ТО):

- ТО з напрацювання, за якого перелік та періодичність виконання операцій визначаються значенням напрацювання ГТД з початку експлуатації або після капітального (середнього) ремонту;
- ТО за станом, при якому перелік та періодичність виконання операцій визначаються фактичним технічним станом авіаційного двигуна в момент початку ТО;
- ремонт з напрацювання, при якому обсяг розбирання ГТД та дефектації його складових частин призначається єдиним для парку однотипних виробів залежно від напрацювання з початку експлуатації або після капітального ремонту, а перелік операцій відновлення визначається з урахуванням результатів дефектації складових частин виробу;
- ремонту за технічним станом, при якому перелік операцій, у тому числі розбирання, визначається за результатами діагностування виробів у момент початку ремонту, а також за даними про надійність цього виробу та однотипних виробів.

В якості основної ознаки, що характеризує стратегії техобслуговування та ремонту ГТД, доцільно прийняти характер інформації про їх надійність і технічний стан, яка використовується при призначенні періодичності та обсягу регламентних робіт.

Цю інформацію можна розділити:

- за часом отримання та використання на апіорну та апостеріорну;
- за джерелами отримання інформації про сукупність двигунів та окремому ГТД.

У цьому під досвідом розуміється серійна експлуатація об'єкта. Поєднання цих видів інформації утворюють чотири стратегії технічного обслуговування та ремонту наведених у табл. 1.3 (Стратегії технічного обслуговування та ремонту ГТД).

Таблиця 1.3

Стратегії технічного обслуговування та ремонту ГТД

Характер інформації	Апіорна	Апостеріорна
Про парк ГТД	По напрацюванню	По стану із контролю рівня надійності
Про окремий ГТД	По напрацюванню, встановленому, для окремого двигуна	По стану із контролю параметрів

Стратегія технічного обслуговування та ремонту за станом суттєво відрізняється від стратегій обслуговування та ремонту з напрацювання (стратегія з напрацювання). Вони полягають у самому характері технологічних процесів технічного обслуговування і ремонту, а й у розподілі ресурсів, необхідних розвиток виробничо-технічної бази, відповідної вимогам тій чи іншій стратегії. А вимоги ці до розвитку основи різні.

Стратегія за станом передбачає забезпечення високого рівня експлуатаційно-ремонтної технологічності конструкцій, створення в достатніх обсягах ефективних засобів діагностування та неруйнівного контролю, розвиток виробничо-технічної та експериментальної бази експлуатаційних та ремонтних підприємств цивільної авіації.

Стратегія з напрацювання передбачає розвиток експериментальної бази підприємств промисловості та забезпечення на цій основі обґрунтованих ресурсів до ремонту кожної сукупності однотипних об'єктів. Від своєчасного вибору відповідної стратегії вирішальною мірою залежить своєчасність і правильність вибору необхідної технічної політики розвитку інженерно-авіаційної служби галузі на багато років.

Розрізняють такі стратегії експлуатації:

- 1) до вироблення ресурсу (терміну служби);
- 2) до відмови;
- 3) до перед відмовного стану.

Для кожної з стратегій експлуатації (табл. 1.4) можна вибрати певні, що відрізняються найбільшою ефективністю стратегії технічного обслуговування і ремонту.

Таблиця 1.4

Взаємозв'язок стратегій експлуатації та технічного обслуговування та ремонту.

Стратегія ТО і Р	Стратегія експлуатації		
	До вироблення ресурсу	До перед відмовного стану	До відмови
Технічне обслуговування			
По напрацюванню	+	-	-
По стану із контролю параметрів	-	+	-
По стану із контролю рівня надійності	-	-	+
Ремонт			
По напрацюванню	+	-	+
По технічному стану	+	+	+

Стратегії обслуговування та ремонту пов'язані зі стратегіями експлуатації (використання) двигунів (табл. 1.4). Для кожної зі стратегій експлуатації можна вибрати цілком певні, що відрізняються найбільшою ефективністю стратегії технічного обслуговування та ремонту. Проте цілком очевидно, що оптимальною стратегією технічного обслуговування та ремонту авіаційного двигуна є стратегія експлуатації за технічним станом.

Переведення авіаційного двигуна на експлуатацію станом забезпечує зниження потрібного оборотного фонду та відповідне скорочення поставок нових двигунів. Так, експлуатація за станом ГТД для вітчизняних пасажирських магістральних літаків малої та великої дальності дозволить протягом 1,5 - 2 років скоротити потрібний оборотний фонд цих двигунів на 30%, що забезпечить умовне вивільнення на серійних заводах приблизно 800 виробничих робітників, 40 тис. квадратних метрів виробничих площ, економію 2000 тон дефіцитних дорогих матеріалів. [5]

Експериментально доведено, що стратегія експлуатації ГТД станом забезпечує істотне скорочення капітальних ремонтів, а отже, і поставок запасних ремонтних комплектів. Так, наприклад, дослідження в цій галузі показали, що експлуатація за станом основних двигунів цивільної авіації призводить до скорочення ремонтних комплектів на 7 - 15% (100 - 200 комплектів по відношенню до вихідного рівня, що еквівалентно умовному вивільненню приблизно 50 виробничих робітників та 3 тис. квадратних метрів виробничих площ). [3, 4]

Огляд робіт у галузі експлуатації двигунів за станом показує що в цьому випадку відбувається вивільнення потужностей авіаремонтних заводів за рахунок скорочення загальної кількості ремонтів. Так, наприклад, експлуатація за станом двигуна Д-30КУ з 3000 до 6000 годин дозволяє скоротити кількість ремонтів до 1000 на рік, що еквівалентно практично вивільненню одного ремонтного заводу цивільної авіації на 12 років. [6]

Скорочення числа ремонтних двигунів цивільної авіації на 7 - 15% на рік по відношенню до вихідного рівня дозволить умовно вивільнити у промисловості 150 виробничих робітників і 8 тис. м виробничих площ.

Результати розрахунків, проведені станом на 1 січня 2017 р., виходячи з фактичного стану авіадвигунів цивільної авіації, діючих оптових цін капітального ремонту та досягнутого фактичного рівня безвідмовності кожного типу ГТД зведені в таблицю (1.5). [7, 8]

Таблиця 1.5

Аналіз ефективності ГТД

Показники	Тип двигуна				
	Д-30	Д-36	НК-86	PW6000	CFM56
1. Фіксований гарантований ресурс (год)	3000	3500	3000	4000	4500
2. Дозволене напрацювання (год)	5000	6000	7500	8000	10000
3. Умовне скорочення кількості капітальних ремонтів за термін служби двигуна (з різними залишками призначеного ресурсу)	1,67	1,39	1,34	1,24	1,21
4. Сумарне напрацювання з моменту початку експлуатації (год)	>9-10 ⁶	>5-10 ⁶	>8-10 ⁶	>7-10 ⁶	>8-10 ⁶
5. Сумарна економія за термін служби (тис. \$)	30615,9	21536,8	22489,3	32828,4	35452,2

Таким чином, аналіз ефективності показує, що експлуатація за станом забезпечує скорочення оборотного фонду двигунів на 15 - 20%, числа капітальних ремонтів на 15 - 25%; транспортних витрат на 25 – 35%. Загалом економічний ефект від переходу на експлуатацію за станом становитиме 40-50% від вартості всього парку двигунів (без урахування витрат на впровадження цієї системи, які складуть не більше 5% від економічного ефекту).

Аналіз статистики основних несправностей авіаційного ГТД у відсотковому відношенні до загальної кількості відмов [9], що призводять до вимкнення двигуна в польоті (а) або його достроковому зніманню конструктивно-виробничих несправностей (б) виглядає наступним чином:

а) Поодинокі відмови – 53%:

- стружка в маслі – 21%;
- руйнування підшипника опори ротора КВТ – 4%;
- зношування турбіни - 7%;
- руйнування підшипника опори ротора ТНТ – 8%;
- руйнування та знос ТВТ – 7%;
- та інше – 5%.

б) Поодинокі відмови - 45%:

- зношування турбіни - 21%;
- руйнування КВТ – 6%;
- контроль штифтів фіксації опори – 3%;
- руйнування, фарбування підшипника ТВТ – 3%;
- руйнування, знос підшипника ТНТ – 7%;
- та інше – 5%.

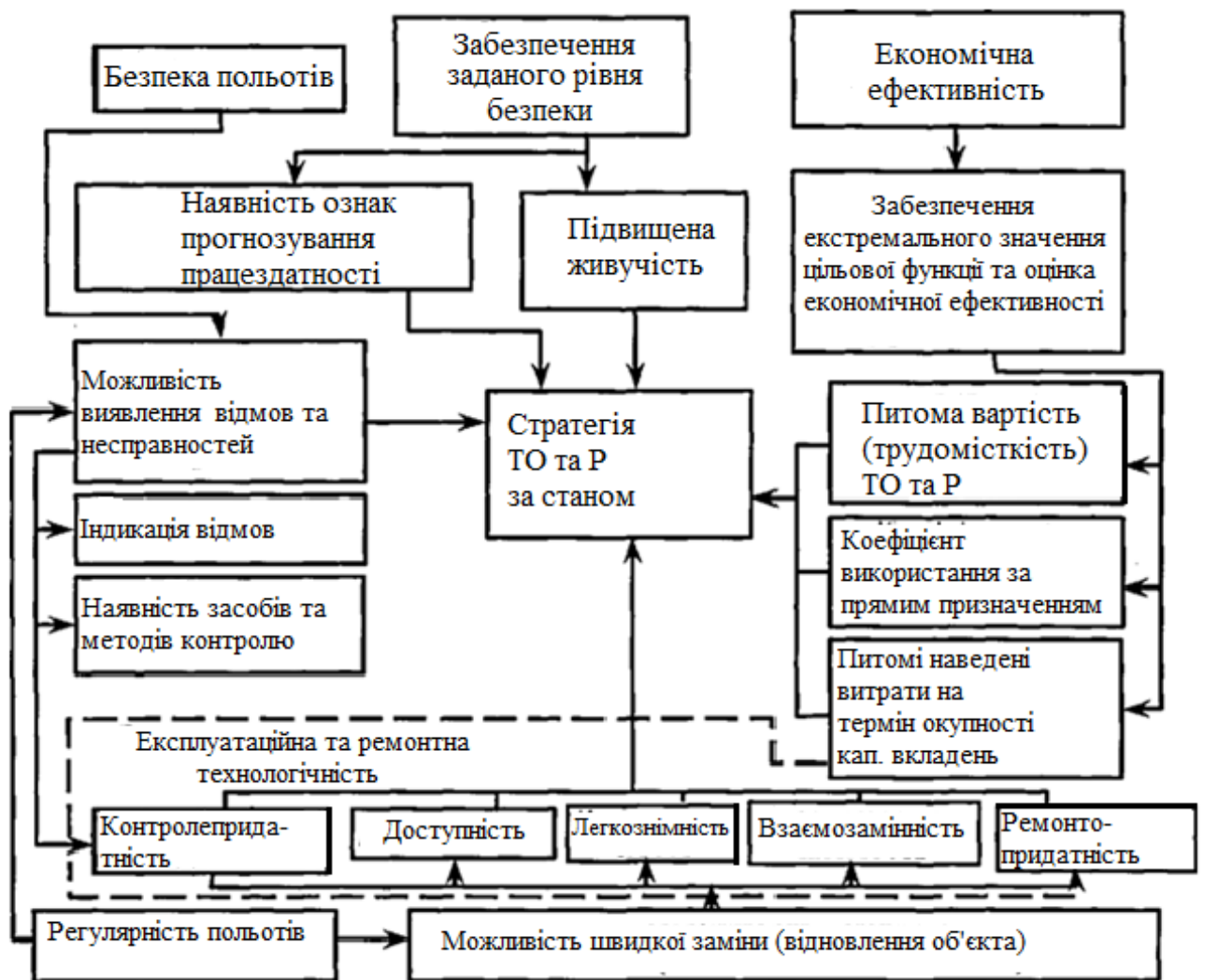


Рис. 1.2 – Стратегія по фактичному стану ГТД

Основними умовами переведення двигунів цивільної авіації на експлуатацію за станом є [10]:

- встановлення довговічності основних вузлів та деталей з призначенням ресурсу ГТД;
- відповідність показників безвідмовності двигуна міжвідомчим нормам;
- досягнення величини гарантійного напрацювання (фіксованого ресурсу) не менше 3000-4000 годин;
- достатня контрольнопридатність та експлуатаційна технологічність;
- наявність методів та засобів, достатніх для діагностування та контролю стану авіаційного двигуна;

- надійна робота систем сигналізації про можливі несправності двигуна у польоті;
- забезпечення локалізації зруйнованих частин ГТД всередині корпусу двигуна;
- економічна доцільність.

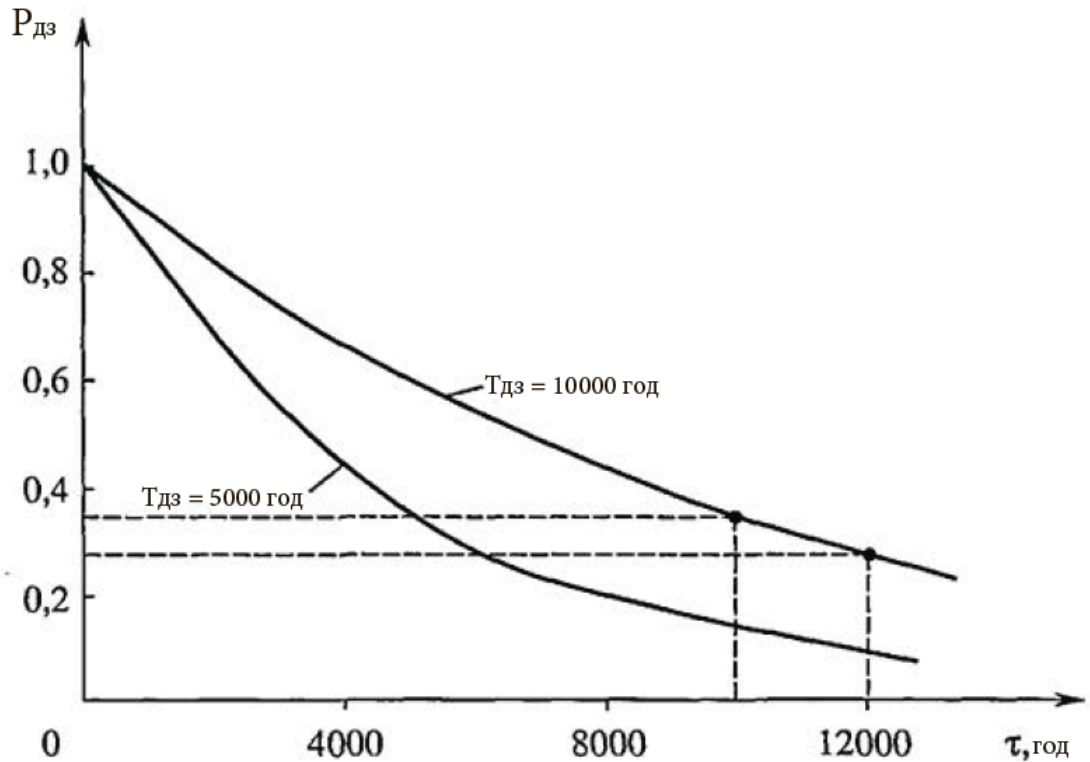


Рис. 1.3 – Залежність ймовірності роботи двигуна без дострокового знімання за ресурс від його величини та напрацювання на відмову, де $T_{дз}$ - час дострокового знімання (год).

У цих умовах контроль та діагностика стану ГТД з метою раннього виявлення його несправностей вирішує два важливі завдання:

- знижує кількість відмов двигунів у польоті, завдяки заздалегідь зняття ГТД з несправностями на ранній стадії їх розвитку, тобто. підвищує безпеку польотів;
- зменшує вартість відновлювального ремонту, так як запобігає розвитку дефекту до руйнування елементів конструкції, тобто. підвищує економічну ефективність його експлуатації.

Основою відстеження та реалізації стратегій технічного обслуговування та ремонту авіаційного ГТД є програма технічного обслуговування та ремонту. Головною особливістю такої програми є те, що стану процесу експлуатації ГТД і обсяги робіт з обслуговування та ремонту тут призначаються відповідно до технічних станів, що у них виникають. Програма технічного обслуговування та ремонту є документом, що встановлює стратегії, кількісні та якісні характеристики видів технічного обслуговування та ремонту, порядок їх коригування в процесі експлуатації. У тривимірному вигляді програму технічного обслуговування та ремонту ГТД можна уявити (рис. 1.4) у просторі та в часі, де напрямок вектора - мета програми, а його значення - показники ефективності.

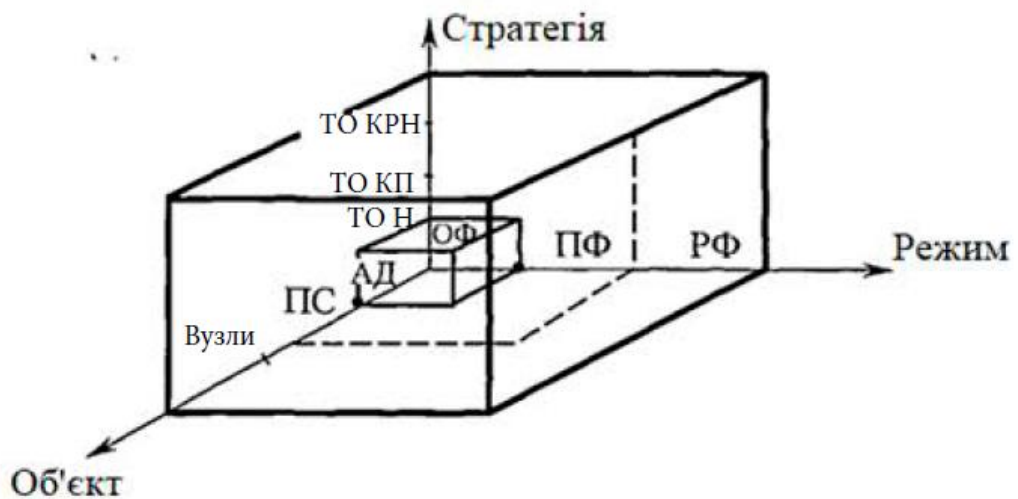


Рис. 1.4 – Багатомірна інтерпретація структури програми технічного обслуговування та ремонту ГТД

По осях декартової прямокутної системи координат представлені змінні:

- по осі абсцис - режими технічного обслуговування та ремонту авіаційного двигуна: оперативні форми (ОФ), періодичні форми (ПФ), ремонтні форми (РФ);
- по осі ГТД ординат - стратегії технічного обслуговування та ремонту ГТД: з напрацювання (Н), станом з контролем

параметрів (КП), станом з контролем рівня надійності (КРН); по осі аплікат - складові об'єкта: ГТД, підсистеми (ПС), вузли (У), агрегати (А), функціональні елементи (ФЕ).

Програма управління технічним обслуговуванням та ремонтом ГТД постійно вдосконалюється на всіх етапах його життєвого циклу та особливо в процесі його регулярної експлуатації, а це означає, що на різних етапах у програмі може змінитися частка різних стратегій та режимів технічного обслуговування та ремонту.

Експлуатація з технічного стану ґрунтується на таких припущеннях:

- стан двигуна (справний, працездатний, несправний і т.д.) характеризується безліччю параметрів, що випадково змінюються в часі;
 - конструкція двигуна (його ремонтпридатність) дозволяє безперервно або періодично контролювати значення параметрів, що визначають його стан;
 - надійність кожного серійного двигуна управляється індивідуально шляхом комплексної оцінки параметрів, що визначають його технічний стан і є випадковим процесом;
 - перевищення значень параметрів, що характеризують стан двигуна, щодо допустимих значень, визначає неприпустиме в експлуатації стан;
 - методи та засоби контролю та діагностування забезпечують виявлення несправностей на ранній стадії їх розвитку;
 - витрати на заміну вузла або агрегату, що має несправності на ранній стадії розвитку, значно менше витрат при аварійній заміні.
- Таким чином, цей вид експлуатації ґрунтується на інформації про технічний стан індивідуального двигуна, одержуваної за допомогою методів та засобів технічного діагностування, враховує індивідуальні особливості кожного конкретного

двигуна, дозволяє використовувати практично повністю його потенційні можливості. [11]

Експлуатація ГТД в рамках його життєвого циклу може бути представлена наступною тимчасовою віссю (рис. 1.5).

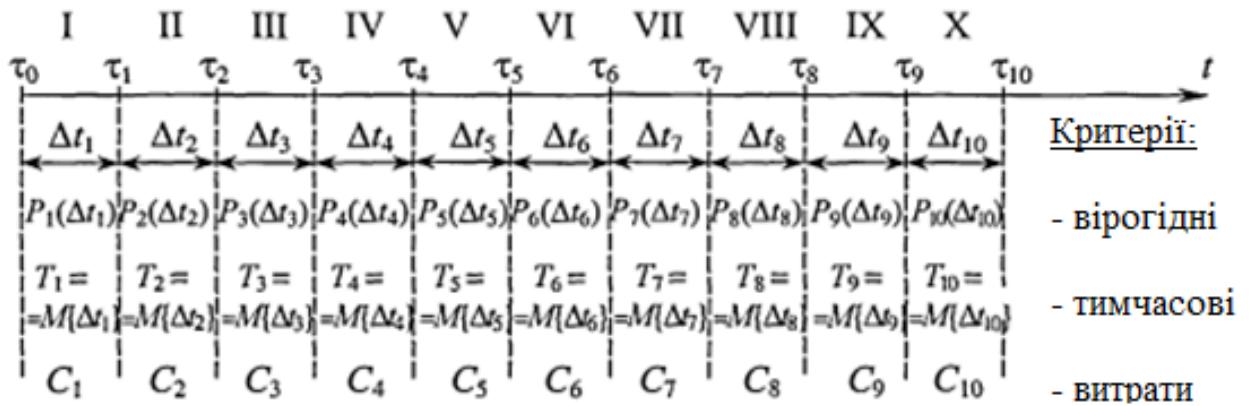


Рис. 1.5 – Основні критерії процесу експлуатації ГТД

На рис. 1.5 виділено десять характерних ділянок:

- I - приймальні випробування;
- II – льотні випробування;
- III – Державні випробування;
- IV – експлуатація;
- V – ремонт (регламентні роботи);
- VI – експлуатація;
- VII – ремонт;
- VIII – випробування;
- IX – експлуатація;
- X – зняття з експлуатації.

Наземні системи моніторингу мають потужні обчислювальні ресурси (розподілені бази даних і знань, високопродуктивні процесори), гнучкі машини логічного висновку і т.д.), здатними в темпі реального часу підтримувати бортові системи через радіоканали супутникового і короткохвильового зв'язку. Такий альянс дозволить у найближчому

майбутньому суттєво підвищити якість бортового моніторингу і, як наслідок, його ефективність, а також оперативність у процесі прийняття відповідальних рішень.

1.3. Сучасні системи моніторингу та керування експлуатацією авіаційним ГТД

Сучасні системи моніторингу та управління експлуатацією ГТД здатні контролювати і оцінювати одночасно до 150-200 параметрів. Так, системи «EICAS», «КОНПРАК», «ECMS» (США), «SNECMA» (Франція), «АНАЛІЗ», «ДОЗОР» (Росія) вирішують широкий спектр завдань контролю та діагностики параметрів ГТД та його підсистем: оцінюють основні технічні параметри роботи двигунів (становище ручок управління двигунами (РУД1, РУД2), температуру та тиск повітряного потоку на вході в двигун, температуру та тиск повітряного потоку на виході з компресора, температуру та тиск газів на виході з камери згоряння, температуру і тиск газів на виході з турбін, частоту обертання ротора компресора низького та високого тиску і витрата палива і т.д.).

Системи містять дані про номінальні значення контрольованих параметрів і відхилення від заданих значень роботи ГТД, обчислюючи їх автоматично, наприклад, за допомогою методу допустимого контролю. Крім цього, у всіх перерахованих вище системах забезпечується і вжиття заходів щодо їх усунення.

Досвід світових авіаційних компаній-лідерів: Rolls-Royce, Pratt&Whitney, General Motors, Lockheed Martin та ін. показує, що основною тенденцією тут є розвиток та застосування нових інформаційних технологій, що базуються на CALS - технологіях, PDM, STEP - стандартах, SCADA системах та інтелектуалізації систем моніторингу на всіх етапах життєвого циклу ГТД.

Система «EICAS» (США, Боїнг) може контролювати до 250 контрольних точок і у разі виникнення будь-яких несправностей необхідна

інформація інфікується відповідним кольором залежно від ступеня їх небезпеки. Індикатор видає інформацію про параметри роботи ГТД та його системи для персоналу, який виконує перевірки та техобслуговування. Перехід на резервні блоки при відмові основних здійснюється автоматично.

Система «SNECMA» (Франція, Міраж) забезпечує оцінку до 150 контрольованих параметрів, а також прогнозування залишкового ресурсу, аналіз тенденцій зміни параметрів, виявлення несправностей, аналіз причин їх виникнення та вжиття відповідних заходів щодо їх усунення.

Система «КОНРАК», розроблена фірмою Pratt & Whitney (США) вирішує наступний спектр завдань моніторингу технічного стану ГТД: контроль та діагностику авіаційного двигуна; виведення характеристик двигуна на дисплей у реальному масштабі часу для вжиття оперативних заходів щодо усунення можливих відмов; реєстрація та накопичення даних, що характеризують тенденції зміни параметрів двигуна та його окремих модулів. У систему вводяться дані з приблизно 90 датчиків, встановлених на двигуні. Вони перетворюються на дискретну форму і передаються в процесор, в якому вони порівнюються з відомостями, що зберігаються в пристрої, і в блоці реєстрації параметрів (база даних випробувань). У пам'яті накопичуються дані про час напрацювання і кількість циклів двигуна і його модулів, на дисплей видаються відповідні вказівки персоналу щодо виконання відповідних дій. Система містить електронне керівництво управління експлуатацією ГТД у вигляді ретельно відпрацьованих логічних схем – діагностичних процедур пошуку та усунення причин відмов двигуна, його систем та агрегатів.

Система «ECMS» (США) General Electric здатна одночасно контролювати до 100 параметрів. При проведенні технічного обслуговування дані, записані в цифровому вигляді, у процесі стендових випробувань, перетворюються в аналогові керуючі сигнали в багатоканальному дешифраторі з використанням стаціонарної ЕОМ і відображаються на паперовій стрічці за допомогою самодоріжжя. У пам'яті ЕОМ закладені дані

про номінальні значення контрольованих параметрів, завдяки чому автоматично обчислюються і відображаються на стрічці самописця також дані про відхилення параметрів від норми. В результаті в процесі технічного обслуговування основна увага звертається на виконання тих операцій, які спрямовані на приведення в норму відповідних параметрів двигуна.

Система «Аналіз» дозволяє вирішувати комплексні завдання підвищення експлуатаційної надійності ГТД: раннє виявлення несправностей, скорочення числа вторинних пошкоджень та зниження ризику вторинних відмов; зменшення ймовірності хибного зняття двигунів; об'єктивність прийняття рішень про необхідні обсяги технічного обслуговування. Методика, закладена в цю систему, дозволяє оцінювати: стан газоповітряного тракту, системи регулювання, запуску, масляної системи; вібраційний стан двигуна; індивідуальне еквівалентно-циклічне напруження ГТД. [12]

Основними завданнями, які вирішуються системами моніторингу технічного стану ГТД є:

- отримання оперативної інформації про стан кожного екземпляра двигуна для обґрунтованого прийняття рішення про його подальше використання в експлуатації;
- прогнозування та попередження розвитку відмов з метою максимально можливого скорочення кількості відмов ГТД та зниження вартості відновлювальних ремонтів;
- локалізація відмов та ідентифікація їх причин та ознак з метою мінімізації обсягу робіт з пошуку та усунення дефектів;
- вироблення рішень, пов'язаних з плануванням обслуговування авіаційного двигуна.

При цьому слід підкреслити два аспекти проблеми раннього виявлення несправностей ГТД:

- Отримання інформації про стан двигуна;
- Використання отриманої інформації для прийняття рішень.

До недоліків сучасних систем моніторингу та управління експлуатацією ГТД необхідно віднести наступне:

- існуючі системи функціонують окремо та взаємодіють у міру необхідності (у процесі аварійних та катастрофічних ситуацій);
- немає єдиного банку даних випробувань (контролю, діагностики, оцінки ресурсу тощо.);
- дані, що зберігаються, різноманітні за своєю суттю (зберігаються в різних форматах, операційних системах, погано структуровані і узгоджені, часто надмірні);
- відсутня система підтримки та прийняття рішень;
- системи контролю та діагностики базуються на методі допустимого контролю;
- випробування проводяться на морально застарілій апаратурі;
- програми технічного обслуговування та ремонту погано пристосовуються (адаптуються) до швидко мінливих умов експлуатації і т.д.

1.4. Сучасні інформаційні технології моніторингу стану складних технічних об'єктів

Аналіз сучасних інформаційних технологій показує [13, 14], що світові лідери, в галузі двигунобудування, компанії «Rolls-Royce», «Pratt&Whitney», «General Motors», «Lockheed Martin», та ін. змушені впроваджувати перспективні інформаційні технології для підвищення ефективності проєктованих авіаційних ГТД, а також скорочення термінів їх розробки.

До подібних інтегрованих інформаційних систем належать CALS-технології [13].

Принципи успішного впровадження CALS-технологій на двигунобудівних підприємствах, основними з яких є:

- інтегрована комп'ютеризація;
- єдине інформаційне середовище та єдина база даних;

- повний електронний макет виробу;
- застосування передових інформаційних технологій, програмних та апаратних засобів, сучасного технологічного обладнання;
- реалізація системи конструювання, редагування, документування на всіх етапах життєвого циклу;
- використання міжнародних стандартів;
- прогнозування впливу конкретних проєктів на двигун, що розробляється;
- інформаційна модель ресурсів та віртуальні підприємства;
- система інформаційного забезпечення експлуатації та технічного обслуговування авіаційних двигунів;
- забезпечення інформаційної безпеки та економічно ефективного впровадження заходів в галузі інформаційних технологій на принципах CALS.

Виконання програми CALS в авіадвигуні дозволить вирішити такі питання, як:

- 1) Підвищення технічного рівня конкурентоспроможної авіаційної техніки;
- 2) Активне завоювання міжнародного ринку;
- 3) Ефективну участь вітчизняного виробника двигунів у міжнародних проєктах як рівноправного партнера.

В рамках CALS сучасні інтерактивні електронні технічні посібники покликані вирішувати такі завдання:

- забезпечення персоналу довідковими та нормативними матеріалами, необхідними для технічної експлуатації та ремонту авіаційного двигуна;
- забезпечення інформацією про технологію виконання операцій з двигуном під час технічної експлуатації та ремонту двигуна;
- діагностики та контролю обладнання та пошуку несправностей;
- автоматизованого замовлення матеріалів та запасних частин;

- планування та обліку проведення регламентних та ремонтних робіт;
- обміну даними між виробником та споживачем двигунів;
- навчання персоналу;
- оперативності прийнятих рішень щодо відновлення ГТД в експлуатуючих організаціях.

З використанням наведеної системи здійснюється інформаційна підтримка технічного обслуговування авіаційного двигуна. При цьому модулі в системі вирішують наступний спектр завдань:

- планування річного напрацювання кожного ГТД;
- планування списання та оновлення замовлення на поставку нового авіаційного двигуна;
- планування відходу ГТД на ремонт та формування заявки на проведення ремонтів;
- формування річного плану проведення форм технічного обслуговування;
- планування місячних нальотів кожного ГТД окремо та коригування річного плану технічного обслуговування з визначенням конкретних дат відходу авіаційного двигуна на всі форми технічного обслуговування та ремонту;
- обробка та аналіз польотної інформації;
- облік напрацювання ГТД та його підсистем;
- контроль відпрацювання ресурсів та інших критичних залишків;
- формування обсягу робіт на технічне обслуговування конкретного ГТД виходячи із стандартних та індивідуальних регламентних робіт;
- облік відмов та несправностей основних та комплектуючих виробів, контроль рівня їх надійності;
- формування місячної та річної заявок на постачання запасних частин.

1.5. Концепція вирішення проблеми інформаційного моніторингу параметрів авіаційного ГТД

В рамках інтелектуалізації процесу моніторингу та управління експлуатацією авіаційного двигуна пропонується концепція вирішення даної проблеми, яка полягає в:

- інтелектуальної обробки та зберігання інформації про результати випробовувань та експлуатації двигуна (як індивідуального ГТД, так і парку двигунів) на основі вимог сучасних баз даних та баз знань, з можливістю їх інтеграції в сучасні CALS-технології;
- використання моделі моніторингу, контролю та діагностики технічного стану авіаційних двигунів на різних етапах життєвого циклу на основі стратегії управління з технічного стану та інтеграції розроблених засобів і систем з сучасними SCADA-системами; інтелектуалізації основних процесів класифікації, контролю, діагностики та прогнозування стану ГТД на основі використання кількісних та якісних моделей двигуна, включаючи використання нейромережевих технологій та методів теорії прийняття рішень та експертних систем;
- перспективі інтеграції створюваних інтелектуальних систем моніторингу, контролю та діагностики стану двигунів у розподілені експертні системи на основі використання розподілених баз даних та баз знань у рамках Internet-технологій та корпоративних обчислювальних систем).

Згідно з викладеним вище в роботі поставлена наступна мета: аналіз науково-обґрунтованих принципів, методів, алгоритмів та методики контролю, діагностики та прогнозування технічного стану ГТД на основі технології експертних систем і нейронних мереж; які включають:

- 1) Концепції побудови інтелектуальних систем моніторингу технічного стану авіаційного ГТД з урахуванням інтелектуального аналізу даних.

- 2) Комплексу системних моделей процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД.
- 3) Модель та алгоритми контролю та діагностики технічного стану ГТД на основі технологій експертних систем.
- 4) Модель та алгоритми контролю, діагностики та прогнозування технічного стану ГТД на основі нейромережових технологій.

1.6. Висновки до розділу

В результаті проведеного аналізу сучасної проблеми моніторингу стану авіаційного ГТД встановлено, що:

- 1) Сучасні системи моніторингу та управління експлуатацією ГТД є багаторівневими, причому ці рівні мало пов'язані між собою, відсутній єдиний інформаційний і метрологічний супровід, що призводить до великої інформаційної надмірності та необхідності залучення значних обчислювальних ресурсів.
- 2) Існуючі системи моніторингу та керування експлуатацією авіаційних двигунів потребують суттєвих доопрацювань.
- 3) Застосування інтегрованих систем на основі SCADA - систем та CALS - технологій дозволить ефективно та якісно підвищити процес моніторингу ГТД.
- 4) Існуючі системи інформаційного моніторингу стану ГТД функціонують окремо; відсутній віддалений доступ; немає єдиного банку даних випробувань; дані, що зберігаються, різноманітні за своєю суттю; відсутня система підтримки та прийняття рішень; застаріла система контролю та діагностики; програмно - технічне обслуговування погано адаптується до умов експлуатації, що швидко змінюються.
- 5) Розробляються інтелектуальні системи моніторингу та управління експлуатацією ГТД на основі експертних систем та нейромережових технологій, розподілених баз даних та знань, що

дозволяють ефективно та якісно вирішувати широкий спектр комплексних завдань на основі кількісних та якісних моделей, об'єднаних єдиним інформаційним простором та віддаленим доступом на базі Intranet ресурсів, а також можливість використання даних підходів при вирішенні подібних завдань в умовах борту.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ГТД

Задача моніторингу технічного стану авіаційного ГТД передбачає вирішення наступних завдань:

- вирішення завдань моніторингу авіаційного двигуна у розподіленій системі автоматизації збору даних;
- розробка експертних систем в умовах розподілених баз даних та знань;
- взаємодія баз даних та знань на локальному та глобальному рівнях;

Відповідь на ці та інші питання дозволить обґрунтовано та ефективно вирішити задачу моніторингу стану авіаційного ГТД.

Останнім часом, під час створення складних інформаційних систем, роль системного моделювання значно зросла. Підтвердження тому - наявність вбудованих CASE засобів у сучасних базах даних (Oracle, Informix, R-Base та ін), а також у більшості експертних систем.

Однак присутність цих засобів як базові компоненти системного моделювання, на основі яких в кінцевому підсумку будується той чи інший додаток, ще не означає, що вони будуть правильно використовуватися при вирішенні прикладних завдань у тій чи іншій галузі застосування. Це пояснюється тим, що крім загальної автоматизації створення додатка, CASE засобами, досі відсутня відповідна методична та методологічна підтримка даного процесу. Тому, незважаючи на зовнішню простоту, загальний успіх системного моделювання визначається досвідом, знаннями і інтуїцією користувача.

Іншим аспектом цього процесу є об'єкт дослідження, складність якого зрештою визначає його подання (формалізацію) у рамках SADT - методології.

Виходячи зі сказаного вище, застосування методології системного моделювання на етапі проектування інтелектуальної системи моніторингу дозволяє обґрунтувати і сформулювати вимоги до майбутньої інтелектуальної системи, а також розробити системний проект, виділити повну безліч функцій і визначити взаємозв'язок її окремих компонент для подальшої реалізації у вигляді дослідницького прототипу експертної системи моніторингу параметрів авіаційного двигуна.

Формалізація інформаційного портрета ГТД у рамках SADT - методології та IDEF - технології є окремою проблемою, оскільки системна модель в кінцевому рахунку збирає всю інформацію про процес моніторингу авіаційного двигуна в інформаційну «купу». Тому основною задачею, що вирішується на даному етапі, є «прозорість» подання ГТД та його підсистем у процесі моніторингу (виділення основних функцій і задач), зв'язок інформаційних потоків з визначеними раніше структурами баз даних і знань, а також його взаємозв'язок у рамках сценаріїв роботи з експертною системою та зовнішніх інтерфейсів зі SCADA – системами, PDM та STEP – стандартами, CALS – технологією, іншими CASE засобами.

Таким чином, на основі системної моделі моніторингу, на етапі проектування інтелектуальної системи моніторингу параметрів авіаційного ГТД, з використанням SADT - методології та IDEF - технології необхідно виконати наступну послідовність кроків:

- розробити ряд функціональних моделей з метою виділення повної безлічі функцій та завдань, які вирішуються експертною системою;
- розробити ряд інформаційних моделей, що визначають логічну структуру баз даних і знань, а також способи та механізми управління ними та взаємодії (обґрунтування змісту, наповнення, управління інформаційними потоками);
- розробити динамічну модель, що визначає правила роботи з експертною системою, які є основою для створення інтерфейсу

(сценаріїв) з користувачем та визначають динаміку взаємодії експертної системи з базами даних та знань.

Завершальним етапом системного моделювання є системний проект, який формує контури дослідницького прототипу експертної системи та перелік вимог, що його реалізують.

2.1 Комплекс функціональних моделей процесу моніторингу параметрів авіаційного ГТД

Функціональна модель (рис. 2.1) є основою змістовного уявлення системного моделювання процесу моніторингу параметрів авіаційного двигуна.

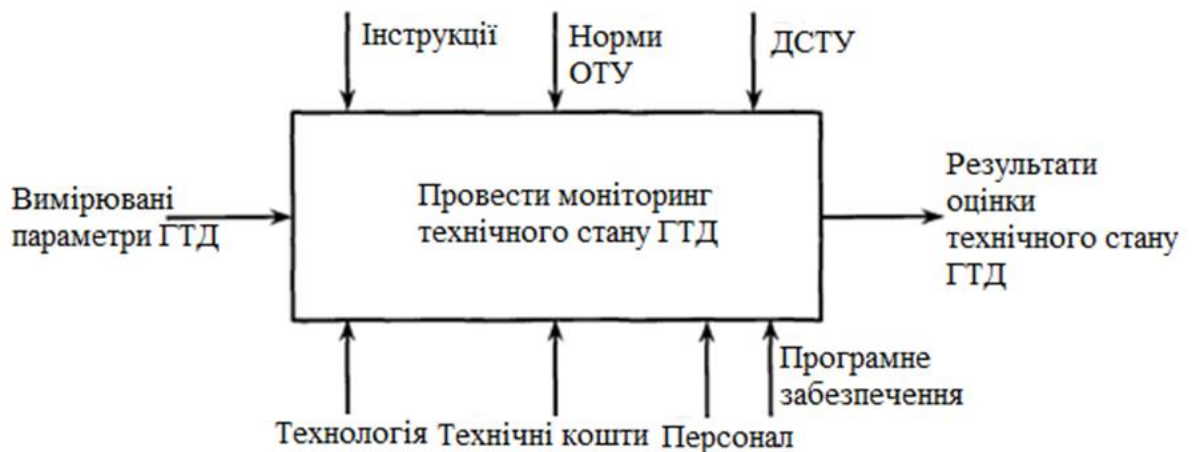


Рис.2.1 – Функціональна модель процесу моніторингу технічного стану ГТД

Вона може деталізуватися з урахуванням завдань, які вирішуватимуться у процесі моніторингу ГТД.

На рис. 2.1 наведено функціональну модель процесу моніторингу технічного стану ГТД. Аналіз сучасного стану процесу моніторингу технічного стану ГТД [13, 15] показує, що існуючі нормативні документи застаріли і вимагають істотних змін і до них. Це з новими міжнародними стандартами ISO 9000, і навіть з вимогами створення авіаційного ГТД у

єдиному інформаційному просторі всіх етапах життєвого циклу: створення цифрового портрета авіаційного двигуна.

Розробка інтегрованої розподіленої інтелектуальної системи, основною функцією якої є об'єднання систем підтримки прийняття рішень у рамках галузі, при виконанні широкого спектра завдань: випробувань, доведення, ремонту, експлуатації тощо. передбачає використання CALS-технології, SCADA-систем, РДМ-систем, STEP-стандартів, CASE-засобів [13].

Їх комплексне застосування на основі клієнт/серверних технологій дозволить ефективно та якісно проводити процес моніторингу технічного стану ГТД.

Технічні засоби, що застосовуються в процесі вирішення задач моніторингу технічного стану авіаційного ГТД, є: мережеве забезпечення (Internet); обчислювальна техніка, що має різну конфігурацію та обчислювальну платформу (від IBM PC до спаркстанцій), програмне забезпечення (порожні та спеціалізовані експертні оболонки; середовища моделювання Matead, Matlab, Maple, Mathematica і т.д.; об'єктно-орієнтовані мови програмування Java, C++, операційні системи - Windows, UNIX, NetWare, OS/2 та ін, бази даних випробувань, що зберігають виміряну на ГТД інформацію - Oracle, Informix, R-Base, Access, Fox Pro та ін; прикладних програм, розроблені для процесу моделювання і т.д.

Персонал, що є різноманітними підрозділами, що беруть участь у процесі інформаційного моніторингу технічного стану ГТД: оператори, адміністратори баз даних, інженери-розрахунки; інженери-програмісти, інженери випробувального стенду; діагности; інженери ВТК; спеціалісти з ремонту авіаційних ГТД; фахівці з надійності та ін.

Функціональна модель IDEF0 (рис. 2.1) декомпозується на ієрархію діаграм (рис. 2.2), що утворюють такі функціональні блоки:

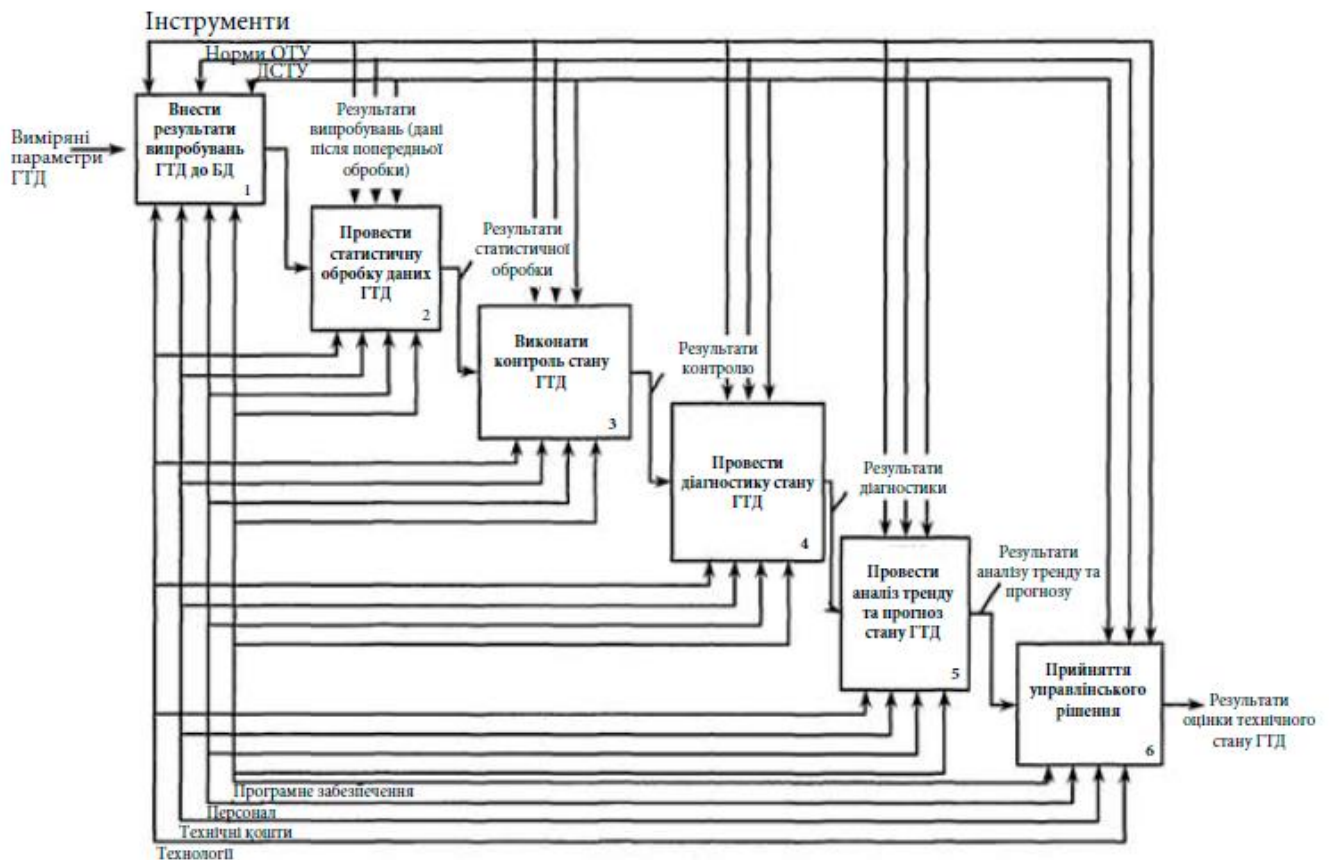


Рис. 2.2 – Функціональна модель процесу моніторингу технічного стану ГТД

1 - записати дані вимірювань ГТД (виміряні в процесі випробувань параметри авіаційного двигуна: нормуються, калібрують, масштабуються і записуються в базу даних випробувань у темпі реального часу);

2 – статистична обробка даних ГТД (кореляційний, факторний, регресійний аналіз тощо), результатом якої є відсіювання помилок вимірів (аномальних значень);

3 - контроль параметрів авіаційного двигуна, в процесі якого дається оцінка фактичного стану ГТД (двигун справний або несправний);

4 - діагностика стану ГТД, на підставі якої встановлюється наявність несправності та локалізується, місце її прояву;

5 - аналіз тренду параметрів та прогноз технічного стану ГТД, на підставі яких виявляються тенденції зміни параметрів авіаційного двигуна, а

також здійснюється короткостроковий, середньостроковий та довгостроковий прогноз їхньої поведінки;

б - прийняття рішення про технічний стан ГТД, на підставі якого здійснюється подальша експлуатація авіаційного двигуна або його зняття.

Деталізація функціонального блоку 1 на рис. 2.2 дає ієрархію діаграм (рис. 2.3), де як виконувані функції відзначені:

- 11 – фільтрація даних;
- 12 - нормування (масштабування) вимірних параметрів ГТД;
- 13 - візуалізація вимірних параметрів ГТД (графічна чи таблична інтерпретація результатів вимірів).

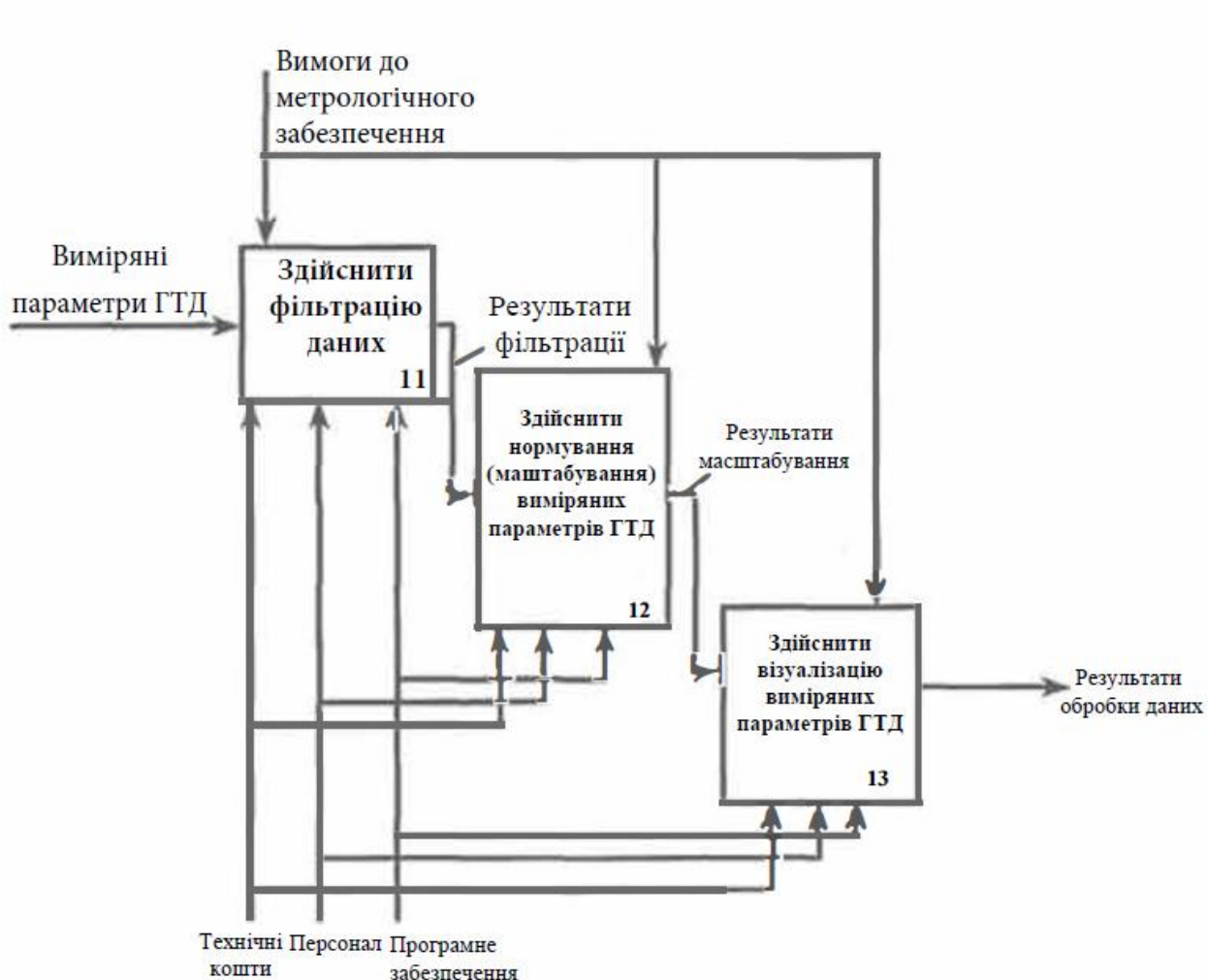


Рис. 2.3 – Передобробка даних із БД випробувань ГТД

За аналогією функціональна декомпозиція блоку 2 на рис. 2.2 представлена на рис. 2.4 у вигляді ієрархії діаграм, де блок 21 являє собою підсистему аналізу статистичних характеристик вибірки, на вхід якого надходять дані після перед-обробки, а на його виході - результати статистичного аналізу. Вони є вихідним матеріалом для блоку 22, що проводить кореляційний аналіз вибірки. Результати роботи даного блоку подаються до блоку 23 - видалення аномальних значень з вибірки, який «фільтрує» вибірку, видаляючи явні помилки вимірів. Функції та механізми керування описані вище.

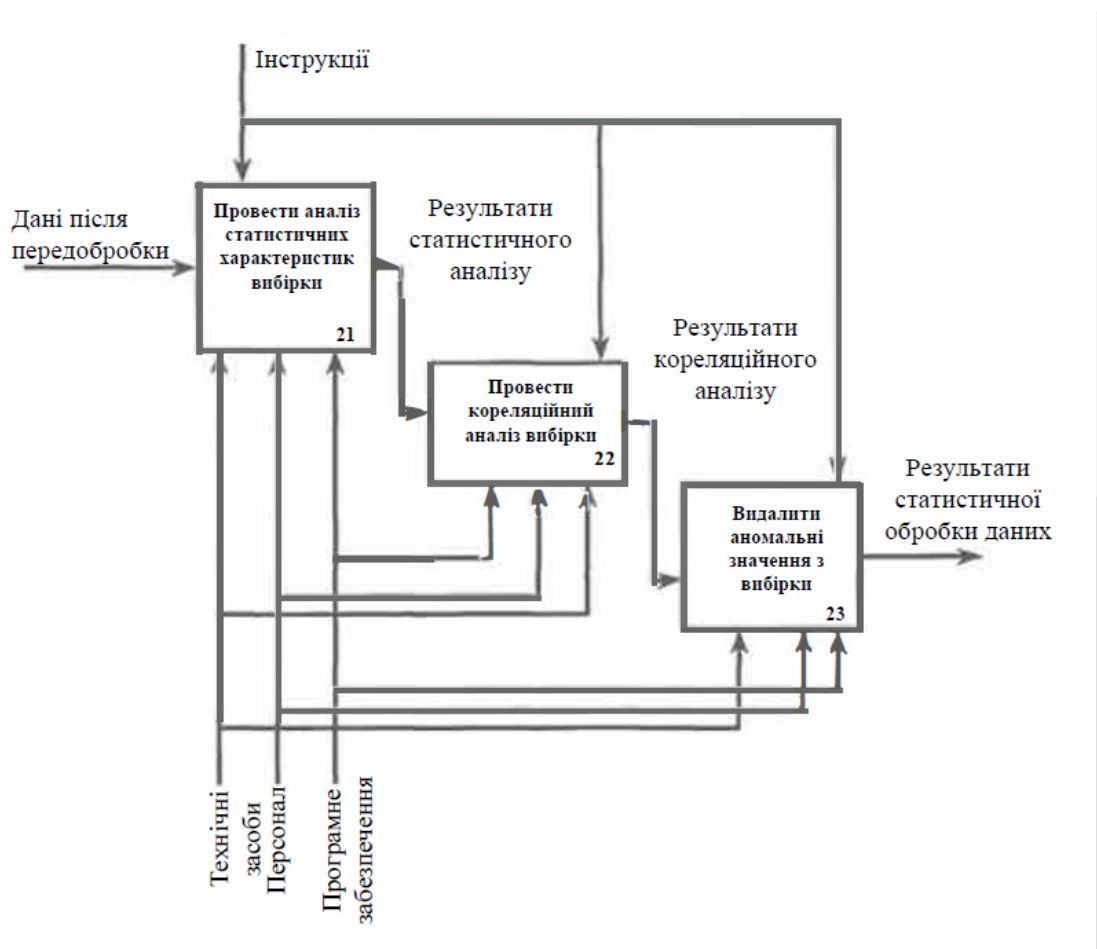


Рис. 2.4 – Статистична обробка даних із бази даних випробувань ГТД

Деталізація блоку 3 на рис. 2.2 показано на рис. 2.5, де процес контролю технічного стану ГТД представлений наступними функціональними блоками: 31 - контроль технічного стану проточної частини ГТД (результати контролю термогазодинамічних параметрів авіаційного двигуна); 32 - контроль технічного стану паливно-масляної системи ГТД (елементи, вузли, агрегати паливно-масляної системи); 33 - контроль технічного стану гідравлічної системи ГТД (елементи, вузли, агрегати гідромеханічної системи авіаційного двигуна). При цьому на вхід блоків 31-33 надходять результати статистичної обробки, а на вхід блоку 31 додатково оброблені дані (результати їх попереднього нормування, калібрування і масштабування).

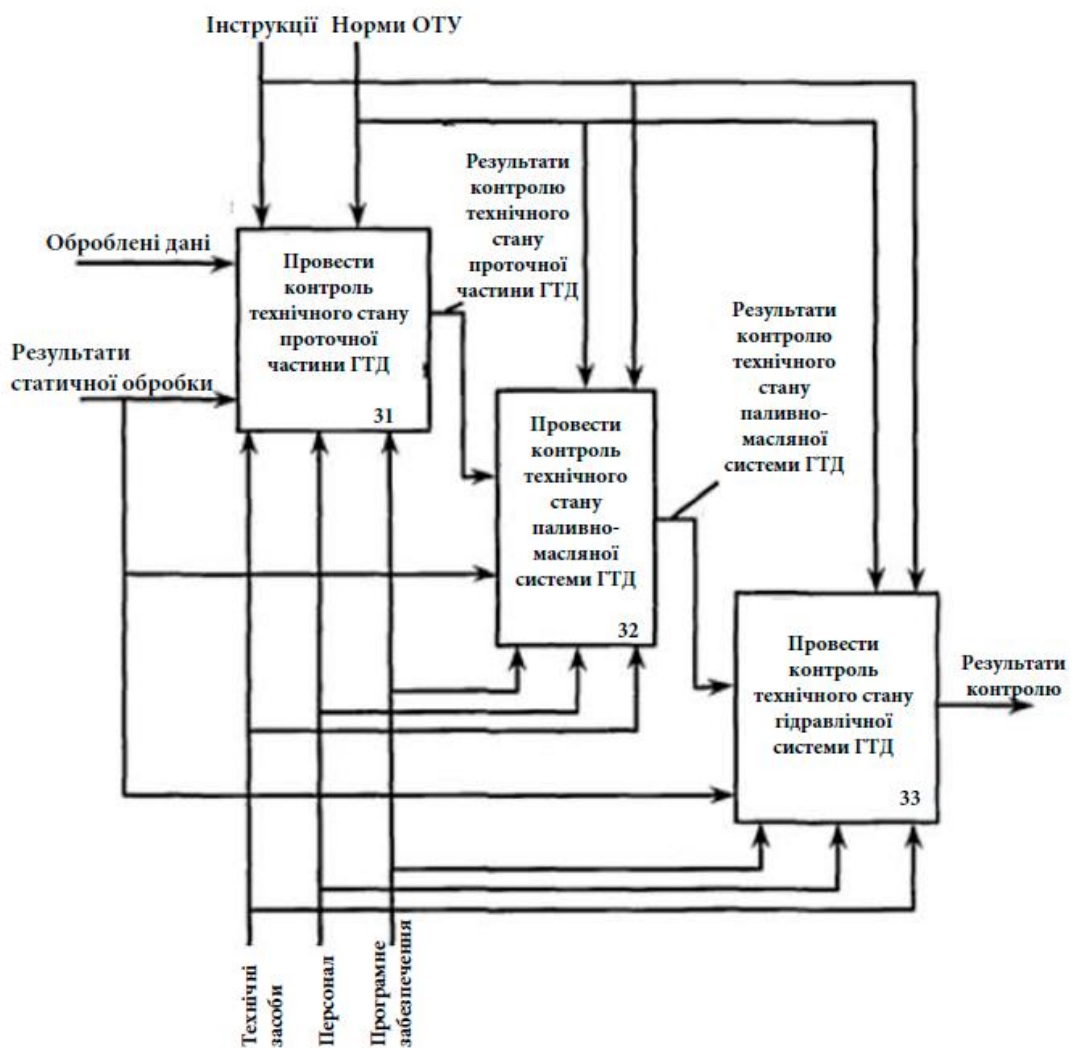


Рис. 2.5 – Контроль технічного стану ГТД

2.2 Комплекс інформаційних моделей процесу моніторингу параметрів авіаційного ГТД

Розробка комплексу інформаційних моделей для динамічних баз даних та знань, які спільно з контролером і планувальником утворюють ядро майбутньої експертної системи. Комплекс інформаційних моделей насамперед показує інформаційно-логічну взаємодію файлів даних у базах даних та знань експертної системи.

Інформаційна модель процесу моніторингу стану ГТД наведено на рис. 2.6. Вона показує послідовність (логіку) виконуваних дій при маніпулюванні з окремими файлами у базі даних експертної системи. Кожен із розглянутих на рис. 2.6 інформаційних об'єктів визначається значенням відповідних атрибутів: П.І.Б. відповідального за випробування, дата створення файлу, адреса фізичного пристрою, на якому знаходиться цей файл і т.д. Усі вони взаємодіють із різнорідною базою знань, що містить концептуальні та експертні знання, а також прецеденти. Процес взаємодії різнорідних баз знань експертної системи моніторингу стану авіаційного ГТД показаний на рис. 2.7.

Тут основним сполучним, координаційним і обчислювальним елементом є контролер, що здійснює спільно з планувальником управління процесом взаємодії між системами управління базами даних та знань.

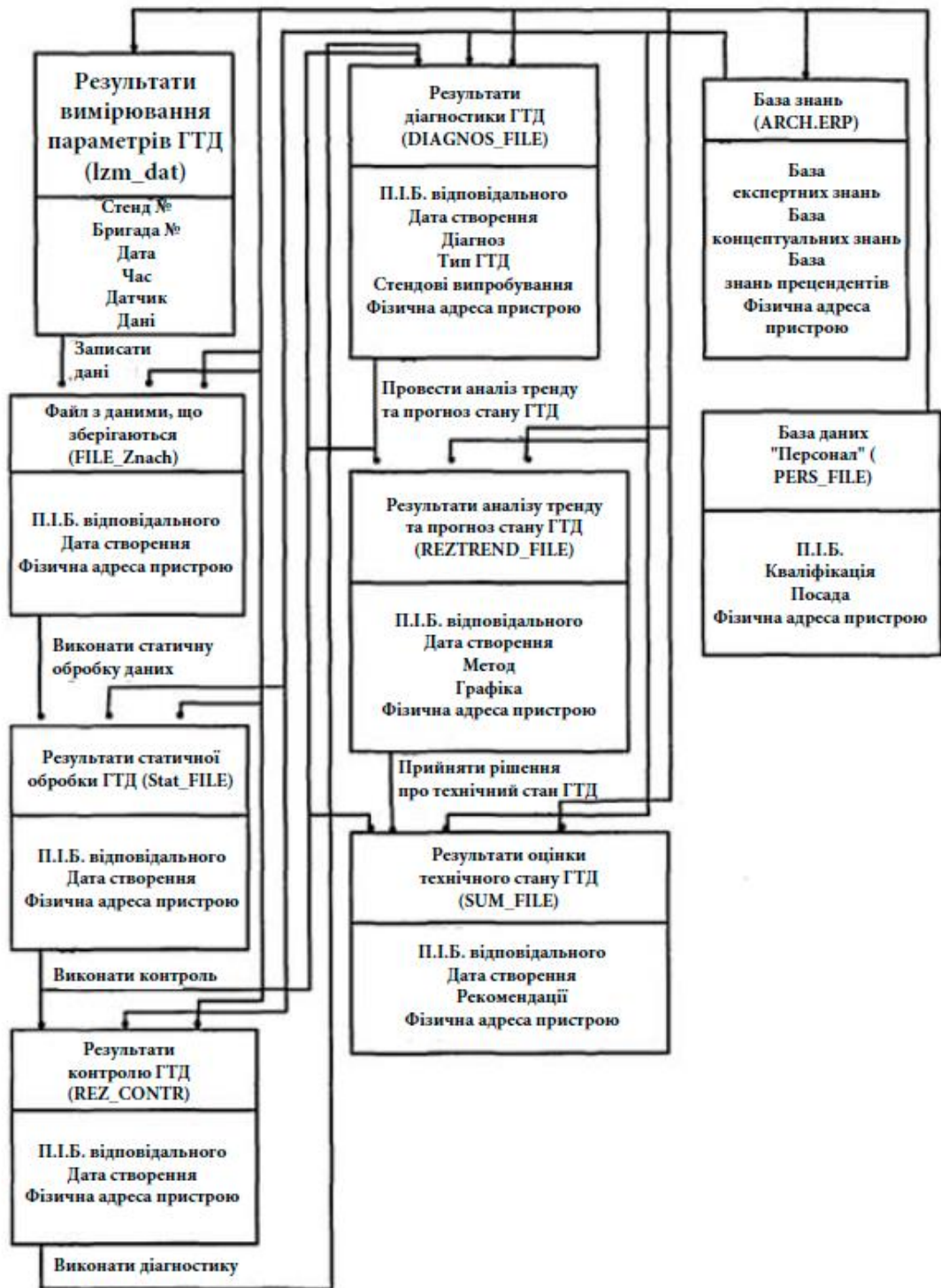


Рис. 2.6 – Інформаційна модель процесів моніторингу стану ГТД

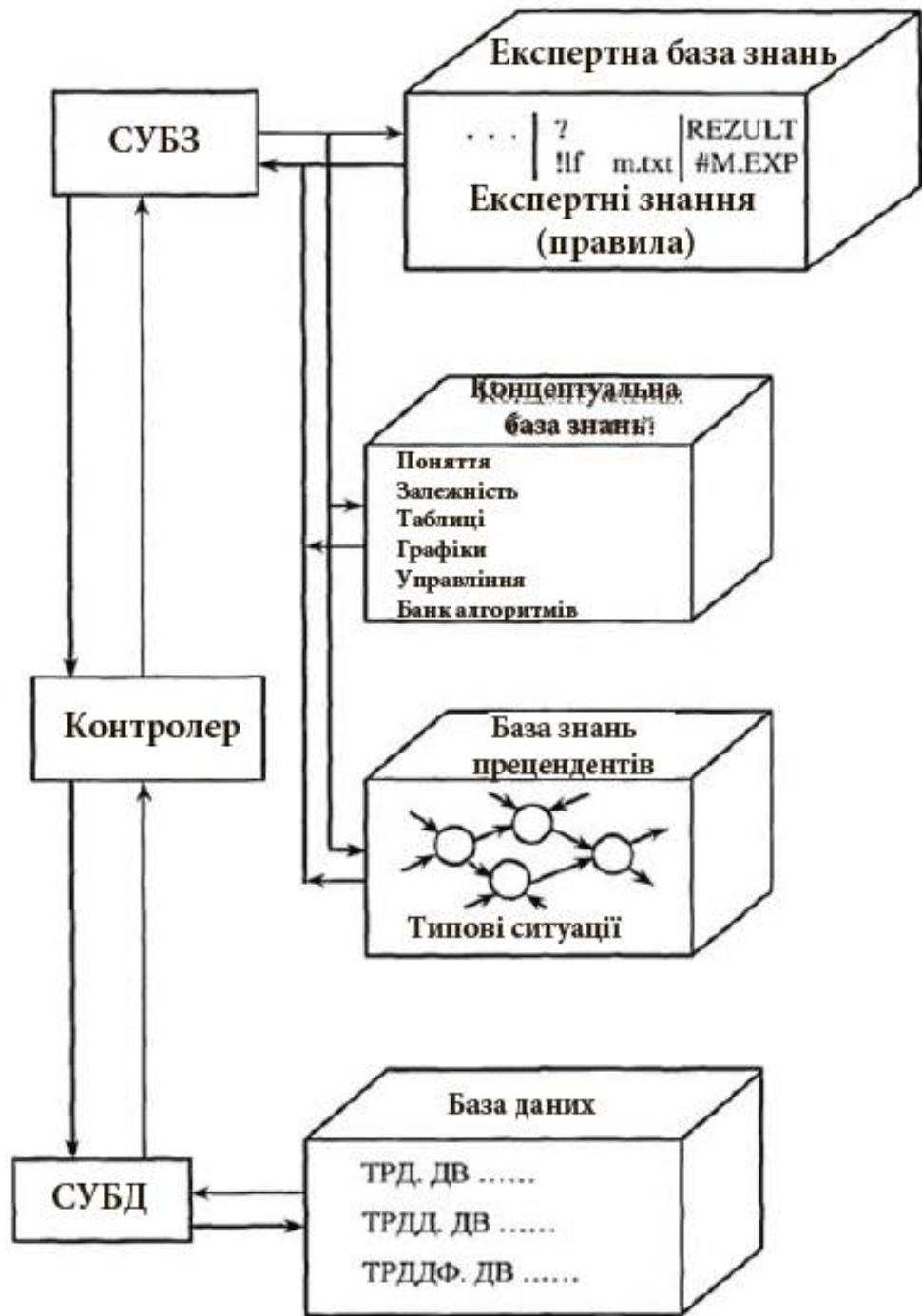


Рис. 2.7 – Взаємодія різномірних баз знань та бази даних у процесі моніторингу стану ГТД експертною системою

На рис. 2.8. показана реляційна, багатовимірна, тимчасова база даних контролю технічного стану авіаційного двигуна, яка зберігає результати контролю, отримані в ході стендових випробувань серійних або індивідуальних ГТД. Користувач на основі МЕНЮ - орієнтованого

інтерфейсу може здійснювати різні запити до бази даних як для окремих ГТД та їх параметрів, так і для групи серійних двигунів. Для цього йому необхідно вказати таку інформацію: тип двигуна, серійний номер, номер випробувального стенду, режим випробувань, дату проведення випробувань, які системи та параметри цих систем контролюються тощо. На основі введених даних буде здійснено пошук інформації як по окремих полях бази даних, так і по групі полів.

Для розробки такої бази даних необхідно сформулювати ряд вимог, реалізація яких дозволить правильно вибрати СУБД і на її основі здійснити формування системного проекту та експертної системи моніторингу стану ГТД [16].

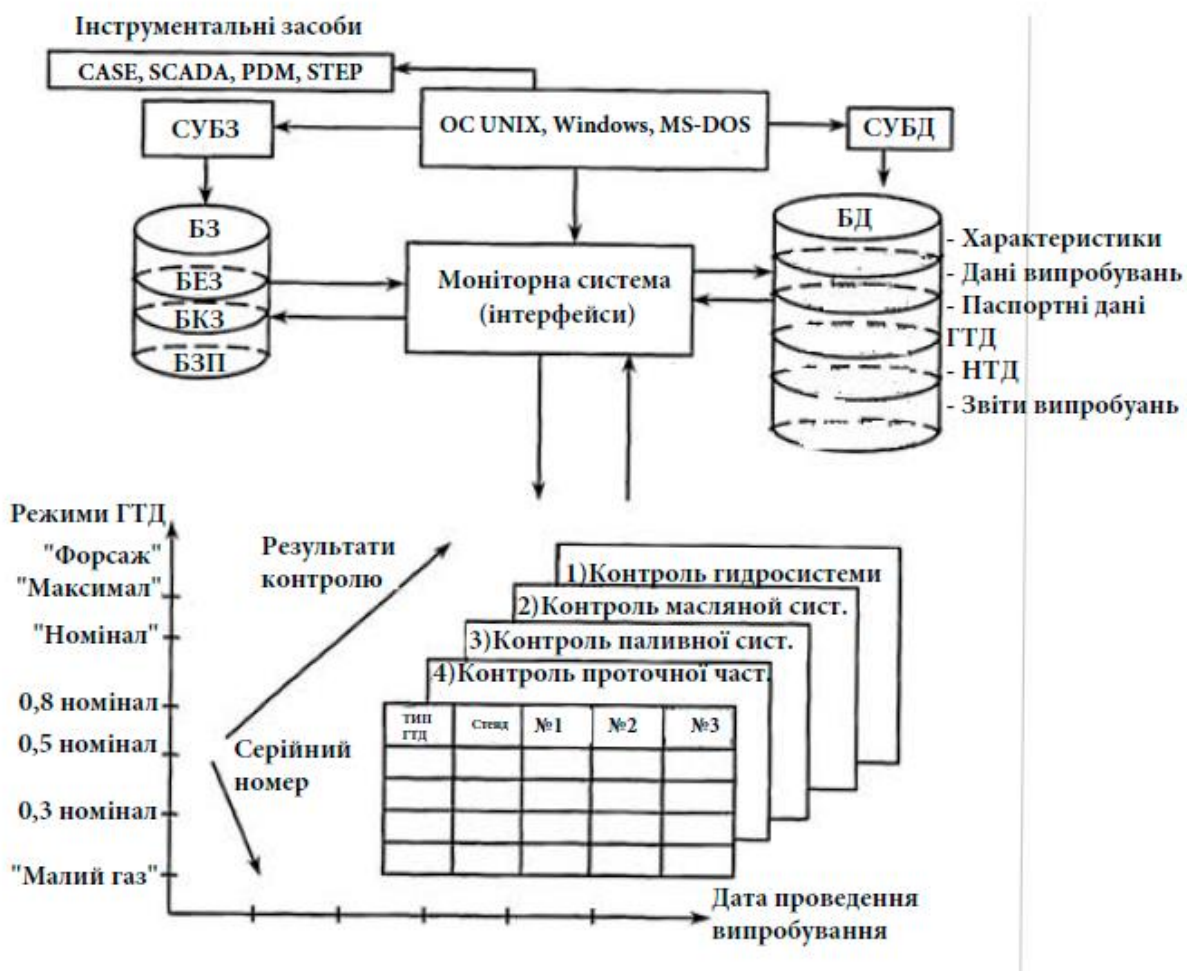


Рис. 2.8 – Багатовимірний тимчасовий базис даних контролю стану ГТД

Серед основних вимог, що висуваються до БД, можна виділити такі:

- розподілений (мережевий) характер БД;
- віддалений доступ;
- багатовимірність;
- обробка поряд з класичними та нечіткими запитами;
- виняток інформаційної надмірності БД;
- забезпечення цілісності БД;
- забезпечення функцій інформаційно-пошукової системи;
- МЕНЮ – орієнтований інтерфейс.

2.3 Динамічна модель процесу моніторингу технічного стану авіаційного ГТД

Метою створення динамічної моделі є відпрацювання логіки функціонування та взаємодії планувальника, контролера та баз знань експертної системи в процесі моніторингу технічного стану авіаційного ГТД.

Розглянемо процес функціонування експертної системи моніторингу технічного стану ГТД, що розробляється. Виміряні в процесі стендових випробувань параметри авіаційного двигуна нормують, калібрують, масштабують і записують в тимчасову базу даних «Випробування ГТД» у вигляді окремого файлу. У разі виникнення нештатної ситуації (втрата всієї або частини вимірної інформації внаслідок перешкод, шумів, збоїв тощо) у проєктованій експертній системі передбачена можливість перезапису даних.

Для цього процес вимірювань дублюється і дані вимірювань одночасно записуються в кілька файлів. Далі здійснюється по-компонентне порівняння всіх записів файлу в базі даних і часового файлу, що зберігається, наприклад, на сервері відділу «Надійності», що проводила випробування ГТД. У разі повного збігу тимчасовий файл знищується, інакше дані з цього файлу копіюються до бази даних «Випробування ГТД».

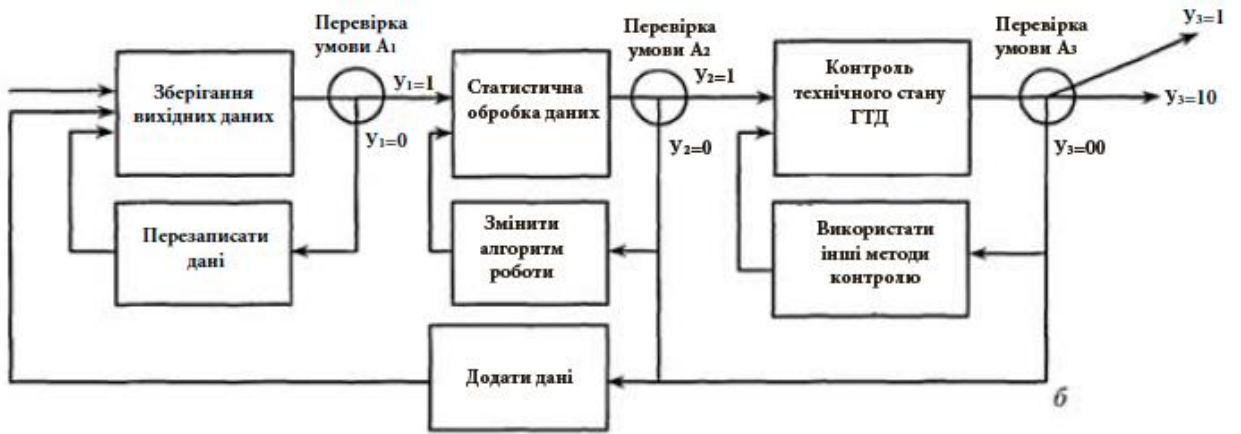


Рис. 2.9, а – Алгоритм моніторингу стану ГТД

- A_1 - дані записані правильно, продубльовані, мають доступ та захищені від несанкціонованого доступу.
- A_2 - результати статистичної обробки виконані відповідно до заданих вимог.
- A_3 - можна зробити однозначний висновок про стан ГТД: $y_3 = 01$ - ГТД справний; $y_3 = 10$ - ГТД несправний; $y_3 = 00$ - не можна зробити висновки.



Рис. 2.9, б – Алгоритм моніторингу стану ГТД

- A_4 - можна зробити висновок про технічний стан ГТД: $y_4 = 01$ - ГТД справний; $y_4 = 10$ - ГТД несправний з локалізацією місця відмови; $y_4 = 00$ - не можна зробити висновки.

- A_5 - можна дійти невтішного висновку про результати прогнозу технічного стану ГТД: ; $y_5 = 00$ - ГТД справний у майбутні моменти часу його функціонування; ; $y_5 = 1$ - ГТД несправний у майбутні моменти часу його функціонування.

Наступним етапом процесу моніторингу авіаційного двигуна, що виконується експертною системою, є статистична обробка даних вимірювань з метою виявлення аномальних даних. Для цих цілей експертна система використовує стандартні бібліотеки програм - утиліт середовища STATISTICA, що дозволяє застосовувати кореляційний, факторний, кластерний та інші методи аналізу даних. Відповідно до логіки роботи проекрованої експертної системи (умова A_2): якщо в процесі статистичної обробки даних, застосований метод не задовольняє заданим вимогам, наприклад метод найменших квадратів, то він може бути замінений будь-яким альтернативним або новим методом (включеним у середу експертної системи за бажанням користувача), додаткових даних з бази даних «Випробовування ГТД».

Якщо вимоги статистичної обробки даних повністю виконані, то експертна система здійснює контроль технічного стану ГТД відповідно до умови A_3 . Слід зазначити, що найпоширенішим методом контролю - метод допустимого контролю [15]. Якщо в процесі контролю експертна система не може зробити однозначний висновок про стан ГТД, то, як і у разі статистичної обробки даних, вона переходить до використання альтернативного методу контролю, наприклад, контролю за змінними допусками або нечіткими правилами із застосуванням нейромережевих методів т.д., т.п. плавний перехід від кількісних моделей до якісних з використанням методів штучного інтелекту, а вони, як і на попередньому кроці, можуть вимагати додаткових даних з бази даних «Випробування ГТД».

Якщо в процесі контролю авіаційного двигуна експертна система робить висновок про його справність, то останньою приймається рішення про

подальшу експлуатацію ГТД з подальшим розв'язанням задачі прогнозу його технічного стану. Якщо процесі контролю технічного стану ГТД експертна система може зробити однозначний висновок про несправність його технічного стану, то наступним логічним кроком є локалізація місця прояви відмови. Для цього експертною системою вирішується завдання діагностики.

У процесі вирішення цього завдання експертною системою можливі наступні рішення:

- двигун справний і приймається рішення про продовження його експлуатації;
- двигун несправний і приймається рішення про зняття його з експлуатації;
- не можна зробити однозначного висновку про стан ГТД і тоді в цьому випадку експертна система буде використовувати інші діагностичні методи, наприклад, метод діагностичних матриць, метод зрівнювання, будь-яким іншим альтернативним методом або методами, що враховують якісне зміна характеристик ГТД (методи штучного інтелекту), а вони, як і в процесі контролю, можуть вимагати додаткових даних із бази даних «Випробування ГТД».

Якщо в процесі контролю та діагностики технічного стану ГТД експертна система приймає рішення «СПРАВНИЙ», то надалі вона здійснює прогноз стану авіаційного двигуна, за результатами якого перевіряється умова A_5 (рис. 2.9, б).

Якщо в процесі прогнозу експертна система приймає рішення «СПРАВНИЙ» у майбутні моменти часу його функціонування, то приймається остаточне рішення про придатність ГТД та його подальшу експлуатацію. В іншому випадку, авіаційний двигун відправляється на доопрацювання.

Якщо в процесі прогнозу технічного стану авіаційного двигуна експертна система не може зробити однозначного висновку про результати

прогнозу, то вона як і на попередніх кроках (статистичної обробки, контролю, діагностики) використовує інші методи прогнозу, наприклад, ковзного середнього експонентного згладжування. або методи штучного інтелекту, де, як зазначалося вище, можуть бути потрібні додаткові дані з бази даних «Випробовування ГТД».

До інтерфейсу експертної системи пред'являються такі вимоги:

- МЕНЮ - орієнтований інтерфейс, що визначає послідовність вирішуваних експертною системою завдань моніторингу параметрів ГТД;
- автономний режим роботи (користувацький режим);
- режим роботи з екпертом (робота з базою знань).

Основними вимогами до бази знань є:

- різнорідний (гібридний) характер оброблюваних знань (семантичні мережі, фрейми, продукції);
- реалізація нечітких правил;
- гібридний характер уявлення знань (концептуальні, експертні, база знань прецедентів; нейромережеві бази знань);
- виняток інформаційної надмірності знань у базі знань;
- динамізм поповнення знань у основі знань;
- можливість взаємодії з іншими базами знань;
- узагальнення знань та формування пояснень на основі обчислювальної моделі.

2.4 Висновок до розділу

1. Запропоновано підхід до формалізації процесів інформаційного моніторингу технічного стану авіаційного ГТД на основі системного аналізу та IDEF – технологій.

2. Проаналізований комплекс функціональних моделей процесів моніторингу авіаційного двигуна на основі технології IDEF, що дозволяє

виділяти основний спектр завдань та сформулювати вимоги до їх реалізації у складі експертної системи моніторингу технічного стану ГТД.

3. Проаналізований комплекс інформаційних моделей процесу моніторингу технічного стану авіаційного двигуна, на основі технології IDEF/1X, що дозволяє визначити логічну структуру та механізми взаємодії баз даних та баз знань у складі експертної системи моніторингу ГТД.

4. Проаналізована динамічна модель процесів моніторингу технічного стану авіаційного двигуна на основі IDEF/CPN, що дозволяє визначити вимоги до механізму логічного висновку у процесі виконання функцій моніторингу експертною системою.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЬ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГТД НА БАЗІ АВІАЦІЙНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.

При використанні нейронних мереж для вирішення завдань моніторингу ГТД наявна апріорна інформація пред'являється нейронній мережі у вигляді готових рішень (задачників), на основі яких здійснюється процес навчання (до-навчання). При оцінці якості роботи мережі на її вхід подаються дані з тестової вибірки, на основі яких вона обчислює вектор відхилень (різницю між виходом нейронної мережі та бажаними характеристиками).

Нейромережева модель ГТД є гнучким «інструментом» у процесі моніторингу технічного стану авіаційного двигуна. Спектр задач, розв'язуваних такою моделлю, досить широкий: від завдань контролю технічного стану ГТД до налагодження параметрів роботи.

Основні етапи інженерної методики побудови нейромережевої моделі, які надалі уточнюватимуть залежно від специфіки розв'язуваного завдання, включає:

- 1) Попередній аналіз даних на етапі постановки задачі та вибору архітектури нейронної мережі.
- 2) Перетворення даних (перед-опрацювання) для побудови більш ефективної процедури налаштування мережі.
- 3) Вибір архітектури нейронної мережі.
- 4) Вибір структури нейронної мережі.
- 5) Вибір алгоритму навчання.
- 6) Навчання та тестування нейронної мережі.
- 7) Аналіз точності нейромережевого рішення.
- 8) Ухвалення рішення на основі отриманих результатів.

3.1 Короткий огляд нейромережових експертних систем

Аналіз сучасних нейромережових експертних систем і відповідно підходів до їх розробки показує [17, 18], що в даний час існують дві самостійні тенденції їх розвитку:

- підходи, у яких поняття предметної області представлені елементами нейронної мережі, а сполуки та активності елементів становлять характер і рівень впливу понять предметної області інші поняття (чи його взаємодії);
- підходи, у яких поняття предметної області представлені образами активностей деякої сукупності елементів мережі, а відносини між поняттями представлені підмережею, яка обчислює образ активності вихідних елементів через образ активності вхідних елементів.

У цих тенденцій можна назвати такі два напрями в створення нейромережових експертних систем:

- у першому випадку відмовляються від традиційної архітектури експертної системи та розвивають її на абсолютно нових принципах, для цього всі поняття предметної галузі та відносини між ними перераховуються у явному вигляді на стадії її створення;
- у другому випадку зберігають традиційну архітектуру експертної системи та за допомогою нейронних мереж реалізують традиційні її компоненти, тоді в цьому випадку можливе неявне завдання як понять, так і відносин, що робить цей підхід більш застосовним для складних і малодосліджених предметних областей, проте принципова конструктивна новизна проявляється тут лише на рівні підсистем, а чи не системи загалом.

Аналіз застосування нейромережових експертних систем показує, що вони активно розвиваються і застосовуються в різних науково-технічних додатках, однак через вузьку спеціалізацію останніх їх застосування обмежується.

Серед основних вимог, що висуваються до сучасних експертних систем контролю та діагностики ГТД, виділяють використання в них, поряд з кількісними моделями, що максимально враховують фізичні процеси, що відбуваються в двигуні, також якісні моделі на основі нейронних мереж, що враховують індивідуальні характеристики окремих ГТД. Це поєднання підвищує достовірність і точність процесів, що розглядаються нейромережевою експертною системою, а отже, якість прийнятих нею рішень. Цей підхід використовується при розробці нейромережових експертних системи (ЕС).

У нейромережовій ЕС завдання моніторингу технічного стану авіаційного двигуна вирішується наступним чином: враховуються кількісна та якісна оцінка його фактичного технічного стану та з урахуванням цього приймається рішення про подальшу експлуатацію авіаційного двигуна. Спектр завдань, розв'язуваних даною експертною системою широкий: класифікація режимів, ідентифікація, контроль, діагностика, аналіз часових рядів (прогнозування), налагодження параметрів двигуна та ін.

3.2 Загальна структура нейромережевої експертної системи

Нейромережна експертна система розробляється відповідно до вимог, наведених у 2-му розділі з розширеним середовищем моделювання MATLAB. Дана експертна система може бути доведена до промислової реалізації. Її структура наведена на рис. 3.1 де БЗ - база знань; НСМ – нейромережеві модулі; БКЗ – основа концептуальних знань; БЕЗ – база експертних знань; БНП – база нечітких правил; БЗП – база знань прецедентів; БДІ – база даних випробувань; СУБД та СУБЗ - системи управління базами даних та базами знань. ЕС належить до четвертого покоління експертних систем [19], яким властивий динамізм БЗ та підсистем логічного висновку, а також наявність яскраво виражених адаптивних властивостей, розвиненого інтерфейсу не тільки з користувачем, але й із зовнішнім середовищем.

Як і в будь-якій іншій ЕС, в ній існує два основних режими: експертний та користувача.

У першому випадку здійснюється наповнення баз знань та їх тестування. У другому система працює у режимі експерта, тобто. вирішує завдання, що пред'являються користувачем, а також нові завдання, що виникають у процесі стендових випробувань.

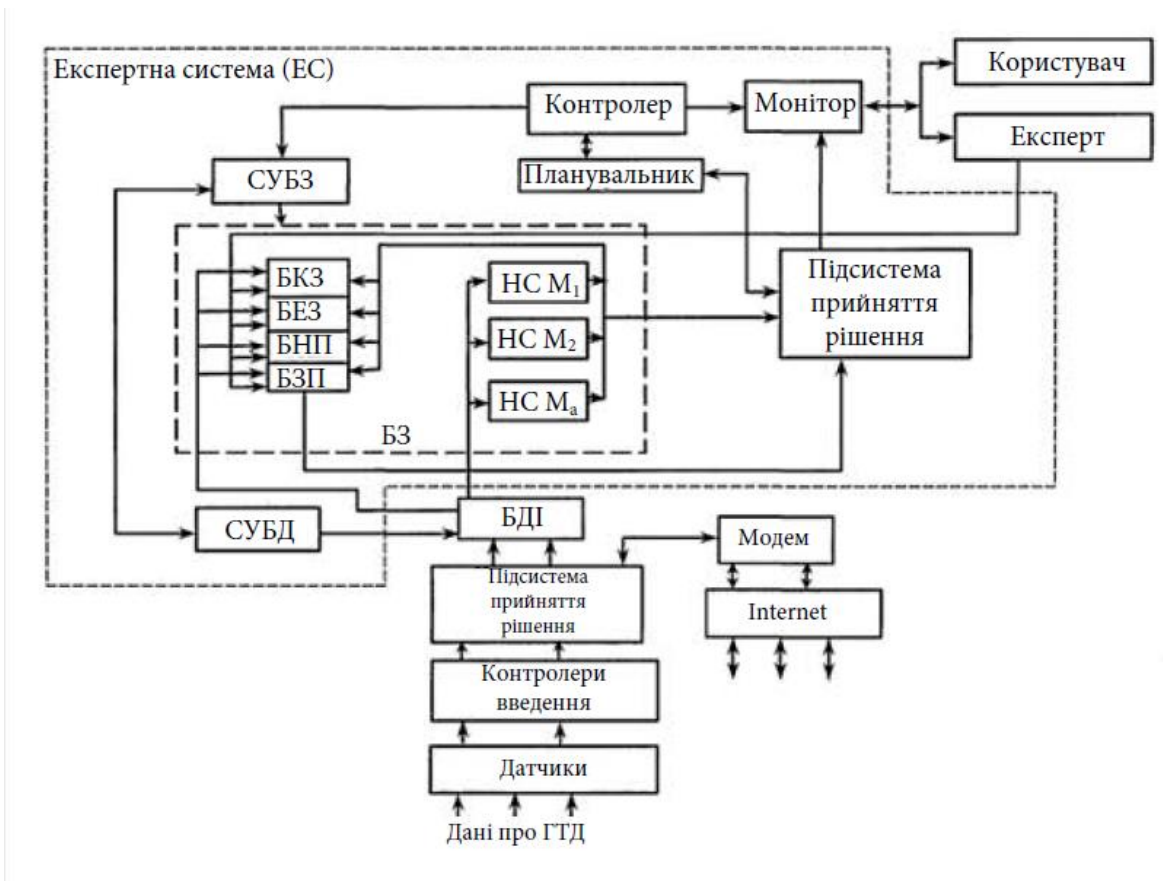


Рис. 3.1 – Структура неймережевої ЕС контролю та діагностики ГТД

До основних відмінних рис розробленої ЕС, слід віднести:

- наявність неймережевої бази знань, утвореної неймережевими модулями, що вирішують широкий спектр завдань контролю та діагностики технічного стану авіаційного двигуна;
- наявність бази нечітких правил та бази знань прецедентів, що підвищують ефективність та якість вирішення завдань контролю та діагностики ГТД;

- наявність мережевої компоненти, що дозволяє в режимі реального часу обмінюватися протоколами випробувань серійних ГТД і накопичувати досвід їх експлуатації, одночасно виділяючи і доповнюючи знання в БЗ.

Ядром ЕС, координуючим процес міжмодульної взаємодії, а також підтримуючим інтерфейс з користувачем, є керуюча програма-монітор, що забезпечує внутрішній «сценарій роботи» з блоками системи та інтерфейс з різними середовищами моделювання.

Машина логічного висновку утворена трьома основними компонентами: контролером, планувальником та модулем прийняття рішення. Контролер формує завдання та здійснює її вирішення. Планувальник здійснює планування необхідних обчислювальних ресурсів на вирішення поставленої задачі. Модуль ухвалення рішення формує вирішальне правило, на підставі якого нейромережева ЕС приймає рішення про технічний стан ГТД.

База знань нейромережевої ЕС є об'єднання різнорідних знань: експертну та нейромережеву базу знань. Експертна база знань враховує кількісну складову процесу контролю та діагностики авіаційного двигуна, а нейромережева база знань – його якісну (неформальну) частину.

Складові компоненти експертної бази знань: бази концептуальних та експертних знань, бази нечітких правил у вигляді функцій належності лінгвістичних змінних та бази знань прецедентів у процесі вирішення практичних завдань.

Нейромережна БЗ представлена нейромережевими модулями, що забезпечують вирішення наступних завдань (рис. 3.2).

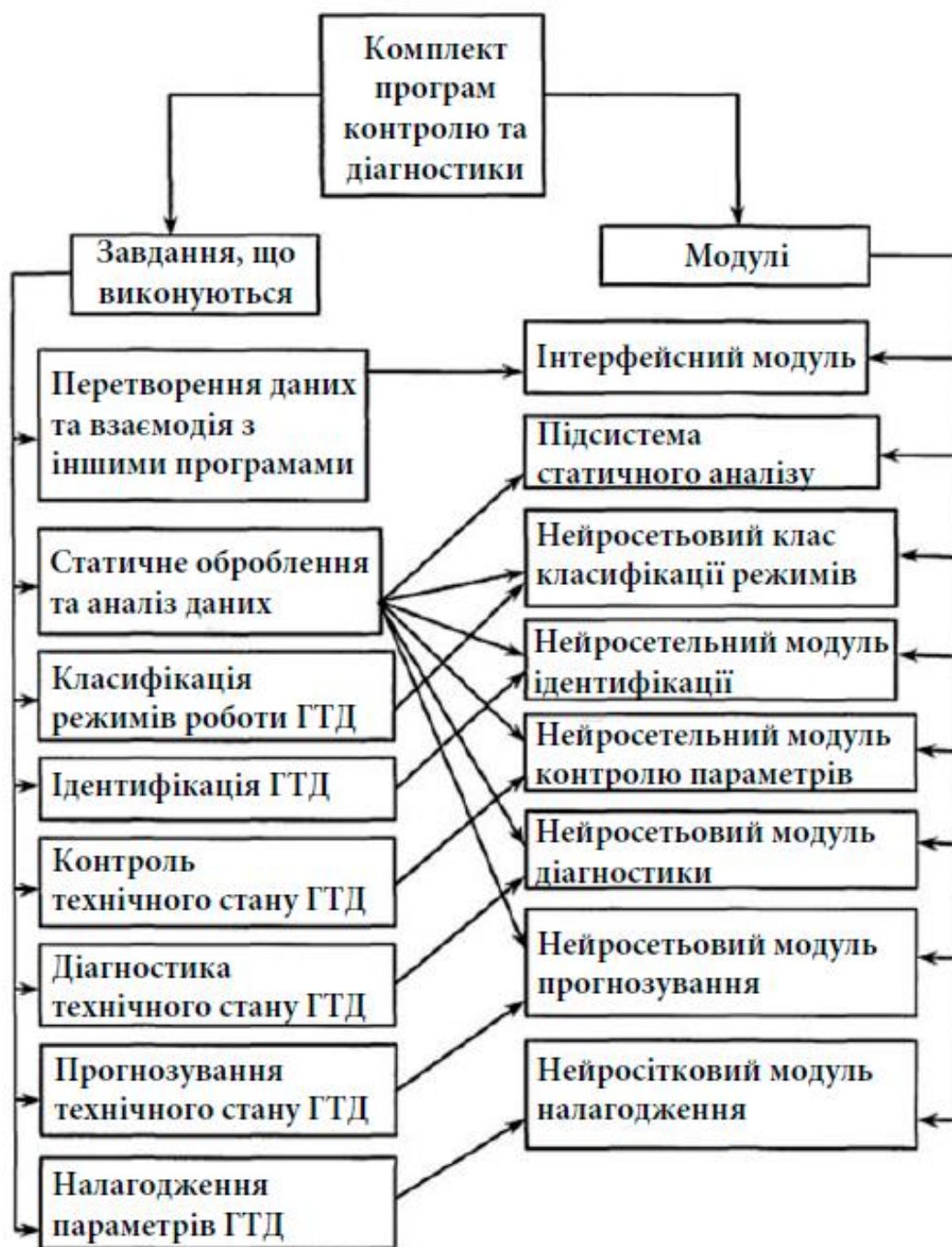


Рис. 3.2 – Класи розв'язуваних завдань та основні моделі нейромережевої ЕС

Процес управління (координації) різномірними базами знань здійснюється системою управління базами знань. При цьому кількісна модель, що формується в БКЗ на основі формул, залежностей, фактів, правил, законів, закономірностей, а також уточнена в БЗ експертними знаннями у

вигляді продукції, семантичних мереж та фреймів, доповнюється якісною інформацією з НСМ.

Дані, що враховують індивідуальні особливості конкретного ГТД або середньостатистичного парку двигуна, надходять на нейромережеві модулі з БДІ (тимчасова БД реляційного типу), керованої СУБД, вбудованої в ЕС.

Контроль над СУБЗ та СУБД здійснюється експертом у процесі вирішення поставленого завдання.

Взаємодія нейромережевої ЕС з ГТД здійснюється через датчики, контролери введення та підсистему обробки даних. Зв'язок із мережевими ресурсами в рамках підприємств галузі або окремо взятого підприємства може здійснюватися через модем та мережу Intranet.. Вхідні дані нейромережевої ЕС зберігаються у файлах різних форматів (текстовому, таблиць Excel, баз даних Paradox, Database, Access та ін.). Це дозволяє зняти обмеження розміру файлів даних, стандартизувати процес введення даних, дозволяє з використанням SQL запитів проводити вибірки даних за заданими параметрами ГТД, а також дозволяє використовувати дані, підготовлені в інших додатках. ЕС, поряд із вбудованою мовою об'єктно-орієнтованого типу (НУТ), використовувалися інші мови програмування (C++, Асемблер) та середовища розробки інтерфейсу, але всі вони сумісні між собою за даними.

Особливістю нейромережевої ЕС є її модульність та відкритість, що дозволяє додавати до неї нові алгоритми контролю та діагностики.

Процес контролю та діагностики в нейромережевій ЕС розбитий на окремі етапи: перетворення даних, статистична обробка, класифікація режимів, ідентифікація тощо. Виконання цих етапів здійснюється шляхом підключення програмного модуля.

Схема функціонування ЕС показана на рис. 3.3. Дані навчальної вибірки використовуються як вихідні дані, оброблюваних нейромережевий ЕС, яка забезпечує їх попередню обробку, після чого в залежності від розв'язуваного завдання контролю та діагностики технічного стану ГТД, використовується той чи інший нейромережевий модуль.

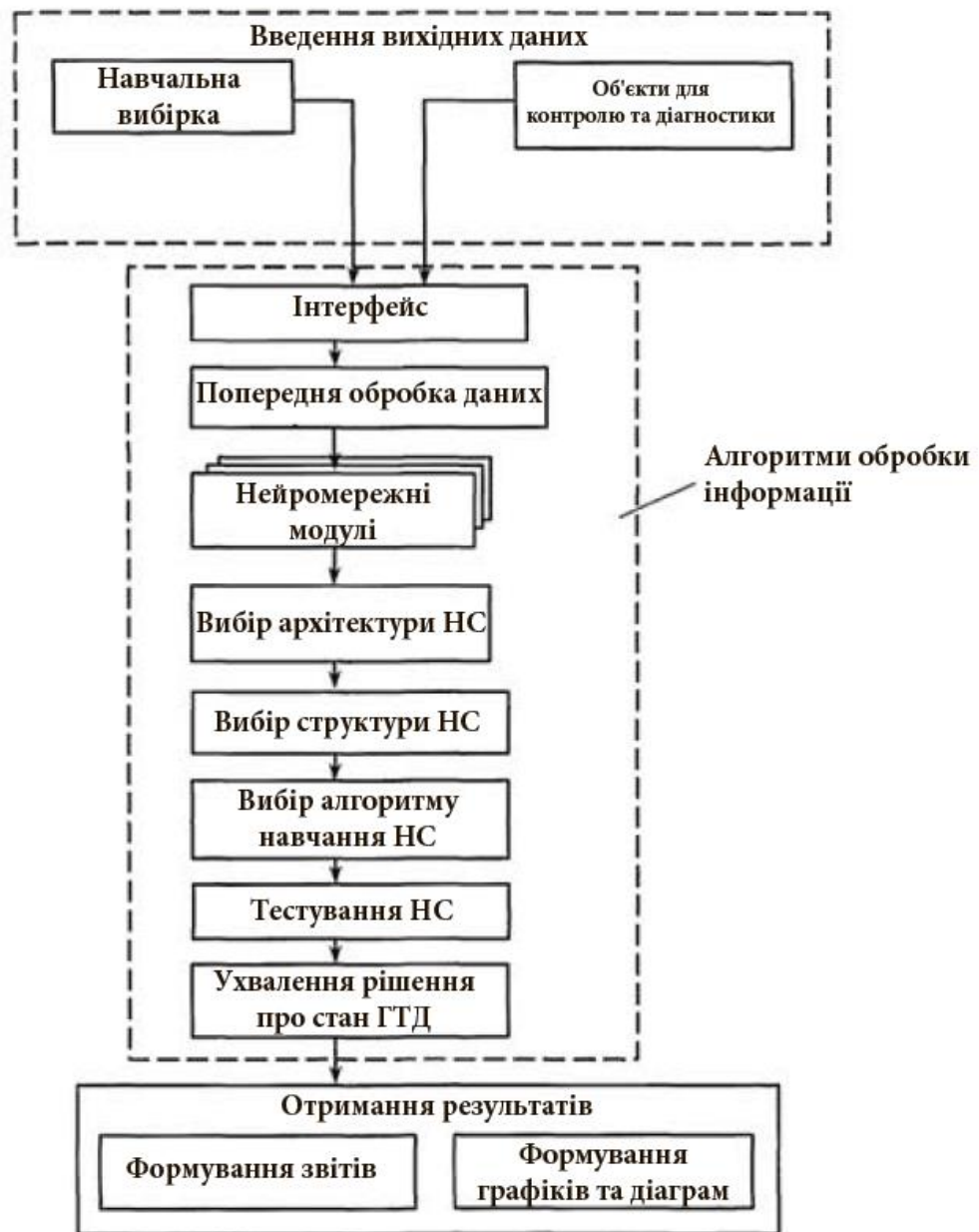


Рис. 3.3 – Схема функціонування експертної системи

Вхідні дані можуть бути представлені у файлах наступних форматів: текстовому, таблиць Excel, баз даних Access, Sybase, Informix та ін). Вихідні дані подаються у текстовому форматі, а також у форматах тих самих баз даних, що й вхідні дані. Крім того, вихідні дані (звіти) можуть бути скопійовані в область обміну ОС Windows і використовуватися надалі при вирішенні комплексних завдань контролю та діагностики авіаційного двигуна.

Нейромережні модулі, що входять до складу БЗ нейромережевої ЕС, можуть працювати незалежно один від одного. При цьому вони сумісні за даними не тільки між собою, а й усіма компонентами нейромережевої ЕС та її утилітами.

3.3 Особливості програмної реалізації інтерфейсу та програмних модулів нейромережевої експертної системи

Інтерфейс нейромережевої ЕС може забезпечуватися вбудованою керуючою програмою.

Експертна система має мати потужні можливості об'єктно - орієнтованого програмування для підтримки інтерфейсу між користувачем та додатком на основі експертної оболонки, що пропонує останньому введення даних із заздалегідь заготовлених ним текстових шаблонів (масок).

Основні особливості програмної реалізації модулів нейромережевої ЕС:

- нейромережеві модулі розробляються з використанням майстер-утиліт, що дозволяють автоматизувати та спростити процес їх створення;
- програмні модулі розробляються в рамках об'єктно-орієнтованої парадигми (спадщина, інкапсуляція, поліморфізм), що дозволяє будувати гнучкий інтерфейс міжмодульної та міжсистемної взаємодії;
- модулі працюють у рамках єдиного інформаційного простору нейромережевої ЕС автономно і можуть підключатися при необхідності (у процесі вирішення конкретного завдання), що дозволяє ефективно та економно витратити обчислювальні ресурси;
- модулі, що функціонально розширюються і легко переносяться (вбудовуються в будь-які додатки) на різні

обчислювальні платформи завдяки їх конвертації в стандарт C++;

- модулі інваріантні до типів та форм вхідних даних;
- всі модулі в міру необхідності здатні до навчання в режимі online (реального часу), при цьому вибір режиму та алгоритму навчання визначається користувачем;
- модулі легко вбудовуються (видаляються) в експертну систему як окремі програми;
- підключення модулів до ЕС здійснюється виходячи із заздалегідь розробленого користувачем сценарію, що реалізується або в діалоговому режимі, або у вигляді заздалегідь заготовленого файлу - процедури, що здійснює його підключення до відповідної точки її виклику;
- вихідні дані універсальних нейромережних модулів можуть зберігатися у вигляді файлів вбудованої реляційної БД для подальшого використання їх у процесі прийняття рішення ЕС, або безпосередньо, після відпрацювання кожного нейромережевого модуля, передані до БКЗ та БЕЗ для обліку, поряд з кількісною та якісною інформацією щодо середньостатистичного за парку ГТД, а також у базу знань прецедентів, для пошуку типових рішень у нейромережній ЕС.

Розглянута нейромережна ЕС може бути вбудована у вітчизняні STEP – орієнтовані CALS – технології створення інтегрованих систем, що дозволять на основі Windows 10 отримувати з IDEF–моделей прикладні програми мовою C та EXPRESS (мова STEP) та транслювати інформаційну модель у обрану СУБД, а також пов'язати результати з наявними SCADA-системами.

Нейромережна ЕС має гнучкий дружній інтерфейс, що дозволяє реалізувати його або з урахуванням побажань користувача (технічне

завдання), або з урахуванням функціональних особливостей самої нейромережевої ЕС.

3.4 Методика роботи з нейромережевою експертною системою

Методика роботи з нейромережевою експертною системою полягає у виконанні наступної послідовності кроків:

- 1) налаштування маршрутів, вибір дисків та каталогів для інсталяції системи;
- 2) розробка концептуальної моделі предметної галузі;
- 3) формування баз концептуальних знань (понять, рівнянь, залежності, таблиць тощо);
- 4) формування баз експертних знань (продукції, семантичні мережі, кадри);
- 5) формування баз нечітких правил (функцій власності лінгвістичних змінних);
- 6) формування баз знань прецедентів (типових ситуацій, причинно-наслідкових зв'язків, таблиць рішень тощо);
- 7) налагодження, тестування, формування комплексних запитів до експертної бази знань;
- 8) формування нейромережевої бази знань (підключення середовища MATLAB; завантаження нейромережевих модулів та налаштування їх на файли бази даних випробувань; вибір архітектури, структури та алгоритму навчання нейронної мережі; навчання, тестування та прийняття рішення про готовність нейромережевих модулів до роботи);
- 9) формування шаблонів (екранних форм) для вбудованої БД реляційного типу, що формулює файли – посередники між експертною та нейромережевою базами знань;

- 10) формування комплексних запитів до нейромережевої та експертної баз знань з метою відпрацювання їхньої взаємодії при вирішенні завдань контролю та діагностики ГТД;
- 11) формування комплексних запитів до БД випробувань з метою відпрацювання взаємодії СУБД та СУБЗ, вирішувача, планувальника, модуля прийняття рішення, а також корпоративної взаємодії з серверами віддаленого доступу на локальному та глобальному рівнях;
- 12) розробка дослідницького прототипу нейронечіткої експертної системи;
- 13) оцінка якості рішень, що формуються нейромережевою експертною системою.

Таблиця 3.1

Характеристики нейромережевої експертної системи

Функції ЕС	Нейромережева експертна система
1. Інтегрованість	+
2. Відкритість/переносність	+
3. Використання об'єктно-орієнтованої парадигми	+
4. Архітектура клієнт-сервера	+
5. Облік моделі користувача	+
6. Можливість навчання та розвитку в процесі функціонування	+
7. Об'єднання в єдиний інформаційний простір різних програмних середовищ	+

8. Виведення моделі та алгоритму розв'язання задачі	+
9. Експертна оцінка контролю та прийняття рішення	+
10. «Гнучкість» завдання вихідних даних	+
11. Операційна система	MS-DOS, Windows, UNIX
12. Наявність власної БД	+
13. Кількість датчиків	до 100
14. Ресурс на інсталяцію	3-5 Мб
15. Час контролю (години)	0,5-1

3.5 Особливості бортової реалізації нейромережевих алгоритмів моніторингу технічного стану ГТД

Аналіз робіт у галузі побудови бортових систем контролю та діагностики (БСКД) сучасних авіаційних двигунів свідчить про те, що при їх розробці намітилася стала тенденція до інтелектуалізації та перехід від пасивного контролю до активного, що дозволяє не тільки локалізувати відмови, але й наскільки можна усунути їх [20].

Таким чином, БСКД поступово виділяються в самостійні системи, що мають високу складність, багато процесів, здатні вирішувати комплексні завдання з високою якістю та ефективністю в темпі реального часу.

Слід зазначити та обставина, що сучасні БСКД взаємодіють із системами управління ГТД, дозволяючи останнім плавно і своєчасно впливаючи на виконавчі механізми, з одного боку, підвищувати якість управління авіаційним двигуном та її підсистемами, з другого, підвищувати надійність ГТД у його експлуатації. Однак, наявність факторів невизначеності (НЕ – факторів), а також необхідність прийняття оперативних рішень у реальному часі створюють додаткові проблеми у процесі контролю та діагностики в рамках БСКД.

Аналіз сучасних БСКД показує, що спектр завдань, які вони вирішують, безперервно зростає. Це пояснюється постійним удосконаленням самого авіаційного двигуна і, як наслідок, виконуваних ним функцій, а також відповідним збільшенням числа контрольованих та діагностованих параметрів на борту літака. БСКД вирішує широкий спектр завдань, пов'язаних з оцінкою залишкового ресурсу ГТД та контролем його параметрів. У процесі вирішення завдання вироблення ресурсу ГТД вирішуються завдання прогнозу (короткострокового) поточного стану двигуна та тренд – аналізу його параметрів. У БСКД вирішуються такі завдання контролю великої кількості параметрів двигуна:

- температури та тиску газів за та перед турбіною;
- частоти обертання ротора компресора низького та високого тиску;
- працездатності системи мастила та суфлювання ГТД за граничними значеннями параметрів масляної системи двигуна;
- витрати масла зі зміни рівня в маслобаку ГТД;
- працездатності паливної системи ГТД;
- рівня вібрацій;
- температури у порожнинах двигуна;
- температури підшипника;
- масової витрати палива;
- температури та тиску повітря за компресором;
- технічного стану проточної частини двигуна за його термогазодинамічних параметрів

Разом з тим, при великому різноманітті розв'язуваних завдань, існують певні складнощі:

- обмежені обчислювальні ресурси (обсяг оперативної пам'яті, швидкодія, точність отриманих результатів);
- труднощі формалізації класичних алгоритмів контролю та діагностики та, як наслідок, їх практичної реалізації;

- необхідність реалізації перерахованих вище алгоритмів мовою низького рівня (асемблер);
- проблеми відновлення інформації при відмові датчиків.

У цих умовах використання нейромережових технологій досить перспективне.

3.6 Висновки до розділу

- 1) Сформульовані та проаналізовані вимоги до нейромережової системи контролю та діагностики технічного стану ГТД, що дозволяє використовувати, поряд з кількісними математичними моделями двигуна, якісну та експериментальну інформацію, отриману в ході стендових та льотних випробувань ГТД.
- 2) Визначено функції та склад нейромережових модулів, що реалізують розглянутим нейромережні технології обробки інформації та прийняття рішень на різних етапах моніторингу технічного стану ГТД.
- 3) Розглянуто особливості реалізації нейромережових алгоритмів у складі бортової системи контролю та діагностики двигуна (БСКД).

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Основними законодавчими актами є: Конституція України, Закони України «Про охорону праці», «Кодекс законів про працю України», «Основи законодавства України про охорону здоров'я», «Про забезпечення санітарного і епідеміологічного благополуччя населення», «Про пожежну безпеку», «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Правила нормування робочого часу і часу відпочинку екіпажів повітряних суден цивільної авіації».

В сьогоднішній авіаційній промисловості при виконанні ТО ПС, двигунів і систем літака в цілому, контроль за дотриманням умов безпеки життєдіяльності проводиться на підставі «Правил безпеки праці при технічному обслуговуванні і ремонті авіаційної техніки ДНАОП 5.1.30-1.06-98», які викладені в «Державному галузевому нормативному акті про охорону праці». Дія цих Правил поширюється на всі підприємства, об'єднання, організації й авіакомпанії незалежно від відомчої приналежності і форми власності.

Основні нормативи та положення з охорони праці у виробничій, науковій, дослідницькій сферах регламентуються та оговорюються «ЗАКОНОМ УКРАЇНИ ПРО ОХОРОНУ ПРАЦІ» від 14 жовтня 1992 року № 2694-XII (ВВР 1992, № 49, ст. 668) із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 15 травня 1996 року № 196/96-ВР, котрий визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом (далі – власник) і працівником з

питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

4.1 Небезпечні та шкідливі фактори, що впливають на працівника під час технічного обслуговування повітряних суден

Згідно з інструкцій авіакомпанії «Азур Ейр Україна» «Охорона праці» «Нормативно-правові акти з охорони праці» до небезпечних та шкідливих факторів, що впливають на працівника під час ТО ПС, відносяться:

- різноманітне обладнання, драбини, різного виду механізми;
- будь-які рухомі частини літального апарату, двері, вхідні трапи, капоти, кришки люків, фіранки, панелі, закрилки, рулі, інтерцептори, дверцята шасі, виступаючі елементи обладнання, конструктивні елементи ПС;
- шум, вібрації, випромінювання бортових та аеродромних радіопередавачів в діапазонах надвисоких частот;
- роботи на висоті;
- підвищені або занижені температури;
- підвищена вологість одягу та взуття;
- підвищені напруги в електричних мережах;
- недостатнє освітлення робочих місць;
- хімічні речовини і спец рідини, які застосовуються при ТО, що проникають через органи дихання і попадають на слизові оболонки;
- фізичні перевантаження, які виникають під час ТО;
- динамічна дія гідравлічних та газодинамічних струменів паливно-мастильних матеріалів (ПММ), спецрідин, газів;
- підвищена ковзкість (слизькість) внаслідок обледеніння, замаслення, зволоження опорних поверхонь;
- підвищений рівень статичної електрики;
- падаючі інструменти, вироби при виконанні (де)монтажних робіт;

– частини конструкцій; елементи зруйнованих агрегатів, працюючих під тиском;

– нервово-психічні перевантаження, що виникають під час ТО.

Відрізняють шкідливі виробничі фактори за природою дії: фізичні (виробничий шум, загальна та локальна вібрація, теплове випромінювання, ультразвук, електромагнітні поля та ін.), хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Параметри цих шкідливих виробничих факторів суворо регламентуються чинним санітарним законодавством.

Для кожного фактору встановлені граничнодопустимі рівні.

Контроль за їх параметрами покладений на санітарно-промислові лабораторії підприємств, а у випадку їх відсутності на даному підприємстві необхідно укласти договір щодо проведення вимірів з лабораторіями інших підприємств, санепідемстанцій. Дані вимірів використовуються при комплексній оцінці умов праці на робочих місцях з оформленням атестаційних карт. З результатами проведеної атестації працівники повинні бути ознайомлені під підпис.

4.2 Технічні і організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників під час технічного обслуговування повітряних суден

Для усунення або зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників відповідно з вимогами «Безпеки праці при ТО та ремонті літальних апаратів» розроблені наступні міри [21]:

– для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників, працівник, який виконує ТО ПС, зобов'язаний дотримуватись правил внутрішнього трудового розпорядку згідно затвердженого графіку робіт.

– перед початком роботи робітник зобов'язаний одягнути спецодяг та, в разі необхідності, отримати та підготувати для використання засоби індивідуального захисту, а також перевірити справність робочого

інструменту, пристроїв та іншого обладнання яке буде використовуватись при ТО ПС.

– під час ТО високо розташованих частин ПС в усіх випадках повинні використовуватись тільки спеціально передбачені трапи та сходи. Роботи, які виконуються на висоті 1,3 метра та більше від поверхні ґрунту (перекриття), зі сходиць чи іншого обладнання, а також з елементів конструкції ПС на відстані не більше 2-х метрів від необгороджених перепадів та при виконанні робіт на спецустановках типу PART-22M (автовишка) виконуються з застосуванням запобіжних поясів, карабіни та спеціальні троси яких закріплюються за стримувальні вузли.

– забороняється виконувати роботу на висоті під час грози, ожеледиці, при швидкості вітру 15 м/с та більше. Роботи по переміщенні вертикальних панелей слід зупинити при швидкості вітру 10 м/с та більше.

– необхідно користуватись тільки справними переносними електросвітильниками з захисною решіткою та максимальною робочою напругою 24 В постійного струму або 12 В змінного струму.

– для захисту від хімічних речовин та спецрідин, що використовуються при ТО, необхідно користуватися засобами індивідуального захисту: гумовими рукавичками, фартухами, нарукавниками, використовувати окуляри та респіратори. Для захисту відкритої шкіри слід застосовувати захисні мазі.

– щоб уникнути під час ТО випадкового включення закрилків, рулів, елеронів та інших рухомих елементів ПС необхідно вимкнути електричний струм, стравити тиск у гідросистемі, встановити застережні вимпели на органи керування.

– щоб зменшити рівень впливу шуму, необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту; стіни приміщення ділянки ремонту необхідно облицювати звукоізолюючим матеріалом.

– для запобігання ураження електричним струмом здійснюється застосування нульового проводу в системі електропроводки.

– недостатність природного освітлення компенсується штучним переносним або стаціонарним освітленням.

– після закінчення роботи прибрати використане обладнання; зняти, ретельно вимити (почистити) і здати на зберігання засоби індивідуального захисту, які використовувались при роботі; вжити гігієнічні заходи, вимити руки і обличчя теплою водою з милом, при наявності прийняти душ.

4.3 Забезпечення пожежної і вибухової безпеки при технічному обслуговуванні двигуна (ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ, ДНАОП 5.1.30-1.06-98, ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ)

Згідно вимогам, запобігання пожежі забезпечується:

– максимальною механізацією технологічних процесів, пов'язаних з роботою з горючими речовинами;

– використанням вогнестійких матеріалів при виготовленні кабіни екіпажа і пасажирських салонів;

– продуванням відсіків повітрям, що забезпечує охолодження як двигуна, так і агрегатів, розташованих на ньому, а також видувши з відсіку гондоли можливі пари палива, масла;

– використання електроустаткування відповідно до пожежних і вибухонебезпечних зон згідно «Правил пристроїв електроустаткування»;

– використання технологічних процесів і устаткування, що відповідає вимогам і екобезпеки;

– раціональним розташуванням на літаку трубопроводів і агрегатів;

– дотриманням встановлених правил пожежної безпеки.

Пожежний захист може забезпечуватися за допомогою:

– використанням відповідних засобів пожежогасіння і відповідних видів пожежної техніки;

– використанням автоматичних засобів пожежної сигналізації і пожежогасінні;

– наддування підкапотного простору інертними газами;

– використанням герметичного устаткування і тари.

Організаційно-технічні заходи повинні включати:

– організацію пожежної охорони (у встановленому порядку) відповідного виду (професійної, добровільної й т.п.) чисельності й технічній оснащеності;

– паспортизацію речовин, матеріалів, виробів, технологічних процесів й об'єктів у частині забезпечення пожежної безпеки;

– широке залучення громадськості до питань забезпечення пожежної безпеки;

– організацію навчання робітників, службовців, колгоспників, учнів і населення правилам пожежної безпеки;

– розробку й реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про порядок роботи з пожежонебезпечними речовинами й матеріалами, про дотримання протипожежного режиму й про дії людей при виникненні пожежі;

– розробку заходів щодо дій адміністрації, робітників, службовців і населення на випадок виникнення пожежі й організації евакуації людей;

– виготовлення та застосування засобів наочної агітації по забезпеченню пожежної безпеки.

Організаційні заходи щодо забезпечення вибухонебезпечності містять у собі: розробку системи інструктивних матеріалів наочної агітації, регламентів і норм ведення технологічних процесів, правил обігу з вибухонебезпечними речовинами і матеріалами; організацію навчання, інструктажу і допуску до роботи обслуговуючого персоналу вибухонебезпечних виробничих процесів; здійснення контролю і нагляду за дотриманням норм технологічного режиму, правил і норм техніки безпеки, промисловій санітарії й пожежній безпеці й т.п. Встановлення у приміщеннях централізованої системи пожежогасіння та пожежних щитів.

З метою ефективної боротьби з пожежею існують наступні засоби пожежогасіння:

- повітряно-пінним стаціонарним вогнегасником ОВПС-250А;
- здвоєною балонною вуглекислотою батареєю з розтрубом 2БР-214;
- вогнегасниками хімічно-пінними ОП-5 і ОХП-10;
- вуглекислотними вогнегасниками ОУ-2 ОУ-5 ОУ-8;
- порошковими вогнегасниками ОП-1, ОП-5, ОП-10;
- пожежним гідрантом;
- шухлядою з піском і двома лопатами;
- азбестовими полотнинами і повстиною;
- пожежною сигналізацією ПИШ-24;

Під час експлуатації необхідно стежити щоб:

– пінні й вуглекислотні вогнегасники були заправлені, придатні по терміну придатності і знаходилися в покладеному місці в достатній кількості.

– шухляда була наповнена сухим піском і укомплектована двома лопатами.

– азбестова полотнина і повстина знаходилися в кабіні спостереження, у спеціально відведеному місці.

– балонна вуглекислота батарея і повітряно-пінний вогнегасник ОВПС-250А знаходилися в справному стані.

Пінні вогнегасники ОХП-10 і ОП-5 можна застосовувати для гасіння твердих речовин та легкозаймистих рідин з відкритою поверхнею. Піна електропровідна, тому цими вогнегасниками не можна гасити електрообладнання, що знаходиться під напругою. Вуглекислотні вогнегасники ОУ-2, ОУ-5 і ОУ-8 застосовують для гасіння невеликих пожеж, електрообладнання, що знаходиться під напругою. Ними не можна гасити спирт і ацетон, котрі розчиняють вуглекислоту, а також фотоплівку, целулоїд, котрі горять без доступу повітря. Порошкові вогнегасники ОП-1,

ОП-5, ОП-10 застосовуються для гасіння магнію та його сплавів, лужних металів алюмінію, металоорганічних сполук, а також тоді коли не можна гасити пожеж водою, піною або вуглекислим газом.

4.4 Перевірочний розрахунок штучного освітлення офісного приміщення

Розрахунок виробничого освітлення в більшості випадків слід проводити по методу використання світлового потоку. По цьому методу світловий потік однієї лампи $F_{л}$ (у люменах) визначається по формулі [22]:

$$n = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot z}{F_{л} \cdot \eta}, \quad (4.1)$$

де \dot{A}_n – нормована освітленість для проєктованих ділянок, цехів, лабораторій;

S – площа приміщення, в якому проєктується виробниче освітлення, m^2 ;

k – коефіцієнт запасу світлового потоку. Він приймається: для люмінесцентних ламп при малому виділенні пороши, диму, кіптява – 1,5, при середньому і великому виділенні відповідно – 1,8 і 2,0; для ламп розжарювання при малому виділенні пороши, диму, кіптява – 1,3, при середньому і великому відповідно – 1,5 і 1,7;

Z – поправочний коефіцієнт, що відображає відношення $E_{сер}/E_n$, приймається при найкращому розташуванні світильників, коли світловий потік використовується для освітлення робочої зони найраціональніше, рівним 1,1...1,2;

n – кількість ламп в приміщенні;

η – коефіцієнт використання світлового потоку від світильника, який показує, яка частина світлового потоку лампи $F_{л}$ досягає освітлюваної поверхні, зокрема завдяки віддзеркаленню світлового потоку від стін, стелі і робочої поверхні.

Коефіцієнт η , залежний від показника геометричних розмірів приміщення ϕ і коефіцієнтів віддзеркалення стін ρ_c , стелі $\rho_{ст}$ і робочої

поверхні ρ_p , обчислений для різних типів світильників і приводиться в таблицях.

Показник приміщення:

$$\phi = \frac{A \cdot B}{h_p (A + B)}, \quad (4.2)$$

де A і B – довжина і ширина освітлюваного приміщення, м;

h_p – висота підвісу світильників над робочою поверхнею, м.

По обчисленому світловому потоку лампи $F_{\text{л}}$ визначають потужність однієї лампи і розташовують n ламп по приміщенню і світильникам.

Завдання: Розрахувати загальне освітлення ділянки діагностики технічного стану двигуна літака В-737-800, де норма освітленості при застосуванні люмінесцентних ламп складає 250лк. Розміри приміщення $B = 15$ м, $A = 30$, $H = 3,5$ м. Передбачається використовувати світильники типа ШОД з лампами ЛД, висота підвісу над робочою поверхнею h_p , коефіцієнт запасу світлового потоку приймаємо рівним 1,5, як для приміщень з малим виділенням пороши, диму і кіптяви, тоді з урахуванням (4.2) отримуємо значення показника приміщення:

$$\phi = \frac{30 \cdot 15}{3,0(30+15)} = \frac{450}{135} = 3,33.$$

Прийнявши величини коефіцієнтів віддзеркалення стелі $\rho_{\text{ст}} = 0,3$, по таблицях знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку світильника $\eta = 0,58$. Поправочний коефіцієнт Z приймаємо рівним 1,2.

Розрахунок може зводитися до визначення необхідного світлового потоку однієї лампи, якщо відома кількість світильників і ламп в них, або до визначення кількості світильників і ламп, якщо відомий тип і потужність ламп.

У нашому прикладі передбачається використовувати світильники ОДОР-2-40 з лампами ЛД 80×4 лм, тоді число ламп знайдемо згідно виразу (4.1):

$$n = \frac{200 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{4070 \cdot 0,58} = 68,62.$$

Число N складе:

$$N = \frac{68,62}{4} = 17.$$

Світильники слід розташувати рівномірно в 4 ряди по 17 шт. в ряду.

4.5 Інструкція з безпеки праці при роботі з персональним комп'ютером

Розглянемо вимоги безпеки перед початком роботи

1. Перед початком роботи з ПК працівник зобов'язаний:

1.1. провітрити робоче приміщення;

1.2. перевірити:

– стійкість положення устаткування на робочому столі;

– відсутність видимих ушкоджень устаткування;

– справність і цілісність кабелів живлення, штепсельних з'єднань, захисного заземлення;

– справність меблів;

1.3. відрегулювати:

– положення столу, стільця (крісла), клавіатури, екрана монітора;

– освітленість на робочому місці. При необхідності включити місцеве освітлення;

1.4. протерти поверхню екрана монітора, захисного фільтра (при його наявності) сухою м'якою серветкою;

1.5. переконатися у відсутності відображень на екрані монітора, зустрічного світлового потоку;

1.6. включити устаткування ПК в електричну мережу, дотримуючись наступної послідовності: стабілізатор напруги (якщо він використовується), блок безперебійного живлення, периферійні пристрої (принтер, монітор, сканер і інші пристрої), системний блок.

2. Забороняється приступати до роботи при:

– вираженому тремтінні зображення на моніторі;

- виявленні несправності устаткування;
- наявності ушкоджених кабелів, роз'ємів, штепсельних з'єднань; чи відсутності несправності захисного заземлення устаткування.

Розглянемо вимоги безпеки при виконанні роботи.

1) Під час роботи з ПК працівник зобов'язаний:

- дотримуватись вимог охорони праці, які встановлені дійсною Інструкцією;

- тримати в порядку і чистоті своє робоче місце;

- тримати відкритими вентиляційні отвори устаткування;

- дотримуватись оптимальної відстані між екраном монітора та очима.

2) Роботу за екраном монітора потрібно періодично переривати на регламентовані перерви, які встановлюються для забезпечення працездатності і збереження здоров'я, чи замінити іншою роботою з метою скорочення робочого навантаження за екраном.

3) Час регламентованих перерв протягом робочого дня (зміни) встановлюється в залежності від його (її) тривалості, виду і категорії трудової діяльності.

При 8-годинній робочій зміні в роботі з ПК регламентовані перерви:

- для I-ої категорії робіт через 2 години від початку робочої зміни і через

2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожний;

- для II-ої категорії робіт через 2 години від початку робочої зміни і через

1,5 – 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожний чи тривалістю 10 хвилин щогодини роботи;

- для III-ої категорії робіт через 1,5 – 2 години від початку робочої зміни і через 1,5 – 2 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожний чи тривалістю 15 хвилин щогодини роботи.

При 12-годинній робочій зміні і роботі з ПК регламентовані перерви встановлюються в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-ми

годинній робочій зміні, а протягом останніх 4 годин роботи, незалежно від категорії і виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин.

4) При роботі з ПК у нічну зміну (з 22.00 до 6.00) незалежно від категорії і виду трудової діяльності сумарна тривалість регламентованих перерв збільшується на 60 хвилин.

5) Тривалість безупинної роботи з ПК без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин.

6) Під час регламентованих перерв для зниження нервово-емоційної напруги, стомлення зорового аналізатора, поліпшення функціонального стану нервової, серцево-судинної та дихальної систем, а також м'язів плечового пояса, рук, спини, шиї і ніг доцільно виконувати комплекси вправ. Працівникам з високим рівнем напруженості праці під час регламентованих перерв і наприкінці робочого дня показане психологічне розвантаження в спеціально обладнаних кімнатах психологічного розвантаження.

7) З метою зменшення негативного впливу монотонності необхідно застосовувати чергування операцій.

8) При роботі з текстовою інформацією варто віддавати перевагу фізіологічно найбільш оптимальному режиму представлення чорних символів на білому фоні.

9) Не слід залишати устаткування включеним без спостереження. При необхідності припинення на якийсь час роботи коректно закриваються всі активні задачі й устаткування виключається.

10) При роботі з ПК не дозволяється:

– при включеному живленні доторкатися до панелей з розніманнями устаткування, розніманням живильних і сполучних кабелів, екрану монітора;

– захаращувати верхні панелі устаткування, робоче місце паперами, сторонніми предметами;

– робити переключення, відключення живлення під час виконання задачі;

– допускати потрапляння вологи на поверхню устаткування;

- включати сильно охолоджене (принесене з вулиці) устаткування;
- робити самостійний ремонт устаткування;
- витирати пил на включеному устаткуванні;
- допускати перебування поблизу устаткування сторонніх осіб.

Визначимо вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

1) В аварійних (екстремальних) ситуаціях необхідно:

- при ушкодженні устаткування, кабелів, дротів, несправності заземлення, появи запаху гару, виникненні незвичного шуму й інших несправностях негайно відключити електроживлення і повідомити про те, що трапилося, безпосередньому керівнику або особі, що здійснює технічне обслуговування устаткування;

- у випадку збою в роботі устаткування ПК чи програмного забезпечення викликати фахівця організації, що здійснює технічне обслуговування даного устаткування, для усунення несправностей;

- при загорянні електропроводки, устаткування або при подібних подіях відключити електроживлення і вжити заходи по гасінню пожежі за допомогою наявних первинних засобів пожежегасіння, повідомити про те, що сталося безпосередньо керівника. Застосування води і пінних вогнегасників для гасіння електроустаткування, що знаходиться під напругою, заборонено. Для цих цілей використовуються вуглекислотні вогнегасники;

- у випадку раптового погіршення здоров'я (посилення серцебиття, появи головного болю й таке інше) припинити роботу, виключити устаткування, сповістити про це керівника і при необхідності звернутися до лікаря.

2) При нещасному випадку на виробництві необхідно: швидко вжити заходи по: запобіганню впливу на потерпілого факторів, що травмують, надати потерпілому першу допомогу, викликати на місце події медичних працівників, доставці потерпілого в медичний заклад; повідомити про цю подію керівнику.

Вимоги безпеки по закінченню роботи є наступними.

По закінченні роботи працівник зобов'язаний:

- коректно закрити всі активні задачі;
- при наявності дискети в дисководу витягти її;
- виключити живлення системного блоку;
- виключити живлення всіх периферійних пристроїв;
- відключити блок безперебійного живлення;
- відключити стабілізатор напруги (якщо він використовується);
- відключити живильний кабель від мережі;
- навести порядок на робочому місці;
- про несправності устаткування й інших зауважень по роботі з ПК

повідомити безпосередньо особу, яка здійснює ТО устаткування;

Проаналізуємо час регламентованих перерв.

Установлено наступні види трудової діяльності:

- група А – робота по зчитуванню інформації з екрана ПК із попереднім запитом;
- група Б – робота по введенню інформації;
- група В – творча робота в режимі діалогу з ПК.

При виконанні протягом робочого дня робіт, що відносяться до різних груп, за основну роботу з ПК варто приймати таку, яка займає не менш 50 % часу протягом робочого дня (зміни) (таблиця 4.1).

Час регламентованих перерв

Категорія роботи з ПК	Рівень навантаження за робочу зміну при видах робіт з ПК			Сумарний час регламентованих перерв, хвилини	
	група А, кількість знаків	група Б, кількість знаків	група В, годин	при 8-годинній зміні	при 12-годинній зміні
I	До 20000	До 15000	До 2,0	30	70
II	До 40000	До 30000	До 4,0	50	90
III	До 60000	До 40000	До 6,0	70	120

4.6 Висновки до розділу

Як було вище зазначено при роботі в приміщенні, на здоров'я працівників впливають небезпечні шкідливі фактори, які зазначені в ДНАОП 5.1.30-1.06-98.

У пункті 4.2 висвітлені заходи що дозволяють попередити професійні захворювань, при їх чіткому виконанні.

Одним з головних факторів, що впливає на здоров'я працівників та продуктивність праці є освітлення. Для розрахунку взято приміщення, в якому знаходяться комп'ютерна база, висотою 3.5 м, шириною 15 м, довжиною 30 м. За результатами розрахунків, для освітлення даного складального цеху, необхідно застосувати лампи ЛД-80 зі світильниками ОДОР-2-40.

Всі роботи пожежної та вибухової безпеки підприємств виконуються відповідно до постанов з пожежної охорони підприємств, організацій та установ ЦА, та передбачає попередження умов утворення пожежо-вибухонебезпечних ситуацій.

Основні вимоги при роботі за персональним комп'ютером (підрозділ 4.6), з якою повинен бути ознайомлений персонал підприємства.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Для подання інформації щодо наслідків реалізації передбачених планами дій держав заходів щодо пом'якшення негативних наслідків від експлуатації АТ ЦА важливо, щоб держави представляли свої плани дій із зазначенням кількісно виражених очікуваних результатів, що стосуються наприклад, емісії CO₂. Для того, щоб у всіх держав була можливість кількісно визначити результати своїх пропонованих заходів, Секретаріат, за сприяння спеціальної групи Комітету ІСАО з охорони навколишнього середовища від впливу авіації (САЕР), завершив комплексний перегляд документу [23].

До оновленого інструктивного матеріалу включені практичні правила, які можуть бути використані для проведення оцінки вигоди, забезпечуваних кожним елементом комплексу заходів. Інструментальні програмні засоби, що отримали назву «Інструментарій для визначення екологічної вигоди», дозволили автоматизувати процес кількісної оцінки елементів емісії, передбачених у [23].

Цей інструментарій доповнює раніше розроблені засоби, такі як обчислювач об'єму емісії вуглецю ІСАО та інструмент ІСАО для оцінки економії палива. У комплексі, переглянуті документ [23] ставлять собі за мету забезпечити можливість подання усіма державами планів дій із зазначенням результатів, виражених у кількісній формі. Після наради САЕР розпочнеться реалізація ініціативи «Зроби свій аеропорт екологічним», яка передбачає створення збірки електронних документів, включаючи документи про передові практики, покликані задовольнити зростаючі потреби держав у готовій до використання інформації для надання сприяння плануванню і реалізації інфраструктурних проектів аеропортів з метою отримання екологічних вигід. Терміни підготовки цієї збірки електронних документів мають критично важливе значення, оскільки державні витрати на створення аеропортової інфраструктури вже мають місце.

Результатом цієї діяльності стане видання серії коротких публікацій, доступ до яких забезпечується з екологічного веб-сайту ICAO. В рамках кожної публікації основна увага буде приділятися конкретному аспекту екологічного планування в аеропортах; мета буде також полягати в обміні використовуваної в аеропортах світу передової практики. Велику користь в реалізації цієї, очолюваної Секретаріатом ініціативи, можуть надати зауваження експертів CAEP [24].

На 38-й сесії Асамблеї ICAO було погоджено питання про розробку глобальної системи ринкових заходів (P3) для міжнародної авіації, і в зв'язку з цим в даний час держави-члени, авіаційна галузь та інші зацікавлені сторони роблять значні зусилля з метою розробки рекомендацій щодо глобальної системи ринкових заходів, яку можна було б впровадити з 2020 року після прийняття рішення 39-ю сесією Асамблеї ICAO в 2016 році [24].

В даний час Консультативна група Ради ICAO з питань охорони навколишнього середовища (EAG), технічну підтримку якої надає CAEP, приступила до обговорення простої базової пропозиції щодо глобальної системи РМ з метою ініціювати обговорення та проведення аналізу переваг та недоліків складових елементів.

Станом на січень 2016 року EAG провела 15 засідань, а CAEP надає їй підтримку в розгляд деяких складових елементів глобальної системи РМ, таких як моніторинг, звітність та верифікація, критерії одиниць емісії і кадастри, а також при виконанні аналітичних робіт, пов'язаних з пропонованими елементами глобальних РМ [24]. Для забезпечення повномасштабного участі держав та інших зацікавлених сторін і отримання максимально можливого обсягу інформації в квітні 2015 року ICAO провела першу серію з п'яти регіональних семінарів в рамках програми «Глобальні діалоги в сфері авіації (GLAD)» з питань РМ. Матеріали, які називали себе в рамках GLAD, розміщені на веб-сайті ICAO [24].

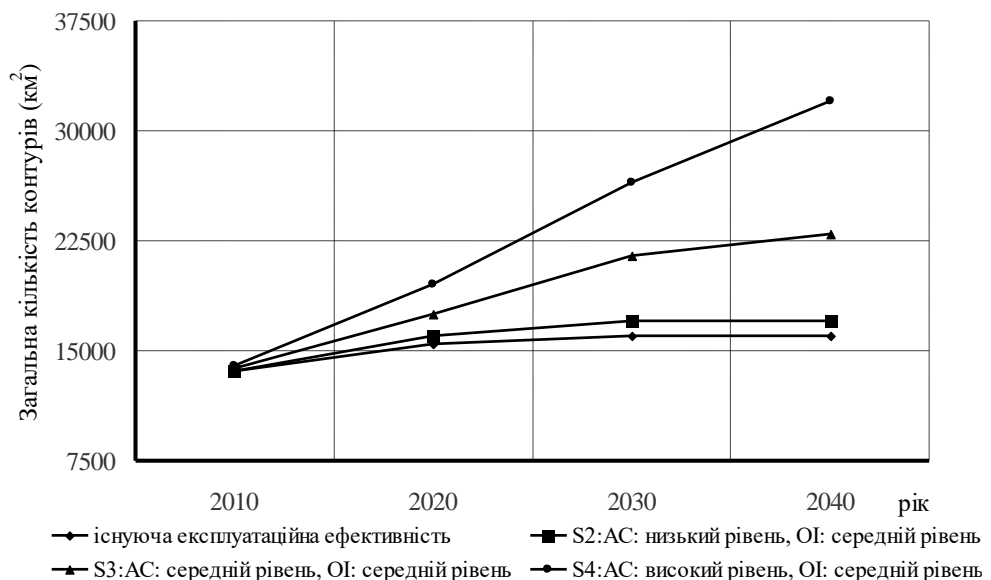
Відповідно до рішень останньої 206-й сесії Ради, що проходила в листопаді 2015 року, в період з 20 березня по 8 квітня 2016 року, була проведена друга серія регіональних GLAD з п'яти семінарів, після якої з 11 по 13 травня 2016 року в Монреалі було проведено нараду високого рівня з глобальної системи РМ з метою досягнення подальшого прогресу в підготовці рекомендації щодо глобальної системи РМ. Нагадавши про успіх першої серії GLAD, обумовленому участю експертів CAEP, які виконували функції координаторів дискусійних груп GLAD, секретар висловив думку про те, що експерти CAEP зіграли важливу роль в ході другої сесії GLAD [24].

На 15-му засіданні в січні 2016 року EAG провела перший розгляд проекту пропозиції щодо глобальної системи РМ; була створена Група високого рівня для подальшого розгляду проекту цієї пропозиції в ході її засідання, яке було в період з 24 по 25 лютого 2016 року.

5.1 Тенденції впливу авіаційного шуму

Авіаційний шум моделювався на період 2010-2040 рр. з використанням чотирьох сценаріїв, зазначених в додатку А [24].

На рисунку 5.1 представлені результати дослідження по загальній глобальній площі контурів з рівнем шуму вище DNL 55 по всім 4 сценаріями на 2010, 2020 році та, 2030 і 2040 рр. [24]. Ці результати включають шум в 321 аеропорту світу, що виконують як міжнародні, так і внутрішні рейси. У базовому 2010 році площа становила 13 975 км². У 2040 року загальна глобальна площа контурів складе від 16189 км² для сценарію 4, приблизно до 22449 км² для сценарію 2.



S: сценарій; AC: авіаційні технології; OI: експлуатаційні удосконалення

Рисунок 5.1 – Глобальна площа контурів з рівнем авіаційного шуму вище DNL 55

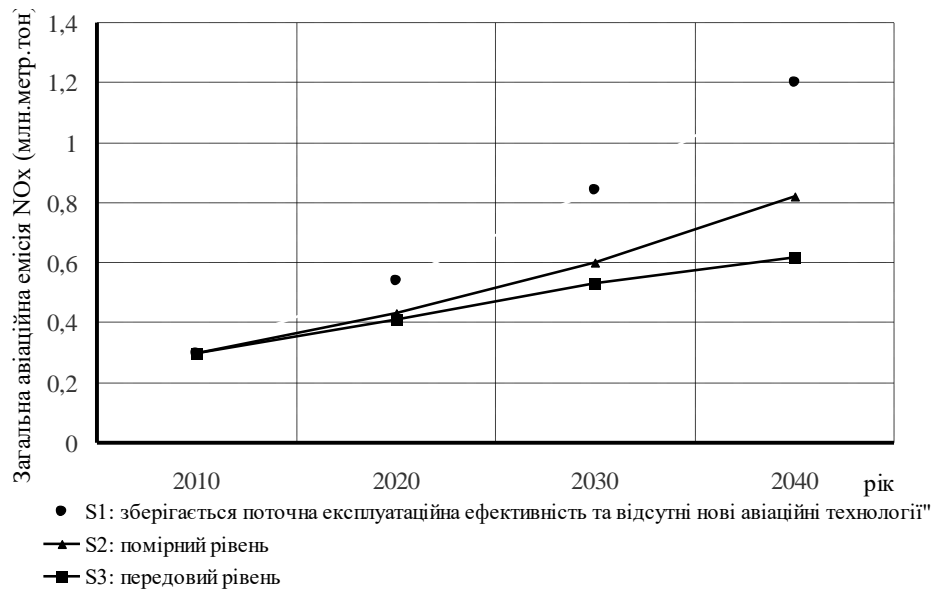
Як видно з рисунка 5.1, відповідно до сценарію значних технічних удосконалень і помірних експлуатаційних удосконалень «середні пікові рівні звуку в денний/нічний час» для площі контурів можуть бути досягнуті в 2030 році, а це значить, що в подальшому прогнозоване збільшення кількості польотів ПС більше не буде приводити до збільшення площі контуру шуму.

Загальні вимоги щодо виникаючого авіаційного шуму викладено у документі ICAO SARP's [25].

5.2 Тенденції впливу емісії авіаційних двигунів

Авіаційна емісія NO_x і емісія твердих частинок (ТЧ) на висотах нижче 3000 футів над рівнем землі моделювалися на період 2010-2040 рр. з використанням сценаріїв, описаних у додатку А [25]. На рисунку 5.2 показана глобальна авіаційна емісія NO_x як для внутрішніх, так і для міжнародних польотів на висотах нижче 3000 футів над рівнем землі. У базовому 2010 році значення становило 0,30 млн т NO_x . У 2040 р. цей показник коливається між від 0,65 млн. т NO_x в сценарії 3 до 0,86 млн. т NO_x в сценарії 2. На рисунку 5.3 показана глобальна авіаційна емісія ТЧ як для внутрішніх, так і для міжнародних польотів на висотах нижче 3000 футів над рівнем землі. У

базовому 2010 році значення становило 2239 метричних тон ТЧ. 2040 року глобальна авіаційна емісія ТЧ на висотах нижче 3000 футів над рівнем землі становитиме 6709 метричних тон ТЧ в сценарії 2. Важливо відзначити, що емісія NO_x представлена в мегатонах, т. е. мільйонах метричних тон.

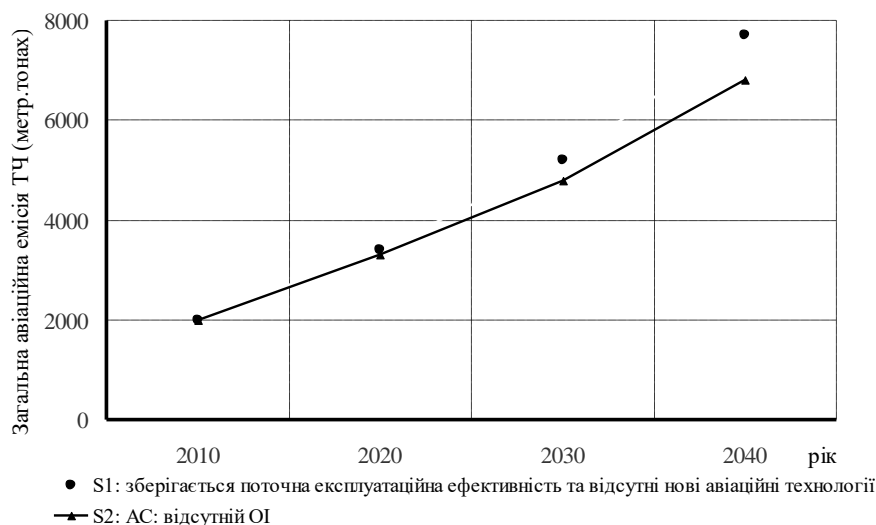


S: сценарій; AC: авіаційні технології; OI: експлуатаційні удосконалення

Рисунок 5.2 – Загальна глобальна авіаційна емісія NO_x на висотах нижче

3000 футів над рівнем землі

Емісія ТЧ представлена в тонах, що менше одиниць маси, які використовуються для емісії NO_x , в 1 000 000 разів.



S: сценарій; AC: авіаційні технології; OI: експлуатаційні удосконалення

Рисунок 5.3 – Загальна глобальна авіаційна емісія ТЧ на висотах нижче

3000 футів над рівнем землі

Загальні вимоги щодо шкідливих викидів (емісії) під час експлуатації авіаційних двигунів (АД) наведено у документі ICAO SARPs [26].

5.3 Аналіз впливу авіаційного транспорту на забруднення атмосфери

Досить очевидно, що з розвитком науково-технічного прогресу, ЦА та авіаційно-транспортна система є не останньою ланкою, яка становить реальну загрозу для атмосфери з позиції забруднення викидними газами [23-26].

З вирішенням проблем екологічної безпеки в Україні нерозривно пов'язані питання оцінки і зменшення несприятливого впливу об'єктів ЦА на стан атмосферного повітря. У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення актуальних екологічних проблем усім спектром транспортної, виробничої, інтелектуальної і соціальної діяльності за рахунок державної та галузевої систем екологічного управління [27].

Подальший аналіз роботи [27] показує, що під час експлуатації АТ відбувається забруднення ґрунтів, водних об'єктів та атмосферного повітря. Специфіка впливу повітряного транспорту на довкілля виявлена в значній шумовій дії та значних викидах різноманітних забруднюючих речовин (ЗР).

Викиди з АД та стаціонарних джерел становлять важливий аспект впливу повітряного транспорту на екологічну ситуацію. Крім того, авіація має ряд відмінностей порівняно з іншими видами транспорту: використання здебільшого ГТД зумовлює інший характер протікання процесів і структуру викидів відпрацьованих газів; використання гасу як палива призводить до зміни компонентів ЗР; польоти літаків на великій висоті зумовлюють розсіювання продуктів згоряння у верхніх шарах атмосфери і на великих територіях, що знижує ступінь їх впливу на живі організми.

ПС забруднюють приземні шари атмосфери відпрацьованими газами АД поблизу аеропортів і верхні шари атмосфери на висотах крейсерського

польоту. Гази становлять 87 % всіх викидів ЦА, які містять, також атмосферні викиди спецавтотранспорту та стаціонарних джерел [27].

Як відомо, впродовж останніх років відбувається значне навантаження на навколишнє середовище, що супроводжується збільшенням авіап перевезень на 4-5 %. Цей процес є незворотнім і відбувається як на глобальному, так і на локальному рівні. Дослідження чинників, які визначають рівень екологічної безпеки в околицях аеропортів, показали, що авіаційний шум та емісія ЗР АД, електромагнітні випромінювання здійснюють найбільший вплив на якість довкілля.

Відомим є і те, що стратосферний озон є природнім фільтром, який поглинає ультрафіолетове випромінювання сонця. У результаті людської діяльності в атмосферу потрапляють деякі сполуки, що руйнують рівновагу між процесами створення і руйнування озону. Найбільш важливим із цих сполук є хлорфторвуглеводні (фреони), галогени, тетрахлоретан і метил хлороформ. Усі вони залишаються хімічно інертними в нижніх шарах атмосфери і переміщуються в стратосфері. Вплив на них ультрафіолетових променів звільняє хлор і бром, які діють в якості каталізатора процесу руйнування озону.

Відомо, що сучасний аеропорт першого класу викидає в атмосферу щорічно декілька десятків тон NOx. Розрахунок NOx, які викидаються АД під час польоту ПС по трасам, становить значну складність, однак відомо, що індекс емісії NOx двигунів, що експлуатуються, складає від 10 до 40 на злітному режимі і від 5 до 20 на крейсерському режимі (в грамах NOx на кілограм палива). Таким чином, сумарний щорічний викид NOx в атмосферу Землі ПС складає сотні тисяч тон, що не дає підстав нехтувати впливом даних викидів на вміст озону [28].

Під час визначення загальної кількості ЗР авіаційним спеціалістам доводиться сумувати оксиди азоту з вуглеводнями, оксидами сірки, оксидом вуглецю і навіть з ТЧ сажі. З'ясовано, що актуальними є методи підвищення

екологічних властивостей авіаційного палива за рахунок підвищення його якості. Підвищити екологічні показники палива можна за рахунок зменшення вмісту в ньому сірки, ароматичних вуглеводнів (особливо бензолу), фактичних смол, олефінів та свинцю. А також шляхом додавання відповідних присадок, наприклад, іонол (у вітчизняному асортименті – Агідол-1). Провівши ряд дослідів, автори прийшли до висновку, що перехід України на паливо марки Jet A, пов'язаний з раціональним використанням нафтопродукту, не змінить екологічні показники палива, якщо не будуть проведені зміни в КЗ [27].

Особливості впливу ПС на довкілля пов'язані, по-перше, з тим, що сучасний парк ПС має ГТД. По-друге, ГТД працюють на авіапаливі, хімічний склад якого дещо відрізняється від автомобільного бензину та дизельного палива кращою якістю з меншим вмістом сірки та механічних домішок. По-третє, головна маса відпрацьованих газів викидається ПС безпосередньо у повітряному просторі на відносно великій висоті, при високій швидкості та турбулентному потоці, і лише невелика частка – у безпосередній близькості від аеропортів та населених пунктів. Загальний викид токсичних речовин ПС може бути приблизно оцінений об'ємом споживаного авіацією палива, котрий складає близько 4 % від загальних витрат палива усіма видами транспорту. Таким чином, частка забруднень авіатранспортом поза зоною аеропорту відносно невелика, але уточнені дані відсутні [28].

Як відомо, основними компонентами, які забруднюють довкілля, є: окис вуглецю, неспалені вуглеводні, окиси азоту та сажа. На режимах малого газу та під час руху по рулежних доріжках, під час заходу на посадку у відпрацьованих газах суттєво збільшується вміст окису вуглецю і вуглеводів, але при цьому зменшується кількість окису азоту.

В режимі сталого польоту, коли двигуни працюють без перевантаження на 35-50 % своєї потужності з оптимальними параметрами, вміст окису вуглецю та вуглеводів зменшується, але збільшуються викиди окисів азоту. Найбільші викиди сажі та димлення відбувається при зльоті та наборі висоти,

коли двигуни працюють з перевантаженням в 1,1-1,2 рази відносно своєї номінальної потужності і, як правило, на збагаченій паливній суміші.

Також, за даними джерел ІСАО найбільше забруднення довкілля відбувається в зоні аеропортів під час посадки і зльоту літаків, а також під час прогрівання їх двигунів. Підраховано, що при 300 зльотах і посадках трансконтинентальних авіалайнерів за добу в атмосферу поступає 3,7 т оксиду вуглецю, 2 т вуглеводневих з'єднань і 1,7 т оксидів азоту. При цьому ЗР поступають в атмосферу не рівномірно, а залежно від графіка роботи аеропорту. Під час роботи двигунів на зльоті і посадці в довкілля поступає найбільша кількість оксиду вуглецю і вуглеводневих з'єднань, а в процесі польоту – максимальна кількість оксидів азоту. Але самим небезпечним визнано те, що під час польоту в нижніх шарах стратосфери двигуни надзвукових літаків виділяють оксиди азоту, що призводять до окислення озону, який грає роль щита проти негативної дії ультрафіолетових сонячних променів.

У роботі [28] досконало описано процес емісії АД – викидів в атмосферне повітря відпрацьованих газів соплами і вихлопними патрубками АД. Повністю описано склад відпрацьованих газів (інгредієнтів), які забруднюють атмосферу. Встановлено, що найбільш тривалим і небезпечним з екологічної точки зору є режим малого газу (відносна тяга складає 3...9 % від її максимального значення). Такі мінімальні значення відносної тяги двигуна мають місце при рулінні перед зльотом і після посадки, а також під час прогрівання двигуна після запуску.

Експериментально доказано, що забруднення в зоні аеропорту є більш шкідливим (на маршруті значення відносної тяги лежить в межах 0,6-0,8). Крім того, локальне забруднення приземного шару повітря в зоні аеропорту, де працює багато людей, є більш концентрованим і стійким, ніж загальне забруднення верхніх шарів тропосфери на маршруті польоту. Аналіз цих даних дозволяє стверджувати, що викид ЗР (тобто, емісія авіадвигуна) залежить від режиму його роботи і тривалості роботи на цьому режимі.

Слід зазначати, дослідниками також, було встановлено, що забруднення атмосфери можна достовірно оцінювати на підставі характеристики атмосферних опадів. Застосувавши регресійний аналіз експериментальних даних дослідження вмісту важких металів у пробах снігу, відібраних у зоні аеропорту, було одержано результати, які показали, що концентрація важких металів у пробах снігу в зоні аеропорту суттєво підвищується з наближенням до аеропорту, причому значно більшим є забруднення старого снігу.

Аналіз літературних джерел, присвячений забрудненню довкілля транспортом ЦА свідчить про недостатнє висвітлення цієї проблеми в науковій літературі. Тому актуальність зумовлена відсутністю достатньої кількості даних щодо впливу авіаційних транспортних процесів на стан атмосферного повітря.

Проблема забруднення атмосфери авіаційним транспортом не вичерпується лише вивченням і оцінкою впливу газових і аерозольних продуктів згоряння АД на озоновий шар. Існує кілька аспектів прояву наслідків такого забруднення:

- фотохімічний: виражений у зміні співвідношення між концентраціями малих, але важливих складових атмосферного повітря внаслідок протікання фотохімічних реакцій. Тобто ріст одних атмосферних газів (а також аерозолів) супроводжується зменшенням інших газових компонентів повітря;

- радіаційний: коливання в складі парникових газів (вуглекислого газу CO_2 , водяної пари H_2O , озону O_3 , метану CH_4 і ін.), аерозолів і особливо утворення перистих хмар ведуть до зміни теплового і радіаційного балансів системи Земля-атмосфера, а отже, і до зміни температури повітря в атмосфері та і на земній поверхні;

- біологічний: виражений впливом потоку біологічно активного ультрафіолетового випромінювання на рівні поверхні Землі, інтенсивність якого залежить від товщини озонового шару. Як відомо, ультрафіолетове випромінювання є небезпечним для здоров'я людей, тварин та знижує продуктивність деяких видів рослин.

Таким чином, фактом залишається те, що викиди АД впливають на життєво важливі елементи екосистеми: якість повітря, його температуру, атмосферну циркуляцію і клімат, потік ультрафіолетової радіації.

Газотурбінні двигуни, що переважно застосовуються на сучасному повітряному транспорті, є вагомими споживачами вуглеводневих палив і атмосферного кисню, одночасно являються джерелами забруднення атмосфери відпрацьованими газами. В суміші продуктів згоряння палива з надлишком повітря міститься ряд ЗР, що регламентуються санітарно-гігієнічними нормами і вимогами SARP's ICAO.

Останнім часом на практиці для зменшення ЗР в атмосферу широко застосовується метод скорочення кількості працюючих АД під час руління ПС в зоні аеропорту.

Збільшення вмісту вуглеводнів у паливі, як правило, супроводжується збільшенням його в'язкості, щільності, поверхневого натягу, що погіршують розпил і випаровування палив. Отже, на двигунах повинно спостерігатись взаємно протилежний вплив палив на емісію NOx на режимах малого газу і максимальному режимі. Паралельно з вивченням природи шкідливих викидів і механізму їх впливу на навколишнє середовище є доцільним продовжувати розробку нових КЗ і нових концепцій двигунів. Конструкційні зміни в КЗ повинні бути направлені на підвищення повноти згоряння палива. Під час проектування АД брати за основу такі сучасні КЗ, як: гомогенні, із змінною геометрією, гібридні, струменеве-стабілізаторного типу, каталітичні.

Закономірність утворення NOx в КЗ ГТД визначає два основних шляхи зниження емісії указаних оксидів: зниження температури в першій зоні КЗ; зменшення часу перебування газів в зоні високих температур.

Зважаючи на складність запропонованих вище методів, розглянемо дещо простіші заходи покращення показників, які впливають на забруднення атмосфери продуктами емісії АД.

Відомо, що збільшення злітної ваги сучасного реактивного лайнера на 3-4 % приводить до збільшення витрат палива на 120-220 кг на час польоту,

а, отже, збільшення емісії CO₂ в атмосферу на 480-650 кг. Логічно можна запропонувати такі приклади економії палива:

- зниження злітної ваги за рахунок залишення на землі одного з трьох баків з водою літака Boeing – 777-300 (у випадку, якщо він не є необхідним в даному конкретному рейсі) дозволить зекономити 400 т палива в рік, а отже знизити емісію CO₂ в атмосферу на 1500 т;

- економія 65 т палива і зниження емісії газу на 175 т за рахунок заміни металічного баку для води пластмасовим;

- зменшення опору ПС, викликаного забрудненням поверхні брудом на 1 % зменшить витрату палива на 15000 галонів в рік для типу Boeing – 737, або на 100000 галонів для типу Boeing – 757;

- зменшення забруднення двигуна призведе до збільшення коефіцієнту питомої витрати пального (SFC). Як відомо, періодичне промивання дозволяє покращити SFC на 1,5 % і знизити CO₂ з 280 до 180 т на рік.

Варто також звернути увагу на можливість упровадження та використання на авіаційному транспорті альтернативних палив. Так, відомо, що одним із «чистих» палив є водень, і так звані криогенні палива. Незважаючи на недоліки водню як транспортного палива, пов'язані з його низькою щільністю та низькою температурою кипіння (20К), він вважається більш перспективним для повітряного транспорту, ніж для інших видів. При цьому, чим більша швидкість та маса літака, тим доцільніше використання двигунів, які працюють на водні.

На сьогодні у якості інноваційних розробок пропонується впроваджувати для живлення тягових електродвигунів сонячні батареї, розміщені на поверхні крил та фюзеляжі. Теоретично, такий літак може знаходитися в повітрі стільки, скільки сонячні промені його освітлюють. У цьому випадку зліт літака здійснюється за рахунок накопиченої енергії, а підтримання в польоті відбувається за рахунок енергії, яка надходить від сонячного випромінювання. І хоча фахівці авіаційної галузі скептично і з недовірою відносяться до встановлення таких силових агрегатів на літаки цивільної та воєнної авіації, на

мою власну думку, ця ідея заслуговує на життя та проведення натурних експериментів з макетними літаками.

5.4 Висновки до розділу

Проаналізовано проблему забруднення атмосфери АД, у результаті чого:

– визначено глобальний та локальний характер проблеми (глобальний – пов’язаний із зміною хімічного складу атмосферного повітря, локальний – із високим рівнем шумового забруднення);

– узагальнено шляхи вирішення даної проблеми.

Встановлено, що вирішення проблеми забруднення атмосфери авіаційним транспортом повинно бути комплексним. Проаналізовані напрямки зменшення забруднення атмосфери літаками вирішували тільки якусь конкретну задачу та не забезпечували зменшення шкідливого впливу усіх чинників.

Як результат, пропонується комплексно і одночасно вирішувати розглянуту проблему у таких чотирьох напрямках покращення екологічних показників емісії АД: хімічному, конструкційному, економічному та впровадження на авіаційному транспорті альтернативних видів енергії.

Хімічний напрямок базується на удосконаленні вуглеводневого складу палива та додаванні певних присадок і добавок.

Конструкційний – на удосконаленні процесу горіння палива в КЗ та удосконаленні самої КЗ.

Економічний – на зниженні витрат палива за рахунок зменшення злітної ваги, опору літака, підвищення чистоти двигуна, зниженого ешелонування, а також ефективного пілотуванні ПС в зоні аеропорту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи проаналізовано, розглянуто, визначено, запропоновано, сформовано, встановлено наступне:

Сучасні системи моніторингу та управління експлуатацією ГТД є багаторівневими, причому ці рівні мало пов'язані між собою, відсутній єдиний інформаційний і метрологічний супровід, що призводить до великої інформаційної надмірності та необхідності залучення значних обчислювальних ресурсів.

Існуючі системи моніторингу та керування експлуатацією авіаційних двигунів потребують суттєвого доопрацювання.

Застосування інтегрованих систем на основі SCAD–систем та CALS–технологій дозволить ефективно та якісно підвищити процес моніторингу ГТД.

Існуючі системи інформаційного моніторингу стану ГТД функціонують окремо; відсутній віддалений доступ; немає єдиного банку даних випробувань; дані, що зберігаються, різномірні за своєю суттю; відсутня система підтримки та прийняття рішень; застаріла система контролю та діагностики; програмно - технічне обслуговування погано адаптується до умов експлуатації, що швидко змінюються.

Розробляються інтелектуальні системи моніторингу та управління експлуатацією ГТД на основі експертних систем та нейромережевих технологій, розподілених баз даних та знань, що дозволяють ефективно та якісно вирішувати широкий спектр комплексних завдань на основі кількісних та якісних моделей, об'єднаних єдиним інформаційним простором та віддаленим доступом на базі Intranet ресурсів, а також можливість використання даних підходів при вирішенні подібних завдань в умовах борту.

Запропоновано підхід до формалізації процесів інформаційного моніторингу технічного стану авіаційного ГТД на основі системного аналізу та IDEF – технологій.

Проаналізований комплекс функціональних моделей процесів моніторингу авіаційного двигуна на основі технології IDEF, що дозволяє виділяти основний спектр завдань та сформулювати вимоги до їх реалізації у складі експертної системи моніторингу технічного стану ГТД.

Проаналізований комплекс інформаційних моделей процесу моніторингу технічного стану авіаційного двигуна, на основі технології IDEF/1X, що дозволяє визначити логічну структуру та механізми взаємодії баз даних та баз знань у складі експертної системи моніторингу ГТД.

Проаналізована динамічна модель процесів моніторингу технічного стану авіаційного двигуна на основі IDEF/CPN, що дозволяє визначити вимоги до механізму логічного висновку у процесі виконання функцій моніторингу експертною системою.

Сформульовані та проаналізовані вимоги до нейромережевої системи контролю та діагностики технічного стану ГТД, що дозволяє використовувати, поряд з кількісними математичними моделями двигуна, якісну та експериментальну інформацію, отриману в ході стендових та льотних випробувань ГТД.

Визначено функції та склад нейромережевих модулів, що реалізують розглянутим нейромережні технології обробки інформації та прийняття рішень на різних етапах моніторингу технічного стану ГТД.

Розглянуто особливості реалізації нейромережевих алгоритмів у складі бортової системи контролю та діагностики двигуна (БСКД).

Як було вище зазначено при роботі в приміщенні, на здоров'я працівників впливають небезпечні шкідливі фактори, які зазначені в ДНАОП 5.1.30-1.06-98.

У пункті 4.2 висвітлені заходи що дозволять попередити професійні захворювань, при їх чіткому виконанні.

Одним з головних факторів, що впливає на здоров'я працівників та продуктивність праці є освітлення. Для розрахунку взято приміщення, в якому знаходяться комп'ютерна база, висотою 3.5 м, шириною 15 м,

довжиною 30 м. За результатами розрахунків, для освітлення даного складального цеху, необхідно застосувати лампи ЛД-80 зі світильниками ОДОР-2-40.

Всі роботи пожежної та вибухової безпеки підприємств виконуються відповідно до постанов з пожежної охорони підприємств, організацій та установ ЦА, та передбачає попередження умов утворення пожежо-вибухонебезпечних ситуацій.

Основні вимоги при роботі за персональним комп'ютером (підрозділ 4.6), з якою повинен бути ознайомлений персонал підприємства.

Проаналізовано проблему забруднення атмосфери АД, у результаті чого: визначено глобальний та локальний характер проблеми (глобальний – пов'язаний із зміною хімічного складу атмосферного повітря, локальний – із високим рівнем шумового забруднення); узагальнено шляхи вирішення даної проблеми.

Встановлено, що вирішення проблеми забруднення атмосфери авіаційним транспортом повинно бути комплексним. Проаналізовані напрямки зменшення забруднення атмосфери літаками вирішували тільки якусь конкретну задачу та не забезпечували зменшення шкідливого впливу усіх чинників.

Як результат, пропонується комплексно і одночасно вирішувати розглянуту проблему у таких чотирьох напрямках покращення екологічних показників емісії АД: хімічному, конструкційному, економічному та впровадження на авіаційному транспорті альтернативних видів енергії.

Хімічний напрямок базується на удосконаленні вуглеводневого складу палива та додаванні певних присадок і добавок.

Конструкційний – на удосконаленні процесу горіння палива в КЗ та удосконаленні самої КЗ.

Економічний – на зниженні витрат палива за рахунок зменшення злітної ваги, опору літака, підвищення чистоти двигуна, зниженого ешелонування, а також ефективного пілотуванні ПС в зоні аеропорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буравлев А.И., Доценко Б.И., Казаков И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем. - М.: Машиностроение, 1995. - 240 с. [24]
2. Жернаков СВ. Базы знаний прецедентов активных экспертных систем для процесса мониторинга параметров авиационного двигателя.//Автоматизация и современные технологии. М.: Машиностроение, N2 2, 2003. - С . 28-33. [149]
3. Морозов А.А., Саранцев В.В. Структура и особенности систем эксплуатации двигателей по техническому состоянию.//Испытания авиационных двигателей. JVTo 15.- Уфа:УАИ, 1987.-С. 155-162. [182]
4. Морозов А.А., Никонова И.А. Техничко-экономические методы повышения эффективности авиационных ГТД. - М.:Машиностроение, 1983. - 251с. [182, 183]
5. Белкин Ю.С, Боев Б.В., Гуревич О.С. и др. Интегральные системы автоматического управления силовыми установками самолетов. - М.: Машиностроение, 1983.-283с. [17]
6. Никонова И.А., Шепель В.Т. Техничко-экономическая эффективность авиационных ГТД в эксплуатации. - М.: Машиностроение, 1989 г. - 200 с. [192]
7. Саранцев В.В. Методические аспекты перевода авиационных двигателей на эксплуатацию по состоянию//Испытания авиационных двигателей, № 14. - Уфа:УАИ, 1986. - С. 3-8. [206]
8. Саранцев В.В. Цели и методы контроля состояния двигателей при эксплуатации по состоянию//Испытания авиационных двигателей. JNT» 14. - Уфа:УАИ, 1986.-С. 8-18. [207]
9. Надежность, диагностика, контроль авиационных двигателей/ Шейель В.Т., Кузьменко М.Л., Сарычев СВ. и др. - Рыбинск: РГТА, 2001. - 352 с. [186]

10. Испытания воздушно-реактивных двигателей/Черкез А.Я., Таран Е.М. и др. - М.: Машиностроение, 1992. – 304 с. [157]
11. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию - М.: Транспорт, 1987. - 272 с. [209]
12. <https://docs.cntd.ru/document/1200004984>
13. Братухин А.Г., Давыдов Ю.В., Елисеев Ю.С. CALS в авиастроении. - М.: МАИ, 2000.-300с. [23]
14. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. - М: Финансы и статистика, 1998 г. - 176 с. [35]
15. Епифанов СВ., Кузнецов Б.И., Богаенко И.И. др. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей. - Киев: Техника, 1998.-312 с. [77]
16. Ахмедзянов А.М., Жернаков СВ., Маликов В.М. Система моделирования БД и БЗ удаленного доступа. // Труды международной НТК. Дистанционное управление. - Москва: МГТУ, 1994. - С 117-123. [14]
17. Веселов В.В., Елманов О.А., Карелов И.Н. Комплекс мониторинга информационных систем на основе нейросетевых технологий. //Нейрокомпьютеры: разработка, применение. - 2001. - № 12. - С. 33-36. [36]
18. Жернаков СВ. Сравнительный анализ гибридных экспертных систем для диагностики и контроля параметров ГТД. //Авиационно-космическая техника и технология, JSfo 9. - Харьков: ХАИ, 1999. - С 134-141. [86]
19. Васильев В.И., Жернаков СВ. Экспертные системы: Управление эксплуатацией сложных технических объектов.-Уфа: УГАТУ, 2003. - 106 с. [29]

20. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунов Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. - М.: Физматлит, 2000. -352с. [34]
21. https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/pravila_bezpeki_prac_i_pri_tekhni-3-28616.pdf
22. ДБН В.2.5-28-2006 «Державні будівельні Норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення»
23. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/1/32.pdf>
24. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/614-2020-п#Text>
25. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0833-98#Text>
26. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0341-06#Text>
27. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
28. <http://www.philosophy.univ.kiev.ua/uploads/editor/Files/Vykladachi/Hylko/Hylko%20M.I.%20Екологічна%20безпека%20України.%20Навч.%20пос..pdf>