

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
канд. техн. наук, доц.
_____ О.В. Попов
«__» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
«МАГІСТРА»

Тема: «Використання штучного інтелекту для прогностичного обслуговування літальних апаратів»

Виконав: _____ **Галушко Є.В.**

Керівник: канд. наук, доц. _____ **Салімов Р.М.**

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: канд. техн. наук, доц. _____ **Казанець В.І.**

охорона навколишнього середовища:
канд. біол. наук, доцент _____ **Білик Т.І.**

Нормоконтролер: _____ **Хімко А.М.**

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

Освітній ступень «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

_____ О.В. Попов

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

ГАЛУШКО ЄГОРА ВІТАЛІЙОВИЧА

1. Тема роботи: **«Використання штучного інтелекту для прогностичного обслуговування літальних апаратів»** затверджено наказом ректора № 1881 / ст. від 02.10.2020.
2. Термін виконання роботи: з 05.10.2020 року по 13.12.2020 року та від 21.12.20 по 31.12.2020 року.
3. Вихідні дані до роботи: дані щодо відмов та несправностей, виявлених при технічному обслуговуванні і ремонті виробів авіаційної техніки, обсяг та види робіт при технічному обслуговуванні, існуючі інформаційні технології при формуванні та організації технічного обслуговування авіаційної техніки.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз методів виявлення відмов та несправностей при технічному обслуговуванні виробів авіаційної техніки, розробка і застосування експертної системи при формуванні прогностичного технічного обслуговування, управління та оцінка якості робіт авіа-персоналу при технічному обслуговуванні, розробка імітаційної моделі прогностичного технічного обслуговування, розробка заходів щодо охорони праці і навколишнього середовища.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: схема досліджень, результати аналізу застосування сучасних інформаційних технологій при управлінні процесами технічного обслуговування, імітаційна модель формування прогностичної програми технічного обслуговування авіаційної техніки та її структура, оцінка впливу моделі прогностичного технічного обслуговування на підтримання льотної придатності повітряного судна.

Графічний (ілюстративний) матеріал виконано із застосуванням Microsoft Office Power Point та надано у вигляді листів.

6. Календарний план-графік

Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
Аналіз сучасної авіаційно-транспортної системи	05.10.20 – 20.10.20	виконано
Аналіз сучасного впливу кількості інформації та чинників, спричинених вірусом COVID-19, на функціонування цивільної авіації, зокрема системи підтримання льотної придатності	21.10.20 – 31.10.20	виконано
Аналіз видів робіт та їх обсягів при технічному обслуговуванні	01.11.20 – 05.11.20	виконано
Аналіз існуючих інформаційних технологій при формуванні та організації технічного обслуговування літальних апаратів, зокрема повітряних суден. Постановка задач дослідження	06.11.20 – 10.11.20	виконано
Формування теоретичної частини магістерської роботи	11.11.20 – 20.11.20	виконано
Проведення обробки даних, відтворення знайдених експериментів стосовно використання штучного інтелекту в процесі прогностичного технічного обслуговування	21.11.20 – 25.11.20	виконано
Виконання окремих розділів роботи: охорона праці, охорона навколишнього середовища	26.11.20 – 30.11.20	виконано
Оформлення пояснювальної записки, презентації та доповіді	01.12.20 – 13.12.20	виконано

7. Консультанти по окремим розділам

Розділ	Консультант (науковий ступень, посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Канд. техн. наук, доцент Казанець В.І.		
Охорона навколишнього середовища	Канд. біол. наук, доцент Білик Т.І.		

8. Дата видачі завдання: «_____» _____ 2020 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: «Використання штучного інтелекту для прогностичного обслуговування літальних апаратів»:

ст.124, рис. 32, табл. 12, джерел 58.

Об'єкт дослідження – модель системи підтримання льотної придатності літальних апаратів та повітряних суден цивільної авіації.

Предмет дослідження – процес управління та організації технічного обслуговування літальних апаратів та повітряних суден, а також виробів авіаційної техніки в рамках системи підтримання льотної придатності експлуатантів цивільної авіації.

Мета дипломної роботи – підвищення ефективності використання авіаційної техніки й літальних апаратів із підвищенням рівня функціонування системи підтримання льотної придатності повітряних суден за допомогою штучного інтелекту при використанні прогностичного технічного обслуговування.

Методи дослідження.

Для реалізації поставлених задач використовувались процеси та методи моніторингу стану систем та елементів систем повітряних суден із використанням дерев прийняття рішень та елементів імітаційного моделювання, а також, автоматичних методів обробки інформації штучним інтелектом.

Практичне значення результатів дипломної роботи полягає в підвищенні ефективності технічної експлуатації повітряних суден за рахунок прогнозування виникнення їх несправностей з великою точністю та діагностичною достовірністю.

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ,
ПРОГНОЗУВАННЯ, ПРОГНОСТИЧНЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ,
ДЕРЕВА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ

СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. НАГАЛЬНІ СКЛАДНОСТІ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ В СИСТЕМІ ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ.....	11
1.1 Сучасна авіаційно-транспортна система, процес підтримання льотної придатності.....	11
1.2 Прогностичне технічне обслуговування як новий та більш сучасний метод технічного обслуговування.....	17
1.3 Використання штучного інтелекту при технічному обслуговуванні повітряних суден.....	22
1.4 Експертні системи на базі штучного інтелекту для покращення якості прогностичного технічного обслуговування повітряних суден.....	24
1.5 Постановка задачі та схема проведення досліджень.....	28
1.5.1 Мета та задачі дослідження.....	28
1.5.2 Методи дослідження.....	29
Висновки до розділу 1.....	30
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРАНОГО МЕТОДУ ПРОГНОСТИЧНО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	31
2.1 Моніторинг стану.....	31
2.2 Розпізнавання та аналіз сигналів.....	37
2.3 Аналіз та розпізнавання серій тенденцій.....	40
2.3.1 Проста лінійна регресія.....	43
2.3.2 Множинна регресія.....	44
2.3.3 Модель рухомого (ковзного) посереднього.....	45
2.3.4 Експоненціальне згладжування.....	46
2.3.4 Модель Бокса-Дженкінса.....	47

2.4 Древа рішень.....	49
2.5 Локальний пошук та оптимізація.....	52
Висновки до розділу 2.....	55
РОЗДІЛ 3. ПРОЦЕС МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО СУДНА АБО ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	56
3.1 Вимоги до даних.....	58
3.2 Навчальний процес.....	59
3.2.1 Зразки даних.....	59
3.2.2 Маркування даних.....	61
3.2.3 Попередня обробка.....	62
3.2.4 Розрахунок дерева рішень.....	67
3.2.5 Оптимізація дерева рішень.....	67
3.3 Процес моніторингу.....	68
Висновки до розділу 3.....	69
РОЗДІЛ 4. ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНОГО СУДНА, ВІДМОВ ТА НЕСПРАВНОСТЕЙ, МЕТОДИКА ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГНОСТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	70
4.1 Навчальний процес.....	71
4.1.1 Зразки даних.....	71
4.1.2 Класифікація даних.....	73
4.1.3 Обробка даних.....	73
4.1.4 Розрахунок дерева рішень.....	74
4.1.5 Оптимізація.....	75
4.2 Процес прогнозування.....	75
4.2.1 Обробка даних.....	76
4.2.2 Розрахунок методу прогнозування.....	76
4.2.3 Прогнозування точки (даних).....	76
4.3 Прогнозування невдач.....	77

4.3.1 Нечітка оцінка дерева рішень.....	77
4.3.2 Постановка цілей.....	78
4.3.3 Навчальний процес.....	78
4.3.4 Процес прогнозування.....	79
4.4 Експерименти.....	80
4.4.1 Тестова установка.....	80
4.4.2 Моніторинг стану.....	82
4.4.2.1 Налаштування.....	82
4.4.2.2 Результати експерименту.....	83
4.5 Методика щодо впровадження прогностичного технічного обслуговування повітряних суден на базі штучного інтелекту для експлуатанта цивільної авіації з урахуванням проведених досліджень та експериментів.....	85
Висновок до розділу 4.....	88
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	90
5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час технічного обслуговування повітряного судна.....	90
5.2 Технічні та організаційні заходи зі зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при обслуговуванні систем повітряного судна.....	92
5.3 Пожежна безпека при технічному обслуговуванні систем повітряного судна.....	93
5.4 Розрахунок заземлення стенда при заправці паливом повітряних суден.....	96
5.5 Інструкція безпеки праці при виконанні робіт з установкою для технічного обслуговування систем повітряних суден.....	98
5.6 Інструкція безпеки праці при виконанні робіт з персональним комп'ютером для технічного обслуговування систем повітряних суден.....	100
5.6.1 Вимоги безпеки перед початком роботи на обладнаному місці....	102

5.6.2 Вимоги безпеки під час роботи з персональним комп'ютером.....	102
5.6.3 Дії персоналу в аварійних ситуаціях.....	103
5.6.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	103
Висновки до розділу 5	104
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	105
6.1 Небезпечні фактори впливу на навколишнє середовище при технічному обслуговуванні та експлуатації цивільних повітряних суден.....	105
6.2 Вплив використання персонального комп'ютера на навколишнє середовище та способі зменшення впливу.....	109
6.3 Електромагнітне забруднення навколишнього середовища і шляхи захисту від нього.....	112
Висновки до розділу 6.....	116
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	117
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	119

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АТ	– авіаційна техніка;
АТБ	– авіаційно-технічна база;
АТС	– авіаційно-транспортна система;
БП	– безпека польотів;
ЕБВБ	– електронний блок вимірювання вібрації;
ЕМП	– електромагнітне поле;
ЕС	– експертна система;
ІТ	– інформаційні технології;
ІУС	– інформаційно-управляюча система;
ЛА	– літальний апарат;
МН	– машинне навчання;
НМ	– нейронна мережа;
ПБ	– пожежна безпека;
ПК	– персональний комп'ютер;
ПЛП	– підтримання льотної придатності;
ПММ	– паливо-мастильні матеріали;
ПрТО	– прогностичне технічне обслуговування;
ПС	– повітряне судно;
СУ	– силова установка;
ТЕ	– технічна експлуатація;
ТО	– технічне обслуговування;
ТС	– технічний стан;
ФС	– функціональна система;
ЦА	– цивільна авіація;
ІІІ	– штучний інтелект;
ARMA	– Autoregressive moving average;
ID3	– Iterative Dichotomiser 3;
ICAO	– International civil aviation organization;
PAHMIR	– Preventive Aircraft Health Monitoring for Integrated Reconfiguration.

ВСТУП

У процесі експлуатації повітряних суден (ПС), можливе виникнення несправностей різного характеру, які можуть спричинити непередбачувані наслідки, у результаті чого можливе виникнення аварійної або катастрофічної ситуацій. Тому гостро стоїть питання безпеки польотів (БП). Існує ряд факторів, які впливають на БП літальних апаратів (ЛА), такі як: характерні та не характерні несправності системи або систем ПС, якість технічного обслуговування (ТО) та рівень майстерності екіпажу, тощо. Завдяки статистиці появ непередбачуваних польотних ситуацій, можливо відокремити, як найвагоміші, фактори несправності систем та якості проведення ТО. Відсутність діагностування, ігнорування, невчасне усунення несправностей ПС може призвести до певних відхилень від нормальних параметрів роботи систем та обмежити або зменшити термін служби агрегатів та обладнання. Отже, вчасне виявлення та усунення несправностей – це необхідна умова забезпечення БП з нагальним пріоритетом.

Для забезпечення покращення якості та ефективності діагностування та моніторингу технічного стану (ТС) агрегатів та систем ПС використовують штучний інтелект (ШІ), спеціалізовані системи прогнозування ТС ПС. Тому важливим напрямком досліджень у сфері ШІ є створення концепції самонавчальних моніторингів стану ПС з метою прогнозування їх подальшого стану. Така концепція заснована на двох різних процесах (моніторинг стану і прогнозування стану), які працюють разом. Обидва процеси використовують дерева рішень для прийняття рішень. У процесі моніторингу стану завдання полягає в тому, щоб вирішити, який стан представляють дані датчика, а в процесі прогнозування стану завдання полягає в тому, щоб вирішити, як саме прогнозувати точки даних. Обидва завдання вирішуються деревом рішень.

Саме тому, в дипломній роботі пропонується розглянути використання самонавчальних дерев рішень на базі ШІ для покращення якості та ефективності діагностики несправностей ПС та ЛА, що значно підвищує ефективність та економічну оптимізацію процесів ТО ПС.

РОЗДІЛ 1

НАГАЛЬНІ СКЛАДНОСТІ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ В СИСТЕМІ ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Сучасна авіаційно-транспортна система, процес підтримання льотної придатності

Теперішній Світ є настільки глобалізованим та насиченим взаємозв'язками й невідкладною необхідністю постійного товарообміну і перевезення пасажирів, що не може існувати без передових галузь транспорту, таких як авіація.

Авіація – галузь, що є складовою частиною транспортної системи країни, підприємства, установи та організації якої незалежно від форми власності та підпорядкування володіють повітряними суднами та провадять діяльність, пов'язану з використанням повітряного простору [1].

На сьогоднішній день авіація є провідною транспортною та технічною галуззю. Для повного розуміння нагального стану справ й розкриття проблематики доцільно розглянути саме цивільну авіацію.

Цивільна авіація (ЦА) – авіація, яка використовується для задоволення потреб економіки і громадян у повітряних перевезеннях і авіаційних роботах, а також для виконання польотів у приватних цілях [2]. Сучасна ЦА представлена як авіаційна транспортна система (АТС).

Авіаційно-транспортна система – сукупність елементів (суб'єктів) системи, що діють і взаємодіють для задоволення потреб суспільства в авіаційних роботах та перевезеннях. Суб'єктами АТС є ПС з їх екіпажами, авіакомпанії, аеродроми і аеропорти, організації з ТО ПС, ОПР, Державіаадміністрація, органи з розслідування авіаційних подій, інцидентів та нагляду за БП, сертифіковані Державіаадміністрацією авіаційні навчальні заклади тощо. [3]. Таким чином, АТС ЦА України — це сукупність закономірно розміщених елементів організації повітряних перевезень пасажирів та їх багажу, вантажу і пошти, які знаходяться у

постійному взаємозв'язку. Основною метою діяльності АТС є забезпечення потреб громадян і економіки у сфері надання послуг по здійсненню повітряних перевезень і виконанню авіаційних робіт. Незважаючи на те, що кожен елемент системи є досить самостійним, виконує притаманні лише йому специфічні функції, тим не менш, всі вони взаємодіють, як між собою, так і з іншими системами. На основі проведеного аналізу розроблено структуру сучасної авіаційної транспортної системи цивільної авіації України, яка представлена на рисунку [4].

Функціонування АТС забезпечується взаємодією кількох самостійних систем: експлуатації; управління повітряним рухом (УПР); комерційної експлуатації; аеродромної експлуатації. Таким чином, АТС ЦА України – це сукупність закономірно розміщених елементів організації повітряних перевезень пасажирів та їх багажу, вантажу і пошти, які знаходяться у постійному взаємозв'язку. Основною метою діяльності АТС є забезпечення потреб громадян і економіки у сфері надання послуг по здійсненню повітряних перевезень і виконанню авіаційних робіт. Незважаючи на те, що кожен елемент системи є досить самостійним, виконує притаманні лише йому специфічні функції, тим не менш, всі вони взаємодіють, як між собою, так і з іншими системами. Фундаментальною основою АТС є система ТО ПС. Метою цієї системи є управління ТС ПС протягом його терміну експлуатації для забезпечення підтримки і відновлення льотної придатності ПС з мінімальними витратами праці і коштів на виконання ТО.

Підтримання льотної придатності (ПЛП) – всі процеси, які забезпечують у будь-який час експлуатації відповідність повітряного судна чинним вимогам з льотної придатності та знаходження повітряного судна в придатному для безпечної експлуатації стані [5].

Система ТО складається із сукупності взаємодіючих об'єктів ТО, засобів ТО, виконавців і документально встановлює правила їх взаємодії. Від ефективності системи ТО залежить безпека і регулярність польотів, тобто ефективність експлуатації ПС. Тому ефективність ТО залежить від рівня і якості її експлуатаційно-технічної документації.

У недалекому минулому комплекс ПЛП ґрунтувався на використанні паперової документації та обміну інформації на її основі (паперова технологія), яка нині не є ефективною, адже із плином часу кількість накопиченої інформації збільшується й виникають труднощі при її пошуку, обробці, внесенням змін, зберіганні. Відповідальний інженерний та технічний персонал повинен був значну частину свого робочого часу витрачати на складання численних паперових документів (розпорядчих, звітних, облікових, технологічних тощо), в результаті чого значно знижується ефективність усіх видів діяльності, пов'язаних з ТО авіаційної техніки (АТ). Метою діяльності сучасного комплексу ПЛП направлена не тільки для забезпечення БП, а й для оптимізації економічної складової діяльності ЦА та її підприємств.

Авіакомпанії в середньому витрачають на ТО приблизно від 10 до 11 відсотків від доходу з авіап перевезень. В Україні згідно даних 2017 року потреби в ТО парку українських авіакомпаній «західних» моделей ПС склали 125 мільйонів доларів США. Однак лише від 20 до 25 відсотків обсягу послуг задовольняються в Україні самими авіакомпаніями та спеціалізованими постачальниками послуг. Решту робіт авіакомпанії вимушені замовляти закордоном у зв'язку з відсутністю потужностей (організацій, ангарів, персоналу) сертифікованих за європейськими стандартами. Серед всіх послуг та робіт з ТО найбільш комерційно привабливими є базові (ангарні) форми ТО, які в Україні не виконуються. Згідно Національної Транспортної стратегії України-2030, очікується зростання обсягів пасажирських авіап перевезень з 16,5 мільйонів у 2017 році до 35 мільйонів у 2023 році та 70 мільйонів у 2030 році. Значне зростання обсягів авіап перевезень у найближчі роки вимагатиме збільшення парку повітряних суден українських авіакомпаній, що в свою чергу призведе до збільшення потреб в ТО ПС. Українські авіакомпанії та спеціалізовані компанії з ТО можуть забезпечити зростаючі потреби тільки в лінійному ТО та окремих видах робіт. Відтак, на сьогодні, основний обсяг потреб з базових форм ТО та фарбування виконується за межами України [6].

Нині діяльність ЦА супроводжується використанням великих потоків інформації, яка має властивість накопичуватись по експоненціальному закону. Світ

не є стерильним, тому час від часу переживає різного роду та характеру зміни й потрясіння, таким «потрясінням» стала пандемія вірусу COVID-19. Тож, до збільшення складності обробки й систематизації накопичуваної інформації й економічного аспекту авіаційної діяльності додалася ще одна, непередбачувана та у певній мірі загрозлива складова.

Згідно даним Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), з березня 2020 року «коронакриза» скоротила ринок міжнародних перельотів на 85 відсотків. Міжнародна асоціація повітряного транспорту (IATA) наводить ще більш красномовну цифру: закриті кордони та запроваджені у різних країнах карантинні обмеження вплинули на виконання 98 відсотків пасажирських авіарейсів по усьому світу. Якщо на початку весни IATA прогнозувала падіння ринку авіаперевезень до кінця 2020 року на 38 відсотків, то у квітні погіршила прогноз до 48 відсотків. Очікувані збитки два тижні тому вже оцінювались в колосальні 314 мільярдів доларів. І це за умови початку нормалізації ситуації хоча б до кінця червня [7].

Неписаний закон авіації: літак у небі приносить прибутки, а літак на землі – збитки. За даними ICAO, після зими на стоянках аеропортів нагромадилося понад 11 тисяч ПС, що становить більшу половину загального світового пасажирського флоту. Наприклад, гігант серед авіакомпаній – Delta Air поставила на постійну стоянку понад 600 ПС у Світі.

Авіакомпанії втратили практично весь заробіток й вимушені збільшувати відрахування аеропортам на масовий паркінг, при чому, зокрема, здійснювати регулярні платежі лізинговим та страховим компаніям, виплачувати зарплати, повертати гроші за невикористані квитки, тощо. Регулярне ТО ПС необхідне навіть тим літакам, які просто перебувають на місцях стоянки, чим стає великою статтею видатків авіаперевізників. За прогнозами агентства Bloomberg, коронакриза може спровокувати масові банкрутства авіакомпаній. Такий розвиток подій поставить під загрозу існування 25 мільйонів робочих місць в авіації та пов'язаних галузях. Авіаперевізники просять уряди про «екстраординарну» державну підтримку. В умовах глобального падіння виробництва, споживання та торгівлі, розраховувати на допомогу від держав зможуть далеко не всі компанії [8].

Найбільша європейська континентальна авіакомпанія Lufthansa потребує державної допомоги. Перевізник почав скорочення своїх працівників попри не завершені переговори з урядом. Зокрема, оголосив про ліквідацію лоукосту Germanwings та виключення з флоту 40 літаків, що призведе до звільнення 14 тисяч співробітників. За інформацією Reuters, німецька влада може погодитись профінансувати компанію на мільйони євро в обмін на частку в компанії.

Найбільші видатки українських авіакомпаній, на відміну від європейських чи американських, пов'язані не з зарплатами, а відрахуваннями за лізинг літаків. За оцінкою Центру транспортних стратегій, у 2017 році 89 відсотків всього комерційного флоту перевізників перебувало саме у такій формі власності. Тому і майбутнє національної авіації залежить не стільки від підтримки уряду, скільки від готовності керівництва (часто пов'язаного з власниками перевізників) лізингових компаній йти на поступки.

Основне ускладнення нинішньої коронакризи полягає у її непередбачуваності. Кожен день вимушеного простою все більше розхитує фінансове становище перевізників та тисяч підприємств, які обслуговують потреби авіаційної галузі. Пережити складні часи зможуть лише компанії, які здатні адаптуватися до нової реальності, яка зобов'язує до відмови від зайвих видатків, дорогих в експлуатації бортів, неприбуткових рейсів, тощо.

Враховуючи описані чинники і перепони, проблеми, що виникають разом з ними, необхідно адаптувати існуючі системи ПЛП та ТО ПС з метою їх покращення та оптимізації. Доцільно використовувати нові, більш сучасні методи і способи ТО й не забувати про процеси діджиталізації.

Одним з головних рушіїв оптимізації систем з ПЛП та ТО ПС є перенос та переведення інформації з паперових носіїв у електронну площину й на електронні носії. Це можливо завдяки загальному впровадженню сучасної обчислювальної техніки, на базі персональних комп'ютерів, тому спостерігається вирішальне скорочення а, в подальшому, повна заміна паперової документації та її носіїв управління експлуатацією АТ на спеціалізовано уніфіковану електронну інформаційну технологію (ІТ), з веденням, поглибленням й забезпеченням

електронного обміну інформацією. У сучасному глобалізованому Світі інформація представлена як один з основних чинників забезпечення ефективного управління складними об'єктами, зокрема в АТС. Саме тому широко набули актуальності завдання розробки і впровадження сучасних методів побудови інформаційних управляючих систем з ТО АТ і побудови оптимальної моделі взаємодії суб'єктів АТС. При цьому використовуються електронні бази даних, що призначені для накопичення, обробки та видачі інформації, необхідної для прийняття відповідного оптимального рішення.

Розробкою інформаційного забезпечення процесу ПЛП АТ і створенням інформаційних управляючих систем (ІУС) в Україні (УРСР) стали займатися в 70-ті роки минулого століття [9, 10]. У своєму розвитку ІУС пройшли декілька етапів: по-перше було створено системи, які вирішують локальні завдання (наприклад, системи «Надійність», «Цех», «Авіаційно-технічна база (АТБ)»; по-друге для великих авіапідприємств створювали комплексні системи, які поєднують локальні. Згодом, у 90-ті роки була розроблена і впроваджена в експлуатацію на декількох авіапідприємствах базова версія ІКС, «Ерлан-1» (AirLAN-1), з подальшою її розробкою в SQL-версії («Ерлан-2») відповідно до стандартів АЕСМА 1000D і АЕСМА 2000M.

Застосування ІТ, спрямованих на вдосконалення процесу експлуатації АТ, має враховувати такі особливості сучасного етапу розвитку АТ:

- збільшення кількості та складності застосовуваних виробів в складі АТ;
- сталість змін і модифікацій систем і агрегатів АТ, що вимагає внесення змін в технічну і технологічну документації;
- збільшення номенклатури та зменшення термінів освоєння нових виробів АТ, що вимагає постійного підвищення кваліфікації відповідного персоналу і його швидка адаптація та навчання;
- розвитку автоматизованих засобів діагностики і контролю.

1.2 Прогностичне технічне обслуговування як новий та більш сучасний метод технічного обслуговування

Позапланове ТО літаків викликає безліч проблем і витрат для експлуатантів. Це пов'язано з тим, що ПС потребує значних витрат у випадку простоїв й тому, що запасні частини не завжди доступні в будь-якому місці знаходження ПС. Отже, скорочення долі позапланового ТО є значним фактором зменшення витрат для експлуатантів. У моїй роботі описані три методи моніторингу і прогнозування стану ПС: метод системного моніторингу, метод прогнозування часових рядів і метод, який об'єднує два інших в один процес моніторингу та прогнозування. Разом ці три методи дозволяють прогнозувати можливі відмови. Два базових методи використовують дерева рішень для прийняття рішень в процесах, генетичну оптимізацію для підвищення продуктивності дерев рішень і зменшення необхідності взаємодії з людиною. Дерева рішень мають перевагу, яка пояснюється тим, що згенерований код можна швидко і легко обробити, вони можуть бути змінені операторами-людьми без особливих зусиль і доступні для читання людьми. Здатність людини читати і змінювати результати є особливо важливими для застосування спеціальних знань та усунення помилок, викликаних автоматичною генерацією коду.

Як вже зазначалося раніше, необхідно використовувати більш сучасні та вигідні методи ТО. Таким методом є метод прогностичного технічного обслуговування (ПрТО). ПрТО або PdM (predictive maintenance) це метод ТО, при якому забезпечується прогнозування подальшого стану тих чи інших елементів системи, агрегатів, тощо, для того, щоб допомогти визначити їх стан в експлуатації, з метою оцінки та підбору необхідного плану проведення ТО. Саме такий підхід обумовлює раціональне використання фінансів та інших ресурсів при звичайному або часовому профілактичному обслуговуванні, оскільки завдання з ТО виконуються лише за наявності факту майбутньої відмови компонента. Таким чином, прогностичне ТО здійснюється на основі умов, за запропонованими оцінками стану деградації параметрів конкретного компонента системи [11].

Цей метод ґрунтується на підході до обслуговування обладнання заснований на методології RCM (метод для розробки та оптимізації стратегії технічних систем (фізичних активів), для підвищення надійності, доступності, якості продукції та економічної ефективності в рамках передумов (само-накладених) законів та норм у галузі безпеки та навколишнього середовища), відповідно до якої метою обслуговування є не підтримка кожної одиниці обладнання в бездоганному стані (що вимагає невиправдано високих витрат), а забезпечення надійності критичних для діяльності підприємства виробничих і технологічних процесів. При цьому для некритичного обладнання можуть застосовуватись традиційні види обслуговування:

Реактивний – напрацювання на відмову без технічного обслуговування; використовується, коли обладнання легко замінюється або ремонтується без шкоди для діяльності підприємства.

Превентивний – аналогічний системі планово-попереджувальних ремонтів (ППР); використовується для обладнання, вартість простою якого невисока, а ремонт не займає багато часу.

Прогностичне обслуговування застосовується у випадках, коли ступінь використання обладнання у виробничому ланцюжку оцінюється як висока, а його відмова або тривалий простій призводить до суттєвих фінансових втрат. ПрТО, на відміну від превентивного, дозволяє проводити ремонт не за заздалегідь складеним планом, а виключно за потребою. Завдяки цьому можлива максимальна оптимізація витрат коштів, з одного боку на планове обслуговування обладнання, яке без ремонту здатне нормально функціонувати допустимий проміжок часу, з іншого – знижується ймовірність позапланового простою, викликаного несподіваною поломкою.

Це досягається за рахунок:

- збору даних про технічний стан устаткування та їх попередньої обробки;
- раннього виявлення несправностей;
- прогнозування часу настання відмови;
- планування обслуговування;
- оптимізації ресурсів, що виділяються на обслуговування обладнання.

Зважаючи на розвиток засобів промислового інтернету речей зокрема, завдяки оснащенню обладнання різними датчиками, збору даних про його технічний стан, можна буде виконувати не періодично, а безперервно, без припинення експлуатації обладнання. Своєчасне виявлення навіть невеликих відхилень робочих параметрів дозволить своєчасно вживати заходи для забезпечення нормальної роботи обладнання. Технології Big Data (обробка великих масивів даних) дозволять прогнозувати час настання відмови з високою точністю.

Основні переваги системи ПрТО:

- ефективність планування обслуговування;
- запобігання непередбачених збоїв.

Маючи у своєму розпорядженні інформацією про те, яке обладнання вимагає технічне обслуговування, відповідні роботи можна запланувати на період, коли вони будуть найбільш рентабельні. Таким чином незаплановані тривалі простої перетворюються в більш короткі планові і час доступності обладнання збільшується.

Інші потенційні переваги ПрТО:

- збільшення терміну служби обладнання;
- підвищення безпеки виробництва;
- зменшення кількості аварій з негативним впливом на навколишнє середовище;
- формування оптимального набору запасних частин і матеріалів.

У системі IT-Enterprise предиктивне обслуговування забезпечується продуктом "Predictive Maintenance 4.0 — технічне обслуговування нового покоління", забезпечується високий рівень надійності обладнання [11].

Основною перевагою ПрТО – є здатність до більш зручного планування коригувального обслуговування та запобігання несподіваним (непрогнозованим) виходам з ладу компонентів системи (обладнання). Вирішальними критеріями переваги при виборі даного методу ТО є: правильний термін експлуатації обладнання та компонентів, підвищення рівню БП, зменшення кількості відмов з негативним впливом на навколишнє середовище та оптимізація роботи із деталями, запасними частинами, тощо.

Прогностичне ТО відрізняється від попереджувального ТО тим, що для прогнозування необхідності виконання ТО використовується інформація про нагальний фактичний стан конкретної системи та її компонентів, а не нормовані строки середнього або очікуваного періоду експлуатації.

Необхідно відокремити певні основні компоненти, що необхідні для впровадження прогностичного ТО, а саме: збір та попередня обробка даних, моніторинг стану, раннє виявлення несправностей, виявлення несправностей, прогнозування часу до відмов (-и), планування обслуговування та оптимізація використання наявних ресурсів.

ПрТО оцінює стан системи та її компонентів, здійснюючи періодичний або постійний моніторинг їх стану. Кінцевою метою обраного представленого підходу є проведення ТО в запланований момент часу, коли діяльність з ТО є найбільш економічною з урахуванням втрати працездатності компонентів в межах порогової кількості для системи, що діагностується. Завдяки цьому скорочується незаплановані витрати на простої при ТО через виникнення непрогнозованої відмови. При певній затримці вильоту, більш ніж на 8 годин, окрім втрати частини доходу та витрат на ремонт-компоненти та запасні частини, необхідно при наявності пасажирів, забезпечити їм, якщо нема літака, який здатен виконати рейс вчасно, проживання в готелі, що збільшує витрати. ТО, яке базується на основі календарного часу є трудомістким, неефективним для виявлення проблем, які виникають між запланованими інспекціями, тому не є економічно-ефективним та застарілим. Основною ідеєю сучасного прогностичного ТО є перетворення

традиційної підходу ТО «виправити і виправити» на новий «передбачити і запобігти».

Позапланове ТО ПС викликає багато проблем і витрат. Це пов'язано з тим, що ЛА та ПС потребують значних витрат при простоях у випадку скасування чи затримках рейсів, адже запасних частини не завжди можуть бути доступними у будь-якому місці Світу. Таким чином, зменшується частка позапланового ТО, при якому спостерігаються великі витрати на авіаційних операторів. Саме це твердження описує три методи моніторингу та прогнозування стану ПС: системний моніторинг, метод прогнозування часових рядів та метод, який поєднує два інші методи для повного процесу моніторингу та прогнозування. Разом ці методи дозволяють прогнозування можливих збоїв. Два основні методи використовують дерева рішень для прийняття рішень у процесах та вдосконалення генетичної оптимізації виконання дерев рішень зі зменшення потреби у взаємодії з людиною (машинне навчання) взаємодія. Дерева рішень мають перевагу у тому, що згенерований код швидко і легко обробляється, їх можуть легко читати та змінювати люди-оператори без особових зусиль. Особливо важливо врахувати читабельність та подальшу модифікацію результатів спеціальних знань та для усунення помилок, які можливо дала автоматизована генерація коду.

У даній роботі представлена концепція адаптивного прогностичного моніторингу стану ПС за допомогою дерев рішень.

Проект (РАНMIR - Профілактичний моніторинг стану ПС з інтегрованою реконфігурацією), який став базою для цієї роботи, було розпочато в 2008 році як спільний проект Гамбурзького університету прикладних наук і Airbus Operations GmbH.

Для розкриття проблематики та актуальності роботи необхідно дати читачеві повне розуміння проблеми, мотивацію обраного напрямку дослідження та представити концепцію рішення. Доцільно описати проект, в якому проводилось дослідження і який дав мотивацію для нього. Далі пояснюється мотивація та необхідність дослідницької роботи, що посилюється повним описом цілей дослідження. Згодом проводимо огляд концепцій, які застосовувались для

вирішення проблеми та поставлених цілей. Другий розділ пояснює теоретичну основу різних концепцій, які використовуються для формування власної з використанням дерев рішень, евристичної оптимізації, аналізу сигналів, моніторингу стану та аналізу часових рядів.

Після треба приділити увагу проблемами моніторингу стану, щоб пояснити процес та способи, які були представлені раніше. Також, у свою чергу ми приходимо до прогнозування стану, що пояснюється прогнозуванням та зображує, як працюють різні методи разом, щоб отримати прогноз стану системи та прогнозування відмов. Прогнозування відмов поєднує у собі моніторинг стану та прогнозування стану.

Науковий зміст завдання інформаційного забезпечення процесів ПЛП полягає в розробці математичних моделей, що формалізують процеси технічної експлуатації (ТЕ) і встановлюють залежність характеристик цих процесів від керованих змінних. В якості таких керованих змінних використовуються періодичність і тривалість ТО, число і номенклатура запасних частин, чисельність експлуатаційного персоналу, організація і технологія робіт, сукупність методів, засобів і документів, які визначають і регламентують процеси ТЕ АТ.

1.3 Використання штучного інтелекту при технічному обслуговуванні повітряних суден

Штучний інтелект (ШІ) – здатність інженерної системи здобувати, обробляти та застосовувати інформацію, знання та вміння.

ШІ проходив три етапи розвитку, один з яких, третій, для нас найцікавіший, адже характеризується глибоким машинним навчанням (МН) й поглибленням ролі нейронної мережі (НМ) в наші дні.

Нейрона мережа – це форма МН, яка складається з взаємопов'язаних одиниць (за основу взято будову нейронів), які обробляють інформацію, реагуючи та відповідаючи на зовнішні входи, передаючи інформацію між кожним блоком. Такий процес вимагає декількох проходів у даних, щоб знайти необхідні шукані з'єднання та отримати значення з неозначених даних.

МН автоматизує побудову аналітичної моделі та використовує різні методи, такі як НМ, операційні дослідження, статистика та фізика, з метою пошуку нерозкритих відомостей про дані, без конкретного наказу стосовно місця пошуку або яка що необхідно досягти на виході. Глибоке навчання дуже схоже на МН, але на більш глибокому рівні. Мета глибокого навчання – створення нервової мережі за допомогою алгоритму, який може вирішити задані їй проблеми. Зокрема, його використовують для вирішення проблем, коли рішення традиційних методів вимагають дуже складних правил та умовностей. Глибоке навчання використовується, наприклад, для виявлення або обробки мовлення, образів та текстів, розпізнавання елементів навколишнього середовища, розпізнавання обличчя людини.

Приклади застосування машинного навчання наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Що машинне навчання може робити

Вхідна інформація	Задача	Застосування
Картина, зображення, фото	Чи є тут обличчя людини?	Розмітка фото
Заявка, подання на позику	Чи зможуть вони погасити позику?	Схвалення позики
Оголошення і інформація про користувача	Чи користувач прочитав оголошення?	Оголошення націлене на конкретного користувача
Аудіо/відео кліпи	Переклад аудіо кліпів, субтитри	Розпізнавання мови Написання субтитрів
Речення на англійській мові	Перекласти на французьку мову	Переклад мов
Сенсори/датчики двигуна ПС	Чи є поломка/несправність?	Попереджувальне обслуговування
Камера та інші наявні сенсори автотранспорту	Визначення позиції інших машин	Автопілот який керує автотранспортом

Отже машинне навчання дійсно має великий спектр функціональних вмінь, які необхідно та доцільно використовувати.

Алгоритм – набір інструкцій, які описують порядок дій виконавця з метою розв'язання певної задачі за скінченну кількість дій; система правил виконання дискретного процесу, яка досягає поставленої мети за скінченний час. Для візуалізації алгоритмів використовують блок-схеми.

Для комп'ютерних програм алгоритм є списком деталізованих інструкцій, що реалізують процес обчислення, який, починаючи з початкового стану, відбувається через послідовність логічних станів, яка завершується кінцевим станом.

1.4 Експертні системи на базі штучного інтелекту для покращення якості прогностичного технічного обслуговування повітряних суден

Для виконання прогностичного ТО необхідно використовувати бази даних та залучати ІІІ, тому застосовуються спеціалізовані ЕС.

Експертна система (ЕС) – це комп'ютерна система, призначена для імітації поведінки людини, яка є експертом у вузькій галузі. ЕС базуються на методах ІІІ, які використовують знання про певну конкретну область і методи міркування для виконання діяльності, яка зазвичай виконується людьми-експертами. Вони створюються шляхом збору та систематизації знань експерта, а потім перекладу та зберігання цих знань у комп'ютерному цифровому форматі. ЕС наслідують процес міркування людини, тому іноді міркують з неточної та непевної інформації [13 - 15]. Вони вирішують наявні складні проблеми, використовуючи комп'ютерну модель експертного людського міркування. Такі системи забезпечують доступність знань експертів для відповідних спеціалістів з ТО.

Одним з ключових елементів роботи ЕС є виявлення симптомів, що свідчать про відмову. Цими симптомами є певні відхилення параметрів роботи агрегатів системи за допустимі межі. Симптом відмови – це якісний або кількісний опис різновидів відмов, що є основою для діагностування. Симптоми несправності визначаються як нечіткі множини, які згодом потім вироджуються функціями належності нечіткого набору на основі статистичних характеристик або розподілу параметрів польоту. Шляхом наближення функції та пам'яті у штучній НМ, система

використовує мережу НМ для достатньої підготовки системи з вибірковими даними для отримання картини польоту з параметрами, при яких ПС перебуває в справному стані (у певному допустимому діапазоні помилок) [8].

Така модель буде зберігатися у відповідному електронному сховищі діагностичної інформації можливих несправностей ЕС.

Аналіз дерева несправностей. Після отримання симптомів несправності необхідно встановити прямий зв'язок між окремими симптомами. Система аналізу несправностей може перетворити знання в сховищі діагностики несправностей ЕС в дерево несправностей, яке можна описати поєднанням багатьох подій. Ці події встановлюються за допомогою операторів "І" та "АБО".

Встановлення дерева несправностей – це процес аналізу та розуміння процесу в деталях. Після встановлення системного дерева несправностей його можна використовувати в аналізі (якісному та кількісному). Якісний аналіз – це пошук усіх найпоширеніших подій, що можуть призвести до несправності. Цей процес є формуванням дерева розломів. Але несправність може бути спричинена безліччю причин, тому потрібен кількісний аналіз дерева несправностей, щоб швидко та ефективно знайти причину несправності. Кількісний аналіз полягає в досягненні ефекту від мінімальних наборів скорочень до найпопулярніших подій. Кожен набір мінімальних скорочень має різну важливість, тому можливо варіювати їх довірену важливість. Тобто, на основі аналізу дерева несправностей отримується ЕС діагностики помилок, яка є позитивним розрахунковим процесом [14].

Представлення правил. Модель дерева несправностей – це метод діагностики несправностей на основі моделі. Система має форму подання знань, заснованого на правилах. Інтегруючи дерево несправностей мінімальних наборів зрізів та правил представлення знань з інтеграцією кінцевої події в мінімальний набір зрізів та умови в правилах, так, щоб заснована на процесі дедукції знань ЕС, стає розрахунком, заснованим на мінімальних наборах дерев відмов. Події вузлів дерева несправностей представлені як правило висновку, як умова події батьківського вузла, а подія свого дочірнього вузла представлена як правило умови. Інформація про вузол містить дані, що використовуються для опису інших правил.

У базі даних використовується ідентифікатор для унікальної ідентифікації дерева несправностей. Кожен вузол зберігає свою інформацію для формування бази правил. У процесі обчислення, читаючи відповідну інформацію, щоб пояснити міркування машини [12].

Двигун висновку. Двигун висновку є однією з ЕС для обробки всього випуску основного модуля, який відповідає симптомам помилок користувача, використовуючи знання, що зберігаються в базі знань, за методом міркування для просування крок за кроком вперед до появи вирішення. Позитивні міркування, відомі як колишня ланка міркувань, основою якої є відома інформація з польоту, підбирають відповідні знання та поступово вирішують проблему. Краще підходять для типу проблем з ПС, у яких ціль не зрозуміла і має більший діапазон рішень.

Система автоматично позначає введений симптом несправності, щоб знайти відповідну верхню крайню подію та генерувати дерево помилок цієї події. Якщо подія є налаштованою, то симптом помилки може спочатку бути ідентифікований компонентом, і зробити висновок про явище помилки, але згодом ця операція все одно повторюється, поки не буде знайдена істина причина відмови.

Відповідну проблему визначає оператор ЕС через інтерфейс. Потім намагається знайти рішення з питанням та відповіддю в інтерактивному режимі. У цей момент використовується двигун висновку. Поки розробляється експертний системний двигун висновку, програма наявних файлів (інформаційного матеріалу різноманітного характеру) приймається за орієнтир. Відбувається обумовлення логічності та адаптація до системної структури бази даних, в якій файли зберігають запитання, до системи. Залежно від проблеми, визначеної оператором, система формує структуру дерева саме для нього, і залежно від відповідей на запитання, система розгалужується на відповідні підсистеми.

Для відповідей на питання, які не визначені в системі, підсистема призначена для надання невизначених відповідей з нечіткою логікою за допомогою зворотного зв'язку. На даний момент рішення намагається знайти за допомогою ЕС або відгуків користувачів щодо проблем, які неможливо вирішити за допомогою неї [13].

Основними уточненнями, критеріями та деталями, які необхідні ввести оператору через систему для того, щоб почати процедуру вирішення проблеми: виробник ПС, тип ПС, виробник двигуна, тип двигуна та визначення (конкретизація) проблеми. Процес створення тесту для виявлення несправностей і пошук несправності показаний на рисунку 1.1.

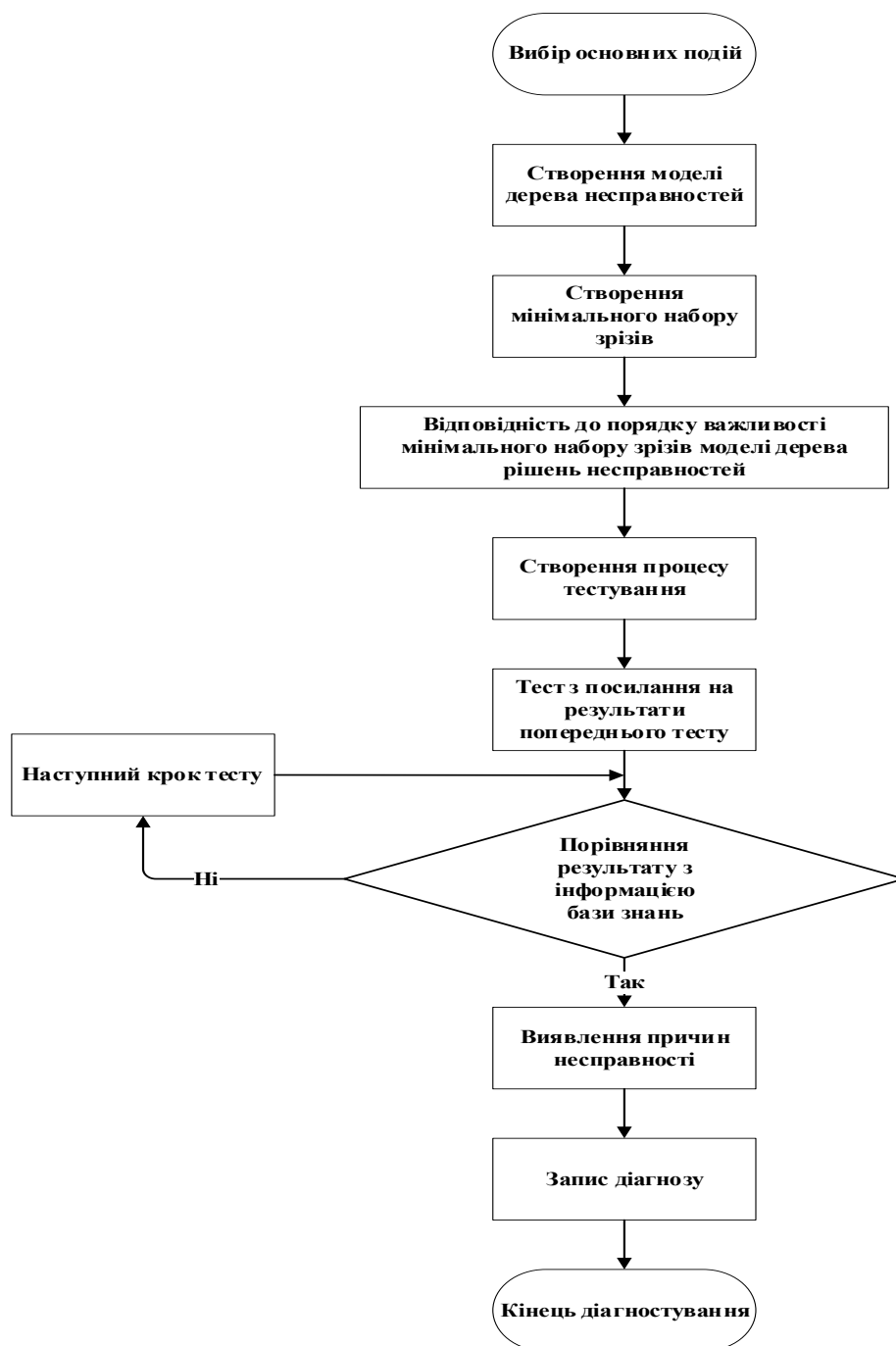


Рисунок 1.1 – Процес створення тесту для виявлення та пошуку несправностей

Така схема добре характеризує процес створення тесту пошуку несправностей.

1.5 Постановка задачі та схема проведення досліджень

1.5.1 Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – підвищення ефективності використання авіаційної техніки й літальних апаратів із підвищенням рівня функціонування системи підтримання льотної придатності повітряних суден за допомоги використання штучного інтелекту під час прогностичного технічного обслуговування.

Для реалізації поставленої мети в роботі поставлені наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан АТС, системи ПЛП, стан ЦА і загального парку ПС, пов’язані з цим труднощі при виконанні ТО;
- провести аналіз існуючих сучасних стратегій ТО, існуючих способів прогнозування технічного стану ПС та їх систем й наявних інформаційних технологій для створення дерев рішень з метою проведення ПрТО ПС на базі ШІ;
- проаналізувати дані, отримані експериментальним шляхом і на їх основі створити дерево рішень, що дозволить розробити методику щодо впровадження ПрТО ПС на базі ШІ для певного експлуатанта з урахуванням основних наявних факторів впливу;
- розробити методику щодо впровадження ПрТО ПС на базі ШІ для певного експлуатанта з урахуванням основних наявних факторів впливу.

Об’єкт дослідження – модель системи підтримання льотної придатності літальних апаратів та повітряних суден цивільної авіації.

Предмет дослідження – процес управління та організації технічного обслуговування літальних апаратів та повітряних суден, а також виробів авіаційної техніки в рамках системи підтримання льотної придатності експлуатантів цивільної авіації.

1.5.2 Методи дослідження

Для розв'язання поставлених задач застосовувалися відповідні інструменти, зокрема формування дерев прийняття рішень, апарат обробки та систематизації так званих банків даних (масиви даних), відповідно до схеми досліджень, що надана на рисунку 1.2.

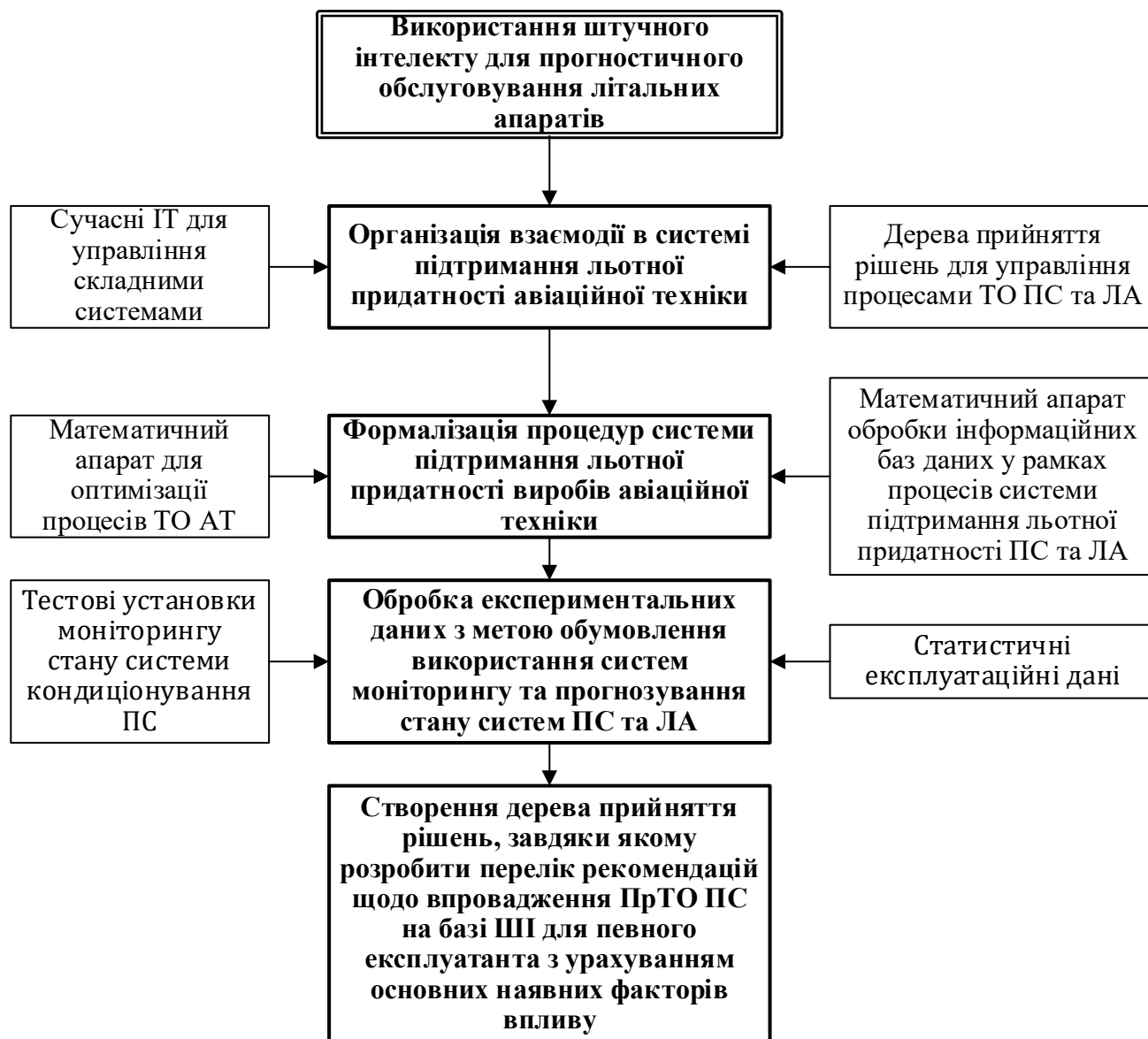


Рисунок 1.2 – Схема досліджень

Формування такої схеми дозволяє візуально показати зв'язки при проведенні дослідження, систематизувати етапи дослідження й зосередити увагу на необхідному інформаційному забезпеченні.

Висновки до розділу 1

Даний розділ розкриває доцільність та актуальність обраної теми дипломного проекту. Він містить найбільш актуальні проблеми, які нині впливають на Світову ЦА, зокрема на ЦА України. Такими чинниками впливу зокрема є економічна ситуація, що спричинена коронакризою та політичною ситуацією у Світі.

Була розглянута сучасна АТС та система ПЛП ПС з метою обґрунтування доцільності застосування ІІІ при ТО ЛА і ПС, що уособлюється використанням ПрТО.

Даний розділ дає розуміння доцільності використання ІІІ для ПрТО у сучасних умовах авіаційної діяльності з метою оптимізації використання людських ресурсів та зменшення технічних й економічних видатків при ТО ПС.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРАНОГО МЕТОДУ ПРОГНОСТИЧНО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

2.1 Моніторинг стану

Моніторинг стану є частиною ТО за станом [21]. Обслуговування (maintenance) представлено комбінацією всіх технічних і пов'язаних з цим адміністративних дій, призначених для утримання елемента або відновлення його до стану, в якому він може виконувати свою закладену функцію [22]. Мета полягає в тому, щоб запобігти фатального впливу для ПС, людини або навколишнього середовища, запобігти несподіваній відмови ПС, планування ТО на основі стану, безпеку виробництва і контроль якості [23].

Рисунок 2.1 показує розгалуження різних стратегій обслуговування.

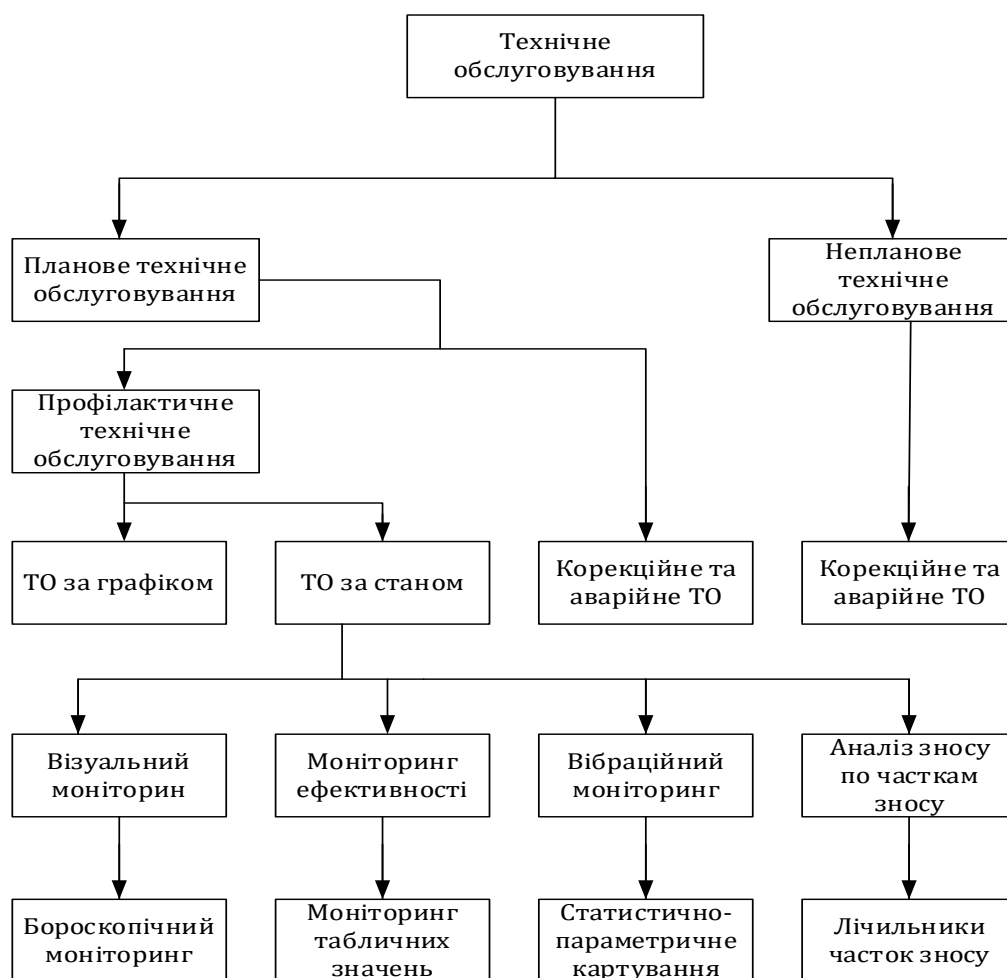


Рисунок 2.1 – Структура стратегій технічного обслуговування

Існує три основні стратегії обслуговування [21, 23]:

1. Робота до поломки (run to break) це найбільш просте ТО, яке часто використовується для дешевих систем, в яких пошкодження не викликає інших відмов. Машина або система використовуються до тих пір, поки не зламаються. Зазвичай використовується для споживчих товарів [23].

2. Профілактичне обслуговування, яке є найбільш поширеним методом обслуговування промислових машин і систем. ТО проводиться через певні проміжки часу. Інтервали часто вибираються таким чином, щоб тільки від одного до двох відсотків машини виходили з ладу за цей час [21].

3. ТО, яке базується на стані, також називається прогностичним. Дане ТО планується динамічно, на основі стану машини або системи. ПрТО має переваги порівняно з іншими двома стратегіями, але вимагає застосування надійного методу моніторингу стану[21].

Рисунок 2.2 показує типовий випадок моніторингу на основі стану машини.

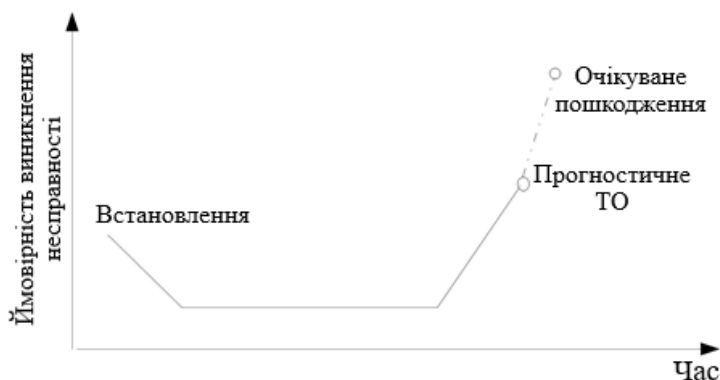


Рисунок 2.2 – Стан машини або системи з плином часу

Все починається з введення певної машини в експлуатацію, а потім вона працює в звичайному режимі. Машина замінюється незадовго до виникнення несправності [23].

Моніторинг стану може здійснюватися за двома стратегіями моніторингу [21, 23]:

1. Стратегія постійного моніторингу, яка базується на встановлених фіксованих вимірювальних системах. Часто ці системи повинні бути дуже складними, щоб правильно реагувати у разі виникнення несправності. Зазвичай

вони використовуються, якщо після відмови необхідна швидка реакція. Постійний моніторинг часто вимикає машину (зупиняє роботу), якщо виявляється небезпечна несправність [21].

2. Стратегія періодичного моніторингу, як правило, використовується для прогнозування відмови та діагностики. Вимірювання проводяться регулярно за допомогою мобільного пристрою. Оцінка даних проводиться на зовнішньому пристрої. Інтермітуючий моніторинг часто використовується для поширеного довгострокового попередження [23].

Стратегія постійного моніторингу часто простіша, ніж періодичного, оскільки необхідно забезпечити швидкий час реакції. Періодичний моніторинг може бути більш складним і може робити більш складні обчислення [21]. Постійний та періодичний моніторинги можна поєднувати за допомогою одних і тих самих датчиків й працювати паралельно. Це дозволяє проводити періодичний моніторинг частіше (дані завжди доступні) [21].

Різними методами моніторингу стану є [21]:

- вібраційний аналіз, при якому вимірюється вібрація машини або системи та порівнюється із заданою вібраційною характеристикою. Вібрації можуть свідчити про конкретні проблеми у роботі машини, про що свідчить їх особливі частоти. Тому сигнал вібрації часто аналізується у часовій та частотній областях. Вібраційний аналіз часто використовується для моніторингу стану [21 - 23];

- аналіз мастила та змазок показує якість аналізованої рідини та наявність частинок у рідині. Забруднення мастил та гідравлічних рідин можуть призвести до поломки машини або системи. Про фізичний стан рідини можна судити знаючи її в'язкість, вміст у ній води, інших хімічних домішок, тощо. У контексті стратегії моніторингу стану це означає заміну мастила на основі стану. Також можна виявити механічні домішки, бруд у системі за допомогою аналізу частинок [24];

- аналіз продуктивності – це ефективний спосіб визначити, чи правильно функціонує машина. Аналіз продуктивності контролює такі параметри процесу, як температура, тиск, швидкість потоку, тощо [21].

– термографія використовується для виявлення гарячих точок в системі або машині. Нині, в основному, вона використовується в квазістатичних ситуаціях.

Моніторинг стану можна використовувати для одного датчика або для складної системи. Для моніторингу системи використовуються два підходи: один до одного та один до багатьох [24].

Індивідуальний моніторинг зображено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Індивідуальний моніторинг стану

При індивідуальному моніторингу системного параметра, який вимірюється датчиком, безпосередньо передається на обробку сигналу та моніторингу стану, незалежно від підсистеми, до якої належить параметр [24].

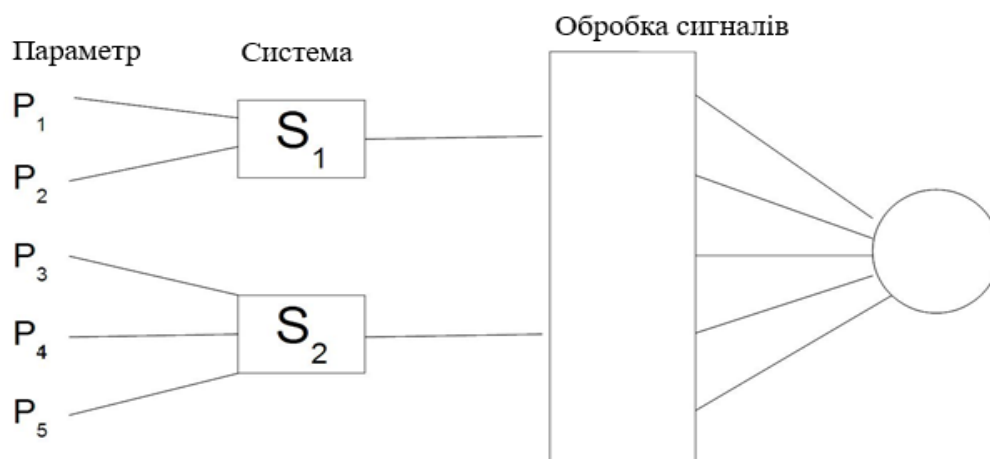


Рисунок 2.4 – Моніторинг стану "один до багатьох"

У моніторингу від одного до багатьох використовується один датчик, який надає інформацію про моніторинг стану в більш ніж одній підсистемі (рис. 2.4). Моніторинг "один до багатьох" допомагає при виявленні несправностей [24].

Існують різні методи виявлення несправностей за допомогою моніторингу стану. Якщо оцінюється лише один датчик або параметр, то проводиться аналіз тенденції або обмеження можуть бути використані [23]. Використання обмеження є найпростішим методом. Сигнал датчика порівнюється із заданою межею. Помилка сталася, якщо сигнал датчика перевищує задану межу. Визначення відмови на основі обмежень не може бути використано для прогнозування відмови [23]. Аналіз тенденцій фіксує часовий ряд сигналу датчика. Можна припустити, що машина працює нормально, якщо з часом відбуваються лише незначні зміни. Більш сильна зміна часових рядів свідчить про розвиток невдачі. Аналіз тенденцій може бути використаний для прогнозування відмов [23]. Якщо система контролюється, тоді потрібно створити модель системи (див. рисунок 2.5).

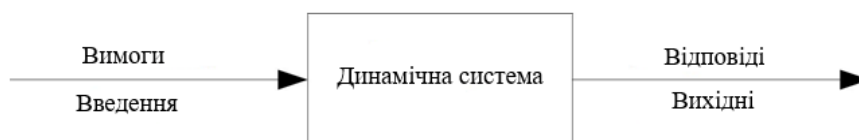


Рисунок 2.5 – Модель системи

Дана модель береться за основу для подальшого виявлення несправностей (рис. 2.6).

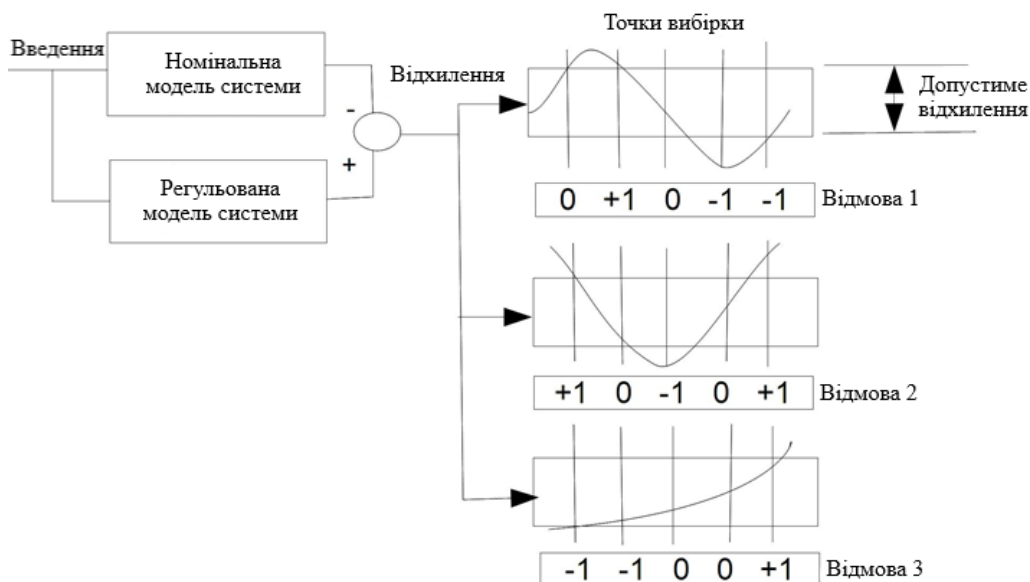


Рисунок 2.6 – Виявлення несправностей за допомогою моделі системи

2.2 Розпізнавання та аналіз сигналів

Сигнал – це різноманітна величина, значення якої можна виміряти і яка передає інформацію [30]. Сигнали можуть представляти звук, вібрації, значення кольору, температури, тощо. Існує два типи сигналів: аналоговий та цифровий. Аналоговий сигнал – це безперервний сигнал, а цифровий сигнал має кінцеву кількість значень. Процес перетворення аналогового сигналу в цифровий сигнал називається дискретизацією (рис. 2.8). Вибірка повторно представляє аналоговий сигнал за допомогою ряду вимірювань із регулярним інтервалом або зразків [30].

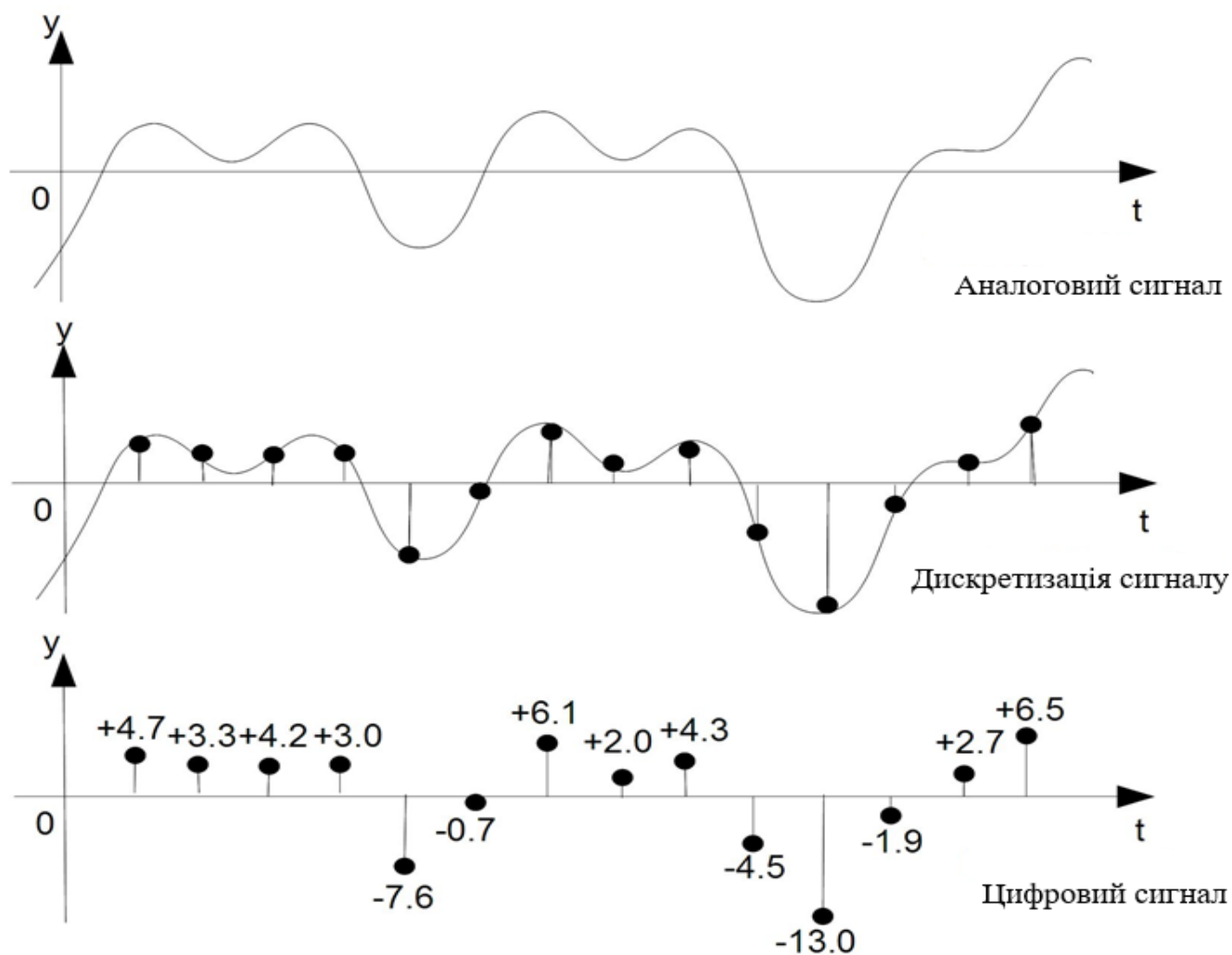


Рисунок 2.8 – Дискретизація сигналу

Кількість регулярних зразків з інтервалом в секунду є частотою дискретизації та вимірюється в Герцах (Гц). Сигнал має амплітуду і фазу. Амплітуда є величиною вибірки, а фаза вимірює час затримки цього руху та іншого руху з тією ж швидкістю [30]. Сигнали, представлені, як зазначено вище,

знаходяться у часовій області (t). Можна перетворити сигнали так, щоб вони були представлені в частотній області. У частотній області знаходяться сигнали, представлені функцією косинуса та синуса з різними частотами [30]. Процес перетворення сигналу називається перетворенням Фур'є для аналогових сигналів та дискретним перетворенням Фур'є для цифрових сигналів. Рівняння 2.1 показує дискретне перетворення Фур'є.

$$Z(f) = \sum_{k=0}^{N-1} z(k) e^{-2\pi j f k N}; \quad (2.1)$$

де $Z(f)$ – коефіцієнт Фур'є на частоті f [15];

N – загальна кількість зразків;

k – поточна вибірка.

$z(k)$ дорівнює $x(k) + jy(k)$, де x і y – амплітуда та фаза сигналу.

Зворотнє таке перетворення можливе за допомогою рівняння 2.2.

$$z(k) = \frac{1}{N} \sum_{f=0}^{N-1} Z(f) e^{2\pi j f k N}. \quad (2.2)$$

Також можна розглядати комплексні значення як реальні значення, якщо фаза невідома або дорівнює нулю. У цьому випадку реального значення сигналу лише $N/2$ коефіцієнти не є незалежними. Це пояснюється тим, що $Z(N-f)$ та $Z(f)$ однакові, якщо враховувати лише реальну частину. На практиці це означає, що для отримання N коефіцієнтів Фур'є потрібні зразки $2N$.

На рисунку 2.9 зображено дійсний сигнал, перетворений у частотну область.

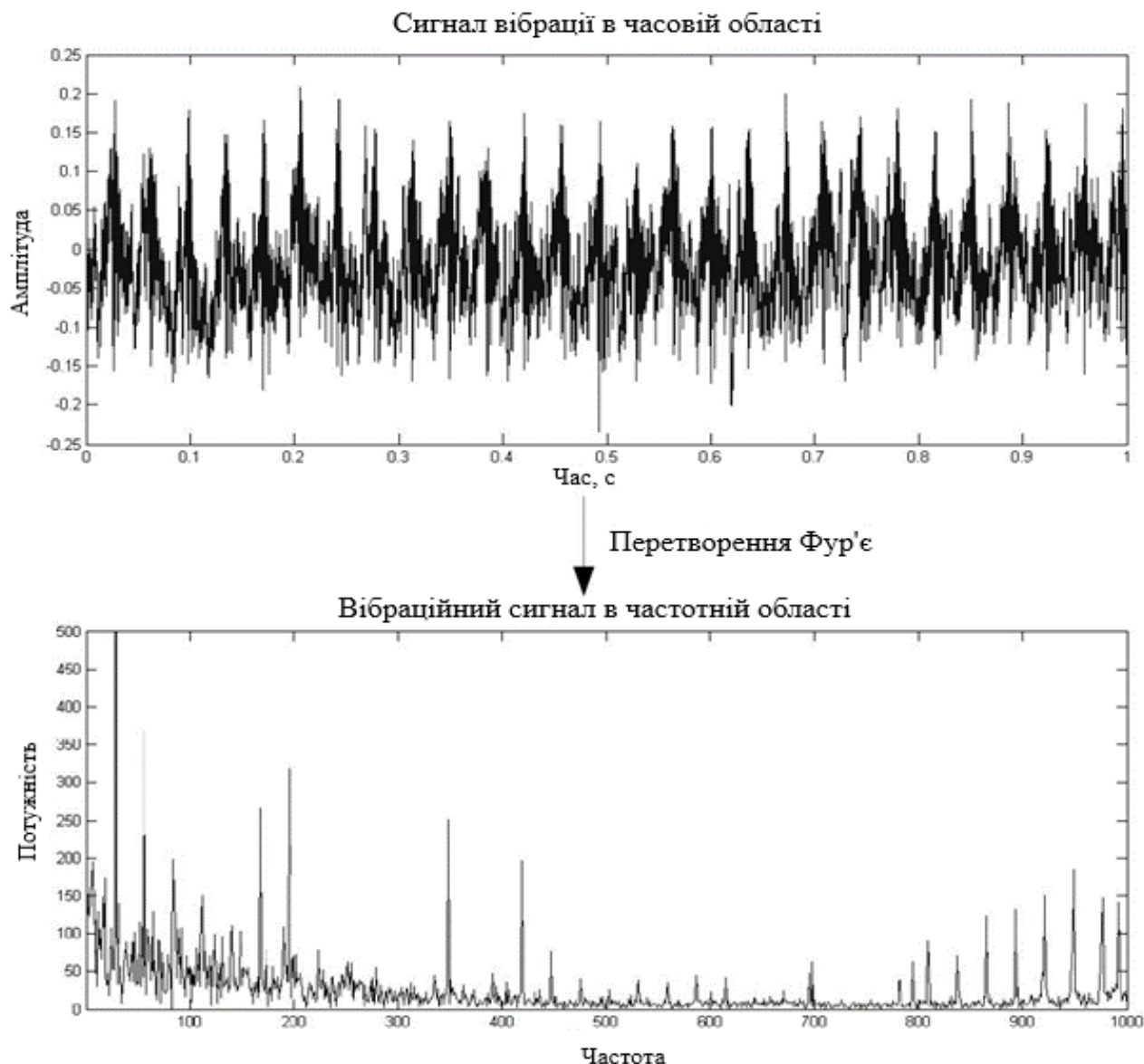


Рисунок 2.9 – Перехід сигналу від часової до частотної області

Алгоритм обчислення дискретного перетворення Фур'є на комп'ютері називається швидким перетворенням Фур'є (ШПФ). ШПФ вимагає, щоб завжди N відповідав двом[30].

Фільтрування – це процес, який змінює форму сигналу [30]. Часто фільтрування змінює сигнал у частотній області. Звичайними типами фільтрування є низькочастотні, високочастотні або смугові фільтри. Фільтри низьких частот зберігають низькочастотні компоненти сигналу та блокують високочастотні компоненти. Фільтр високих частот блокує низькі частоти і зберігає високі частоти. Смуговий фільтр блокує всі частоти, крім заданої [30]. Одним із способів

застосування фільтра є перетворення сигналу часової області в частотну область, застосування фільтра та перетворення сигналу назад у часову область.

Смугові фільтри можна використовувати для вилучення частотних компонентів із сигналу в новий сигнал. Якщо до сигналу для виділення різних частот застосовується кілька смугових фільтрів, тоді фільтр називається банком фільтрів. Окремі смугові фільтри можуть мати однаковий розмір, або розмір може змінюватися (рис. 2.10 та 2.11) [31].

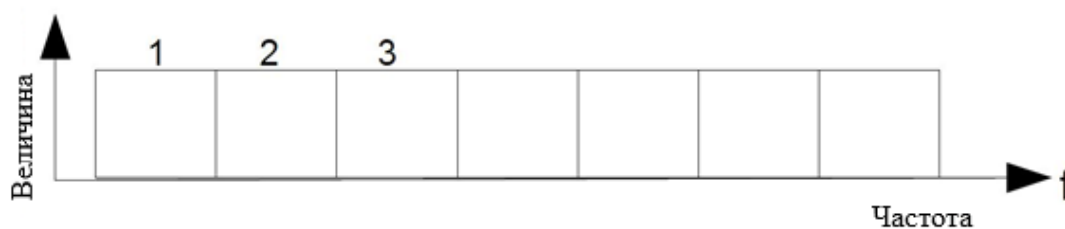


Рисунок 2.10 – Рівномірний банк фільтрів

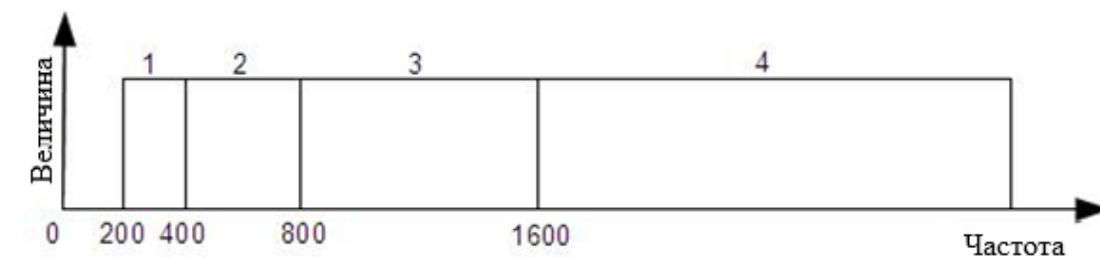


Рисунок 2.11 – Нерівномірний банк фільтрів

Рисунок 2.10 зображує банк фільтрів із смуговими фільтрами однакового розміру, а рисунок 2.11 – банк фільтрів із смуговими фільтрами різного розміру.

2.3 Аналіз та розпізнавання серій тенденцій

Динамічний ряд – це хронологічна послідовність спостережень за певною змінною [32]. Це означає, що часовий ряд представлено як певну кількість пар даних / часу, які впорядковані хронологічно. Аналіз часових рядів проводиться для виявлення історичних зразків, які можуть бути використані для прогнозування [32]. Прогнозування визначається так: прогнози майбутніх подій та умов називаються прогнозами, а акт складання такого прогнозу – прогнозуванням [32]. Метою прогнозування є зменшення ризику прийняття рішень [33].

На рисунку 2.12 показано приклади часових рядів, що можуть бути використанні для прогнозування.

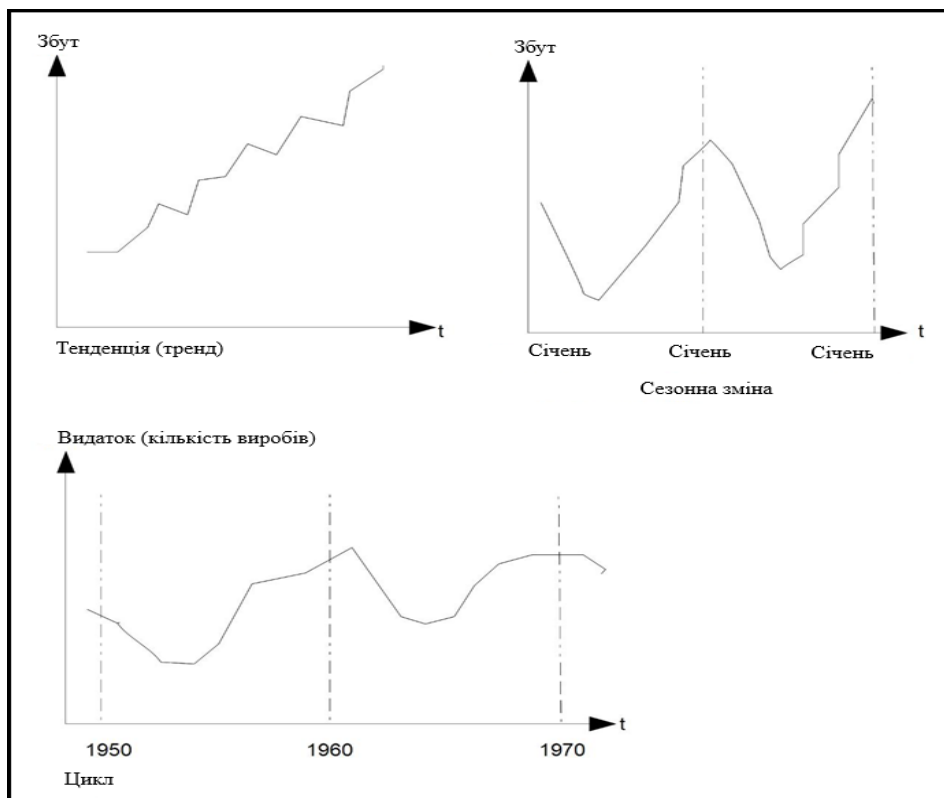


Рисунок 2.12 – Приклади часових рядів (серій)

Аналіз та прогнозування часових рядів застосовуються у багатьох різних сферах: від економічного прогнозування та управління логістикою до стратегічного управління [32 - 34]. Часовий ряд визначається [32, 33]:

- тенденцією – рухом вгору чи вниз часового ряду протягом певного періоду часу;
- циклом, адже відноситься до повторюваних рухів вгору та вниз навколо рівнів тренду;
- сезонним змінами – періодичними змінами, які завершуються протягом календарного року;
- нерегулярними коливаннями – рухи, які не є періодичним.

Часові ряди можна розділити на дві категорії: безперервні та дискретні. Безперервний часовий ряд записується постійно, тоді як дискретний часовий ряд записується через задані інтервали (щогодинно, щоденно, тощо) [34]. На

прогнозування часових рядів може впливати багато факторів, таких як доступність даних, вартість аналізу або вподобання управління [33].

Прогнозування визначається [33]:

- періодом прогнозування, тобто основною одиницею часу, на яку складаються прогнози;
- зробленим або напрацьованим (години, дні, тижні, тощо);
- горизонтом прогнозування, тобто кількістю періодів у майбутньому, охоплених прогнозом;
- інтервалами прогнозування – тобто частотою, з якою складаються прогнози.

Часто інтервал прогнозування збігається з періодом прогнозування. Це означає, що прогнозування переглядається після кожного періоду [33]. Можна скласти два типи прогнозів: очікуване значення в майбутньому та інтервал прогнозування [32, 33]. Інтервалом передбачення є інтервал, який має заявлений шанс утримувати майбутнє значення. Зазвичай доступні дві стратегії прогнозування: якісні та кількісні методи [32, 33]. Якісні методи залучають експерта, тоді як кількісні методи аналізують історичні спостереження для прогнозування майбутнього. Підставою для прогнозування є розробка моделі історичних даних. Модель може базуватися на одному часовому ряді (універсальна модель) або може включати багаторівневі конкретні змінні (причинно-наслідкова модель) [32 - 34].

На рисунку 2.13 показана простий зразок моделі часового ряду.

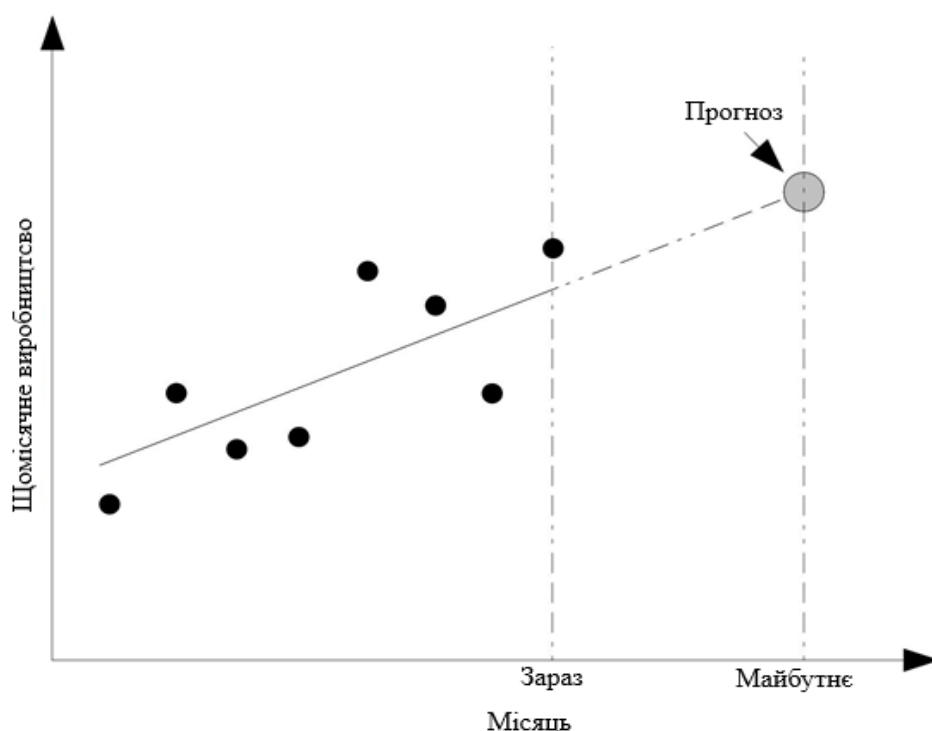


Рисунок 2.13 – Лінійна модель часового ряду

Для кількісного прогнозування доступні різні методи [32 - 34]:

- проста лінійна регресія;
- множинна регресія;
- модель ковзного середнього;
- експоненціальне згладжування;
- Бокс-Дженкінса.

Прості методи лінійної регресії та множинної регресії можуть бути використані для розрахунку тенденції в часовому ряді [32].

2.3.1 Проста лінійна регресія

Найпростішим методом регресії є проста лінійна регресія. Метою простої лінійної регресії є моделювання часових рядів однією прямою лінією (рис. 2.13) [32, 33]. Модель дійсно має два параметри: нахил та перетин. Модель може бути записана як:

$$y = b_0 + b_1x + \epsilon. \quad (2.3)$$

Звичайним методом оцінки двох параметрів b_0 і b_1 є використання найменших квадратів [32, 33]. Найменші квадрати намагаються знайти параметри, для яких сума помилок квадратів найменша, що означає суму квадратичної помилки між прямою та точкою y_i . Суму помилки можна записати як:

$$l(b_0, b_1) = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2. \quad (2.4)$$

Повне рівняння для обчислення b_0 і b_1 [32, 33]:

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad (2.5)$$

при
$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x};$$

де
$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

Встановлена проста модель лінійної регресії:

$$\hat{y} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 z. \quad (2.6)$$

2.3.2 Множинна регресія

Множинна регресія подібна до простої лінійної регресії, але регресія залежить від більш ніж однієї змінної (рівняння 2.7) [32, 33].

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + \epsilon. \quad (2.7)$$

Змінні x_1, \dots, x_n можуть бути різними функціями часу, як $x_1 = x_2$ [33]. Ті ж змінні також можуть бути іншими часовими рядами, такими як температура та продажі, які можуть впливати на часові ряди. Рівняння 2.8 слугує прикладом:

$$y = b_0 + b_1 w(t) + b_2 s(t). \quad (2.8)$$

де $w(t)$ – це така функція в часі, як вага людини в часі, а $s(t)$ – також така функція в часі, як зарплата. Також можуть бути використані поліноміальні моделі 2-го чи вищого порядку [32].

На рисунку 2.14 показано деякі функції 2-го порядку.

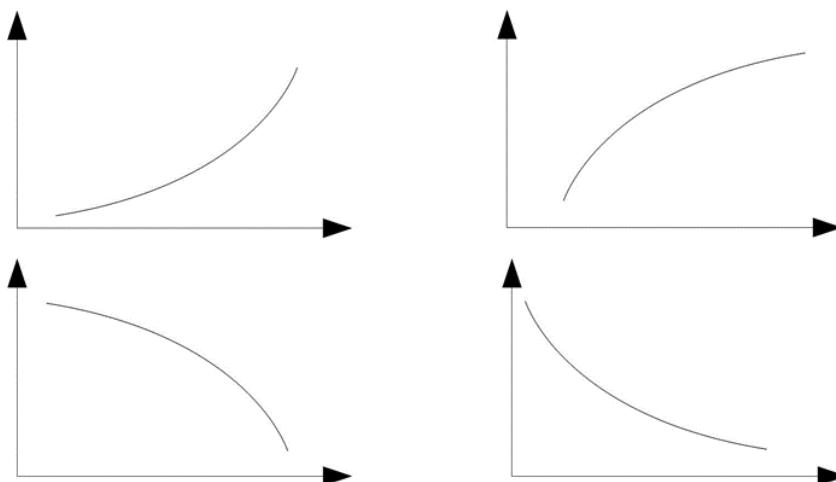


Рисунок 2.14 – Поліномінальні моделі другого порядку ($y = b_0 + b_1x + b_2x^2$).

Загальне представлення моделі поліномів p -го порядку є:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \dots + b_px^p + \epsilon. \quad (2.9)$$

Множинна регресія також використовує метод найменших квадратів для обчислення параметрів b_0, \dots, b_n . Проблема найменших квадратів часто описується в матричній формі, як у рівнянні 2.11 [33]:

$$\hat{y} = \mathbb{Z}\hat{b}; \quad (2.10)$$

$$\begin{pmatrix} 13 \\ 20 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 12 & 4 \\ 19 & 34 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \end{pmatrix}. \quad (2.11)$$

Нормальні рівняння можуть бути використані для простого вирішення задачі найменших квадратів (рівняння 2.12) [33]:

$$\hat{b} = (\mathbb{Z}'\mathbb{Z})^{-1}\mathbb{Z}'y. \quad (2.12)$$

Нормальні рівняння – не найстійкіший метод вирішення проблеми. Розділення QR-факторів вирішує проблему більш стабільно та краще [35].

2.3.3 Модель рухомого (ковзного) посереднього

Модель рухомого (ковзного) посереднього можна розглядати як більш просту форму простої моделі лінійної регресії. Оцінюється не повний часовий ряд, а лише N балів часового ряду [33]. Таку модель можна розглядати як спосіб

зменшення шуму в часовому ряді. У найбільш простому випадку це y_i середнє (середнє арифметичне) останніх значень N [33]. Модель ковзного середнього також можна використовувати для прогнозування тенденції, використовуючи таке рівняння. Рівняння для моделі рухомого (ковзного) посереднього:

$$M_\tau = \frac{y_\tau + y_{\tau-1} + y_{\tau-2} + \dots + y_{\tau-N+1}}{N}; \quad (2.13)$$

Рівняння обчислює прогноз τ періодів на майбутнє.

$$\hat{y}_{T+\tau}(T) = 2M_T - M_T^{[2]} + \tau \left(\frac{2}{N-1} \right) (M_T - M_T^{[2]}), \quad (2.14)$$

де $M_T^{[2]}$ – статистика другого порядку (ковзне середнє ковзаючих середніх):

$$M_T^{[2]} = \frac{M_T + M_{T-1} + \dots + M_{T-N+1}}{N}. \quad (2.15)$$

2.3.4 Експоненціальне згладжування

Експоненціальне згладжування – це метод згладжування, подібний до моделі ковзного середнього. Різниця полягає в тому, що точки даних зважуються неоднаково. Точка останніх даних зважується більше, ніж попередня [32, 33]. Рівняння для простого експоненціального згладжування має вигляд:

$$S_T = \alpha x_T + (1 - \alpha)S_{T-1}, \quad (2.16)$$

де S_T є середньозваженим середнім показником усіх минулих спостережень. Для визначення експоненційного згладжування, яке є ковзним середнім значенням α періоду n , встановлено значення [33]:

$$\alpha = \frac{2}{N+1}. \quad (2.17)$$

Початкове значення S_0 можна отримати, взявши середнє значення певної кількості минулих точок даних або вибравши його [32, 33]. Прогноз для періоду часу $T+1 - S_T$ [33]. Низьке значення α змушує прогноз більше зважувати останнє значення і швидше реагувати на зміни, а також на шум. Низькі значення α дозволяють прогнозу реагувати повільніше.

2.3.5 Модель Бокса-Дженкінса

Методологія Бокса-Дженкінса була розроблена Боксом та Дженкінсом у 1976 році. Методологія складається з чотири-крокової ітераційної процедури [32]:

1. Орієнтовна ідентифікація: історичні дані використовуються для попереднього пошуку відповідної моделі Бокса-Дженкінса.
2. Оцінки: історичні дані використовуються для оцінки параметрів попередньо визначеної моделі.
3. Діагностична перевірка: різні діагностичні засоби використовуються для перевірки адекватності попередньо ідентифікованої моделі та, якщо потрібно, пропонування вдосконаленої моделі, яка потім розглядається як нова ідентифікована тентовою моделлю модель.
4. Прогнозування: як тільки отримана остаточна модель, вона використовується для прогнозування майбутніх значень часових рядів.

Модель Бокса-Дженкінса – це авторегресивна модель, модель ковзних середніх, модель авторегресивного ковзаючого середнього та режим авторегресійної ковзної середньої оцінки. Авторегресивні процеси використовують зважені минулі дані для прогнозування майбутнього значення. Сигнал білого шуму (фіксована дисперсія та середнє нульове значення) із заданою дисперсією (однаковою для кожного періоду t) додається до минулих даних [19]. Процес авторегресії визначається як [33]:

$$x_t = \xi + \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + \epsilon_t, \quad (2.18)$$

де t – білий шум;

ξ – постійна;

$\varphi_1, \dots, \varphi_p$ - параметри (ваги) моделі.

Випадковий удар t описує вплив усіх інших факторів, крім x_{t-1}, \dots, x_{t-p} на x_t [32]. Авторегресивний процес порядку p називається AR (p) [18]. Авторегресивні процеси використовують той факт, що значення часових рядів корелюють [32].

До авторегресійних процесів відносяться процеси ковзного середнього. Процес ковзного середнього визначається як [33]:

$$x_t = \mu + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q}, \quad (2.19)$$

де μ – середнє значення часового ряду;

$\epsilon_t, \dots, \epsilon_{t-q}$ – випадкові поштовхи;

$\theta_1, \dots, \theta_q$ є скінченним набором ваг.

Процес ковзного середнього ряду порядку q називається МА (q). Випадкові поштовхи для процесу ковзного середнього – це також випадкові поштовхи білого шуму, тому це означає, що вони мають середній нуль, мають нормальний розподіл і визначаються дисперсією. Можна поєднати авторегресивний процес та рухомий середній процес. Комбінована модель називається авторегресивно-ковзним середнім (ARMA) і має два порядки p, q або ARMA (p, q) [33]. Моделі ARMA можуть представляти лише стаціонарні часові ряди [33]. Часовий ряд є стаціонарним, якщо статистичні властивості (наприклад, середнє та дисперсія) часових рядів є постійними через час [32].

Можна перетворити нестаціонарний процес у стаціонарний, обчисливши різницю між двома послідовними значеннями. Перші різниці значень часових рядів y_1, y_2, \dots, y_n складають [32]:

$$z_t = y_t - y_{t-1}, \quad (2.20)$$

де $t = 2, \dots, n$.

Беручи лише одну різницю, ми називаємо її першою. Якщо перші відмінності також не є стаціонарним процесом, тоді можна знову взяти відмінності та отримати іншу різницю.

На рисунку 2.15 показано другу відмінність [33].

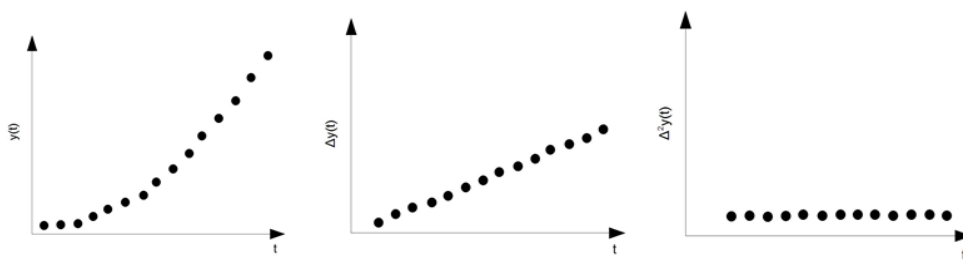


Рисунок 2.15 – Розділ часового ряду два рази

Моделі авторегресійного інтегрованого ковзного середнього (ARIMA) використовують d -у різницю для моделювання нестационарних часових рядів. Модель ARIMA має порядок (p, d, q) , де d – d -а різниця оригінальної серії [33].

2.4 Дерева рішень

Дерево рішень – це інструмент із галузі штучного інтелекту. Дерево рішень є «деревом», яке класифікує його складові елементи, сортуючи їх від кореня до якогось листового кінцевого вузла [39]. Кожен вузол у дереві задає тест на атрибут і відповідність кожної гілки від одного вузла до іншого вузла або встановлює відповідність листа результату тесту [39]. Приклад дерева рішень наведено на рисунку 2.16.

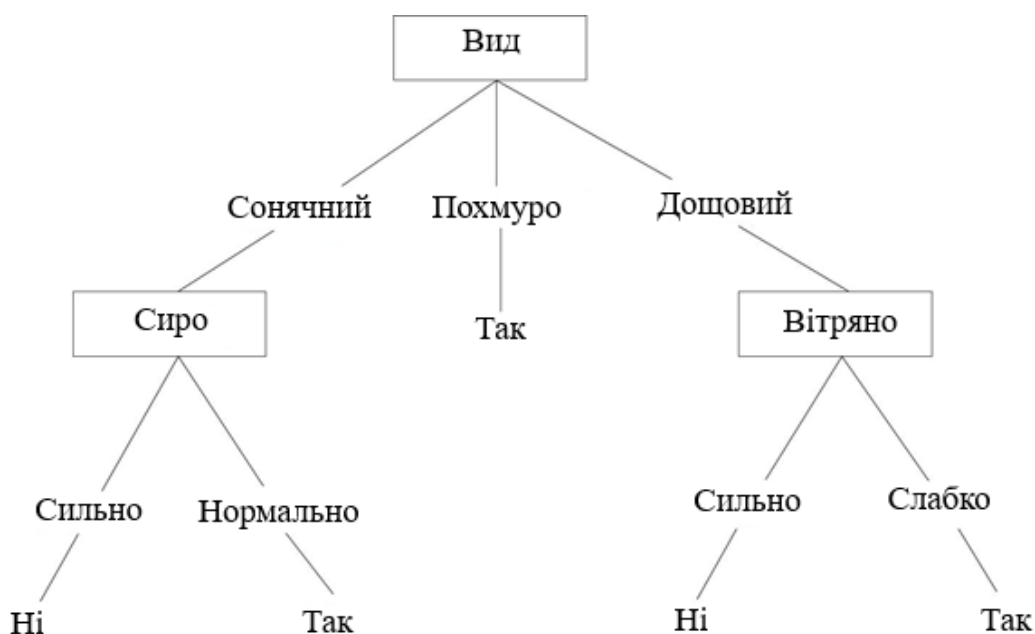


Рисунок 2.16 – Приклад дерева рішень

Дане дерево рішень класифікує погоду (підходить або ні) для гри в теніс.

Якщо дерево рішень використовується для вивчення дискретної функції (як приклад), воно виконує класифікацію. Якщо дерево використовується для вивчення безперервної функції, то воно виконує регресію [40]. Будь-яке дерево рішень може бути перетворено в логічний вираз [40]. Наприклад, вираз 2.21:

$$\begin{aligned} &(\text{вид} = \text{сонячно} \wedge \text{волого} = \text{нормально}) \\ \vee &(\text{вид} = \text{похмуро}) \\ \vee &(\text{вид} = \text{дощ} \wedge \text{вітер} = \text{слабко}) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Екземпляр для тестування складається з пар значень атрибутів. Кожен екземпляр описується фіксованим набором атрибутів (наприклад, вид) та їх значеннями (наприклад, сонячно). Навчання дереву рішень базується на ряді наданих зразків, які конкретизують проблему. Сукупність прикладів називається навчальним набором. Існують різні алгоритми для вивчення дерева рішень.

Базовий алгоритм навчання дереву рішень працює наступним чином [40]:

1. Створити новий вузол;
2. Розбити приклади на основі значень найкращого атрибута для розбиття;
3. Перевірити кожне значення атрибута:
 - якщо решта прикладів мають різну класифікацію, необхідно обрати найкращий атрибут, щоб розділити їх і створити новий дочірній вузол;
 - якщо всі інші приклади мають однакову класифікацію, тоді дерево навчається. Можна скласти остаточну класифікацію й необхідно скласти лист;
 - якщо прикладів не залишилося, це означає, що такого прикладу не спостерігалось взагалі.

У прикладах навчання є помилка, якщо два або більше прикладів мають однакові значення атрибутів, але різні класифікації. У цьому випадку можна повернути класифікацію більшості класифікацій або повідомити про ймовірність для кожної класифікації [40]. Поширеним методом вибору найкращого атрибута для розділення прикладів є ID3 (алгоритм побудови дерев рішень) та C4.5 від Quinlain [39]. Ідея ID3 полягає у виборі вузла на основі отримання інформації. Інформацію потрібно визначити для визначення інформаційного надходження та

розуміння понять. Інформаційна ентропія – це знання, що містяться у відповіді залежно від попередніх знань. Чим менше відомо, тим більше інформації надається. В теорії інформації величина ентропії інформації вимірюється в бітах. Досить одного біта інформаційної ентропії, щоб відповісти на запитання «так або ні» про те, який із них не має даних [40]. Ентропія інформації також називається інформацією і обчислюється, як показано нижче у рівнянні 2.22.

$$I(P(v_1), \dots, P(v_n)) = \sum_{i=1}^n -P(v_i) \log_2 P(v_i). \quad (2.22)$$

де $P(v_i)$ – це ймовірність відповіді v_i .

Приріст інформації від тесту атрибутів – це різниця між сумарною вимогою до ентропії інформації (обсягом інформаційної ентропії, яка була потрібна до тесту) та новою вимогою до інформаційної ентропії. p – кількість позитивних відповідей, а n – кількість негативних відповідей [40].

$$X = I\left(\frac{p}{p+n}, \frac{n}{p+n}\right) - \sum_{i=1}^v \frac{p_i + n_i}{p+n} \cdot I\left(\frac{p_i}{p_i + n_i}, \frac{n_i}{p_i + n_i}\right). \quad (2.23)$$

Ефективність дерева рішень можна перевірити на ряді тестових прикладів. Тестові приклади – це приклади з навчальних даних, які не використовувались для навчання. Ефективність дерева рішень залежить від кількості правильних класифікованих прикладів.

Типовою проблемою дерев рішень є надмірна відповідність, якщо шум міститься в даних навчання або коли кількість прикладів тренувань невелика [39]. Модель має погану продуктивність із даними тестування, якщо вона переставлена. Простий спосіб усунути надмірну обрізку – це обрізка дерева рішень. Обрізка працює шляхом запобігання рекурсивному розбиттю на атрибути, які не є чітко доречними [40]. Обрізка означає видалення піддерева з дерева рішень. Збільшення інформації може бути використано для імен, що не мають значення. Ще одним способом зменшити надмірне пристосування є перехресна перевірка. У перехресній валідації декілька дерев рішень навчаються, використовуючи різні

набори тестування. Вибирається дерево рішень з найкращими показниками. K -кратна перехресна перевірка означає, що навчається k різних дерев рішень, і кожне перевіряється за допомогою різного набору $1 / k$ прикладів [40].

Дерева рішень можна розширити для розгляду таких випадків [40]:

- відсутні дані: не всі значення атрибутів відомі для всіх прикладів;
- багатозначні атрибути: корисність атрибута може бути низькою, якщо атрибут має багато різних можливих значень (ім'я чи дані кредитної картки);
- безперервні та ціло-чисельні вхідні атрибути: числові атрибути часто мають нескінченну кількість можливих значень. Дерево рішень зазвичай вибирає точку розбиття, яка розділяє значення на групи;
- вихідні атрибути безперервного значення: дерево має в листі лінійну функцію, а не одне значення (дерево регресії).

Інший клас дерев рішень – це нечіткі дерева рішень. Нечіткі дерева рішень базуються не на чітких навчальних даних, а на нечітких навчальних даних.

2.5 Локальний пошук та оптимізація

Локальний пошук – це особлива область алгоритмів пошуку. У багатьох випадках алгоритм пошуку має пам'ять про шлях до рішення. Це означає, що алгоритм знає, які кроки він зробив. Локальні алгоритми пошуку не мають пам'яті і знають лише поточний стан. Можливо, вони двічі перевіряють учасника простору пошуку. Алгоритми локального пошуку не здійснюють систематичного пошуку [40]. Пошук на сходження на схил (жадібний місцевий пошук), модельований відпал або генетичний алгоритм є місцевими алгоритмами пошуку.

Локальні алгоритми пошуку можна використовувати не тільки для пошуку мети, а й для чисто оптимізаційних задач. Алгоритми локального пошуку працюють у ландшафті простору станів (рис. 2.17).

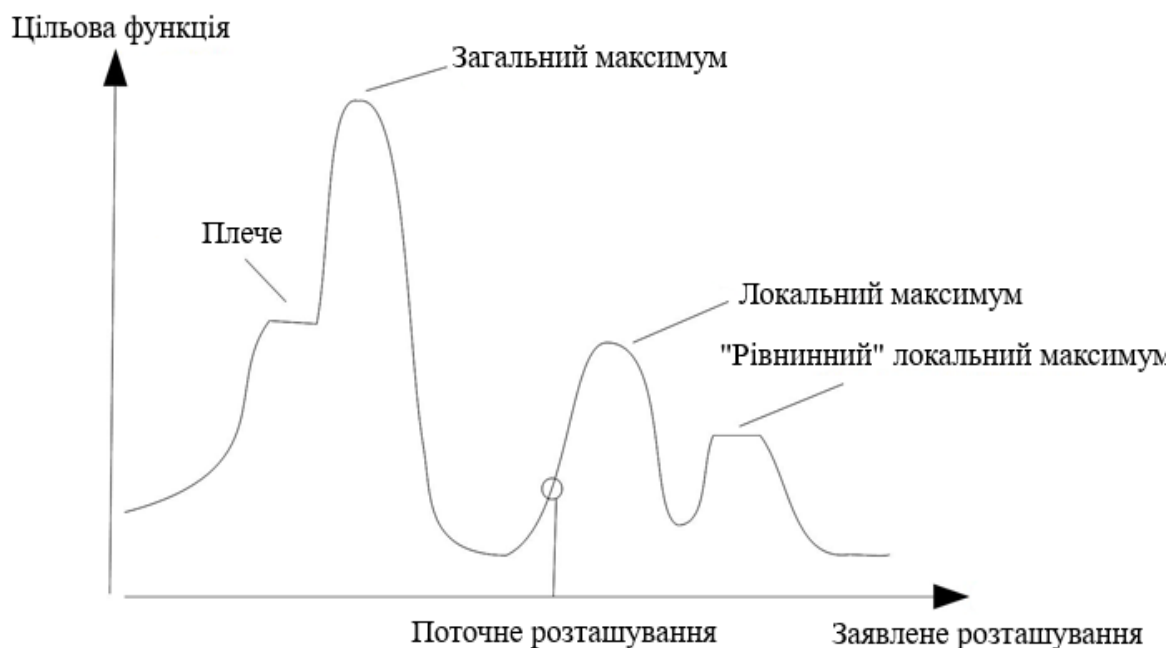


Рисунок 2.17 – Приклад на базі альпінізму

Кожне положення має відповідне місце розташування, а висота стану / розташування є значенням евристичної функції витрат.

Мета – знайти положення / місцезнаходження з найнижчим рівнем (витрати). Також можна знайти найвищий пік, якщо висота не є витратами [40].

Алгоритм сходження на схил – це проста петля, яка рухається в напрямку збільшення значення. Скелелазіння лише оцінює сусідні держави, а потім вибирає найкращі з них. З цієї причини сходження на пагорби іноді називають жадібним місцевим пошуком. Скелелазіння може швидко застрягти, оскільки воно не робить рухів вниз і залишається на плато або місцевих максимумах. Імітований відпал є алгоритмом підйому на пагорб, який може рухатись вниз, він заснований на процесі відпалу в металургії (стан металу при охолодженні фіксується). Даний алгоритм вибирає випадковий хід й акцентується при покращенні ситуації, але, якщо ні, то перехід приймається на основі значення ймовірності. Ймовірність зменшується експоненціально з переміщенням.[40].

Генетичний алгоритм не тільки зберігає в пам'яті один стан, але і більше одного. Стани в пам'яті називаються популяцією. На кожному кроці нові стани (окремі) обчислюються на основі поточної сукупності. Перша сукупність генерується випадковим чином. Нові ж прораховуються шляхом кросинговеру та мутації. У кросингу дві особи обираються серед населення залежно від їхньої придатності. Потім створюються дві нові особи, беручи частину одного з батьків та іншу частину іншого. Таким чином, нова особа створюється завдяки наявності частини обох батьків. Друга дитина побудована з невідібраних частин обох батьків. Мутація модифікує кожного індивіда на основі незалежної ймовірності.



Рисунок 2.18 – Приклад генетичного алгоритму

Діти формують нове населення [39, 40, 44]. Генетичні алгоритми використовують для адаптації функцій апроксимації від старих проблем до нових проблем і для вибору функцій для дерев рішень.

Висновки до розділу 2

Даний розділ пояснює теоретичну основу різних концепцій, які використовуються для досягнення обраної мети у дипломній роботі. А саме: дерева рішень, евристична оптимізація, аналіз сигналів, моніторинг стану та аналіз часових рядів.

Проаналізувавши інформацію, яка міститься у цьому розділі необхідно отримати розуміння складності процесу використання дерев рішень та інших концепцій у ШІ з метою проведення прогностичного ТО ЛА і ПС. Але, у той же час, як вже зазначено, розділ ґрунтовно пояснює теоретичну основу обраних концепцій і доцільність їх використання в ЦА, системі ПЛП ПС.

Приведені концепції є теоретичним фундаментом рішення проблеми інтегрування ПрТО у систему ПЛП ПС ЦА з метою систематизації та покращення не тільки загальної якості та ефективності процесів ТО ПС і ЛА, а й підвищення економічної ефективності приведених процесів. Дерева прийняття рішень та алгоритми дій, що базуються на самонавчальному ШІ зарекомендували себе у багатьох галузях життєдіяльності людини, зокрема вони є невід’ємно необхідними у авіаційній діяльності ЦА.

РОЗДІЛ 3

ПРОЦЕС МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО СУДНА АБО ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Процес моніторингу стану складається з двох підпроцесів, а саме з процесу навчання та процесу прийняття рішень. У процесі навчання створюється дерево рішень для заданої наявної проблеми. Процес прийняття рішення використовує створене дерево рішень, щоб вирішити, в якому стані зараз знаходиться система. Метою процесу моніторингу прийняття рішень є наявність адаптованого процесу, який можна використовувати для обчислення поточного стану системи, що контролюється. Це робиться за допомогою дерева рішень, що підлягає навчанню у галузі даної проблеми. На рисунку 3.1 представлена діаграма активності процесу.

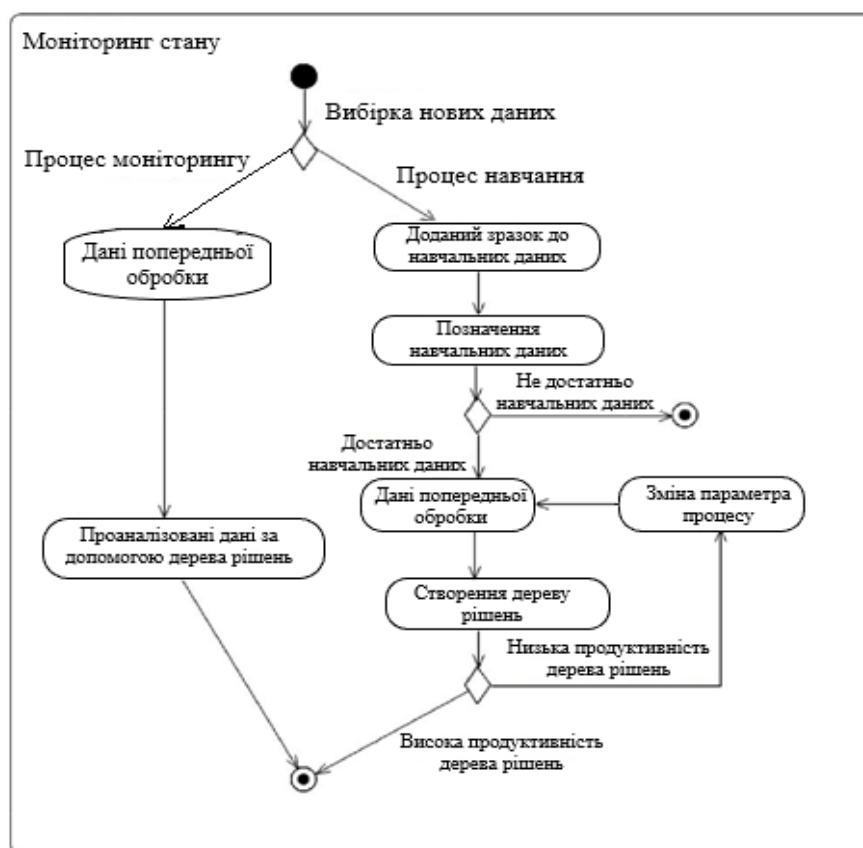


Рисунок 3.1 – Процес моніторингу стану

У лівій частині схеми показано процес прийняття рішення, а в правій – тренувальний процес. Коли доступний новий зразок даних, він перевіряється, чи це навчальний зразок (ще не створено дерево рішень), чи його слід оцінювати за

допомогою дерева рішень. Процес простий, якщо вибірку даних слід оцінити, дані попередньо обробляються на основі параметрів, а оброблені дані потім обробляються за допомогою дерева рішень. Вихід – це умова системи. Якщо нові дані є навчальними даними, то вони маркуються / класифікуються та додаються до зразкової бази даних. Дерево рішень навчається, коли доступна достатня кількість навчальних зразків. Зразки поділяються на навчальні та випробувальні. Навчальні та тестові зразки попередньо обробляються на основі початкових вибраних параметрів. Дерево прийняття рішення обчислюється за допомогою будь-якого алгоритму дерева рішень, наприклад ID3 або C4.5 та навчальних зразків.

Дерево рішень перевіряється набором тестових зразків. Якщо ефективність дерева рішень нижче заданої межі, тоді параметри попередньої обробки змінюються на основі евристичного алгоритму оптимізації. Нове дерево рішень обчислюється на основі модифікованих параметрів. Нове рішення знову перевіряється та порівнюється з обмеженнями. Цей процес оптимізації повторюється до тих пір, поки не буде розраховано задану кількість дерев рішень або поки дерево рішень не має кращих показників, ніж заданий ліміт. Дерево рішень та параметри попередньої обробки даних зберігаються.

Оцінка нового зразка даних – просте завдання. Спочатку дані обробляються залежно від параметрів попередньої обробки з навчального процесу. Після попередньої обробки вибірки даних вона вводиться в дерево рішень. Оцінку можна здійснити двома способами: звичайною індукцією дерева рішень або нечіткою оцінкою дерева рішень [19]. Для поліпшення продуктивності та зменшення чутливості до шуму можна розрахувати та використати кілька дерев рішень з різними параметрами попередньої обробки. Якщо використовується декілька дерев рішень, то приймається умова, що більшість дерев рішень вибрано.

3.1 Вимоги до даних

Для використання запропонованої концепції необхідно виконати кілька вимог. Необхідна стабільна система зі стабільною «поведінкою» для використання констант

Прогнозування. Це означає, що система не повинна часто змінювати свій стан. Причиною цього обмеження є те, що умова не повинна змінюватися під час відбору проб. Якщо під час запису стан змінюється, класифікатор не може правильно класифікувати поточний стан. Безперервні значення датчиків моніторинг стану не розроблялися з урахуванням стриманих значень та подій. Система потребує значень, які змінюються з часом. Більшість фізичних систем відповідають цим критеріям, якщо їх функціонування не ініціюється вкрай непередбачуваним зовнішнім джерелом. Наприклад прискорення автомобіля – це безперервний часовий ряд, тоді як запуск автомобіля чи закриття дверей – ні.

За даними датчика високої частоти, система найкраще працює, якщо вхід датчика часто змінюється під час відбору проб (наприклад, звук, вібрація, споживання енергії, тощо). Більшість етапів попередньої обробки даних розробляються для роботи з входом сигналу більше 1 Гц. Але також можна працювати з повільно мінливими значеннями, такими як температура, навіть якщо з таких даних можна отримати менше інформації.

Концепція періодичної вибірки даних спирається на вибірки даних, які збираються протягом заданих інтервалів, а не в дискретні чи випадкові моменти. Ця вимога є меншою для необхідного моніторингу стану, але вона потрібна для прогнозування тенденції, щоб мати змогу скласти прогноз. Інформація про час не зберігається у записаних даних.

Моніторинг стану вибірки дискретних даних та робота з передбачення стану з фіксованою довжиною вибір означає, що неможливо записати безперервні вибірки даних без модифікації алгоритму та розбити безперервну вибірку даних на декілька секунд.

Справжнього моніторингу у реальному часі насправді немає. Розрахунок стану потребує певного часу. Розрахунок однієї умови може зайняти до десяти секунд, залежно від кількості використовуваних дерев рішень та кількості датчиків. Якщо використовується лише одне дерево і потрібно розрахувати лише кілька ШПФ, тоді можна мати час обчислення менше однієї секунди. Це було звичайним випадком під час експериментів. Якщо час обчислення менше однієї секунди, то можна обчислити умову під час запису нової вибірки даних.

Для зразків навчання та класифікації існує декілька умов, а саме потрібні зразки даних більше, ніж однієї умови. З цією концепцією неможливо мати однокласний класифікатор. Однокласний класифікатор – це класифікатор, який виявляє неправильні стани та умови лише на основі даних звичайної операції. Для моніторингу стану завжди потрібні принаймні дані двох різних режимів роботи або умов. Можна змінити концепцію, щоб знайти неправильні умови, але для цього потрібні значні зміни.

3.2 Навчальний процес

Пояснений у цьому розділі навчальний процес обчислює одне оптимізоване дерево рішень та набір оптимальних параметрів попередньої обробки. Процес (крім вибірки даних та маркування) повинен виконуватися декілька разів, якщо потрібно розрахувати більше одного дерева рішень.

3.2.1 Зразки даних

Концепція моніторингу стану використовує модель, засновану на статистичних даних, для класифікації нових даних. Тому для початку "справжнього" навчального процесу потрібно багато зразків даних, а саме декілька зразків для кожного різного класу системи. Кількість необхідних даних для навчання складно визначити та передбачити, адже це залежить від складності системи [18]. Отримання достатньої кількості корисних даних є складним процесом, а для нових систем збір даних можливий під час тестування, прототипування та роботи системи. Збір даних для старих систем можливий, якщо

доступно декілька систем і паралельний запис даних. Дані системи можуть надходити з різних джерел. Ці джерела можуть бути від внутрішніх датчиків та, або зовнішніх датчиків. В подальших експериментах використовували зовнішні датчики. Сигнали датчика реєструвались по одній секунді щохвилини. Залежно від динаміки системи можливі різні інтервали часу. Якщо система швидко змінюється, потрібна вища частота вибірки. Якщо система має повільну динаміку, тоді може бути використана нижча частота дискретизації.

Запропонована концепція може працювати з будь-якими вхідними даними; однак передбачається, що вибірка даних є дискретним сигналом з більш ніж однією точкою даних. Тривалості вибірки в одну секунду достатньо для того, щоб більшість систем отримувала інформацію, більш тривалі періоди вибірки дозволяють розраховувати частоти менше 1 Гц. Для більшості випадків використання достатньо отримати один зразок даних кожні десять хвилин під час операції або круїзного режиму польоту. Рекомендована частота дискретизації датчика вище 100 Гц. Якщо використовується нижча частота, тоді попередня обробка повинна бути адаптована до цієї частоти. Наприклад рисунок 3.2.

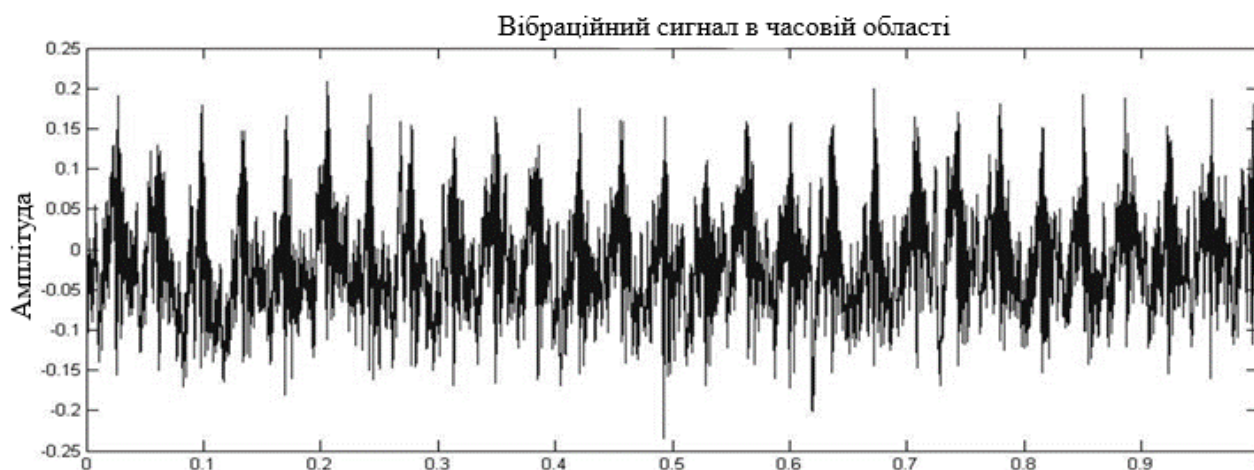


Рисунок 3.2 – Приклад зразку даних

Джерело сигналу не має значення (дані про звук, вібрацію, температуру, енергоспоживання, вагу, тощо), якщо це одновимірне джерело часових рядів.

Якщо використовується більше одного джерела даних або зразок даних має більше одного виміру, тоді алгоритм попередньої обробки також повинен бути адаптований або дані повинні бути перетворені. Найпростіший спосіб - це зробити

один крок попередньої обробки для кожного виміру даних, а потім об'єднати попередньо оброблені дані, перш ніж передавати їх на розпізнавання шаблону. Кожен використаний зразок даних повинен класифікувати / позначити керівник.

3.2.2 Маркування даних

Важливою частиною навчального процесу є класифікація кожної вибірки даних. Алгоритму навчання потрібні всі навчальні зразки, щоб мати ряд особливостей та класифікацію. Класифікація зразків даних повинна описувати стан системи, на яку поширюється вибірка даних. Деякі можливі класифікації зразків даних датчиків можуть бути:

Кожна система має час життя, після якого її потрібно замінити. Час життя можна виміряти в годинах роботи. Якщо час життя слід використовувати як умову, часто корисно використовувати пройдений час життя або час, що залишився в системі. Тривалість життя повинна бути представлена у відсотках або у блоках, щоб запобігти занадто великій кількості різних класів. Більше занять уповільнює навчання і робить систему більш чутливою до шуму (перестановка) [46].

Системний режим, який характеризує вірність роботи системи (вона працює нормально або мала місце несправність). Ця класифікація корисна для виявлення збоїв у системі.

Хороша класифікація може суттєво вплинути на результати моніторингу стану. Великі або дуже специфічні класи можуть спричинити надмірне припасування та зробити систему чутливою до шуму.

3.2.3 Попередня обробка

Аналіз сигналів і машинне навчання використовуються для виявлення стану системи. Для вивчення та класифікації необхідно підготувати зразки даних [17]. Процес залежить від різних параметрів. Кожен із цих параметрів потрібно адаптувати до даних. У цій концепції вибір оптимальних параметрів здійснюється за допомогою генетичного алгоритму (розділ 2.5). Ці параметри включають:

- перетворення сигналу з часової області в частотну;
- зменшення шуму;
- групування частот;
- розрахунок максимальної й середньої потужності частоти кожної групи частот;
- розрахунок кількості піків усіх груп;
- перетворення частотних груп назад у часову область;
- розрахунок максимальної та середньої амплітуд;
- розрахунок максимального та середнього значень повного сигналу.

Шум і обсяг даних зменшуються, а додаткова інформація додається під час попередньої обробки даних. Спочатку дані перетворюються в частотну область, де шум зменшується. Потім частоти групуються. Можливо, що частотні діапазони груп перекривають одна одну. Наприклад, якщо частоти від одного до п'ятдесяти належать до однієї групи і мають перекриття п'ятдесяти відсотків, то друга група містить частоти від двадцяти шести до сімдесяти, а третя група містить частоти від п'ятдесяти одного до ста. Середні й максимальні потужності та кількості піків обчислюються для кожної частоти групи окремо. Потім кожна група перетворюється назад у часову область, де обчислюються середня та максимальна амплітуди. Середній та максимальний рівень потужності та середня та максимальна амплітуда повного сигналу обчислюється як останній крок.

Параметри попередньої обробки будуть міститися у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри попередньої обробки

Назва параметра	Діапазон значень	Системна одиниця
Ширина блоку	0–1000	Гц
Перекриття блоку	0–50	%
Пониження рівня шуму	0–5	—
Розрахувати середню амплітуду для кожного блоку	визначається	—
Розрахувати максимальну амплітуду для кожного блоку	визначається	—
Розрахувати величину середньої частоти кожного блоку	визначається	—
Розрахувати величину максимальної частоти кожного блоку	визначається	—
Розрахувати кількість піків для кожного блоку	визначається	—
Мінімальне значення величини піку	0–5	—
Розрахувати загальне середнє та максимальне значення	визначається	—

Приведені параметри винесені до таблиці для кращого нагального розуміння. А на рисунку 3.3 показані етапи попередньої обробки з подальшим поясненням.



Рисунок 3.3 – Попередня обробка сигналу

Кожна група частот окремо трансформується назад у часову область. За допомогою цього перетворення можна проаналізувати окремі групи або частоти у часовій області без усіх інших частот сигналу.

Результатом роботи алгоритму є середнє та максимальнє значення частотних груп у часовій та частотній областях, кїлькїсть піків та середні та максимальні значення повного сигналу у часовій та частотній областях (набагато менше даних, ніж у чистого сигналу). Загальна кїлькїсть значень залежить від ширини частотних груп (блоків).

Зразки даних зазвичай можна розділити на двї категорії даних: данї з високою частотою та данї з низькою частотою. Низькочастотні данї визначаються як данї з частотою дискретизації менше 1 кГц. Високочастотні данї є будь-якими даними з вищою за 1 кГц частотою дискретизації. Низькочастотні данї не оброблятимуться, крім того, щоб перевести данї у правильний формат даних для алгоритму. Занадто мало даних для аналізу частоти та стиснення.

Данї високої частоти оброблятимуться з наступними етапами: спочатку вони перетворюються в частотну область, а потім до них застосовується придушення шуму, після чого їх частоти розподіляються на невеликі блоки і, нарешті, кожна група блоків покращується з додатковою інформацією. Основою алгоритму ШПФ є дискретне перетворення Фур'є (розділ 2.2). Швидке перетворення Фур'є виконується в Операції $O(N \log N)$. Здійснено повне перетворення з частотою дискретизації. Після швидкого перетворення Фур'є частоти поділяються на блоки. Групу частот називають "блоком". Можливо, що групи частот перекривають одна одну, тобто група частот становить від одного до ста, а перекриття становить п'ятдесят відсотків, то наступні групи частот становлять від п'ятдесяти одного до ста п'ятдесяти, а наступна група частот – від ста одного до двохсот. Якщо перекриття становить нуль відсотків, то перший блок від одного до ста, другий від ста одного до двохсот і третій від двохсот одного до трьохсот. Перекриття контролюється параметром перекриття блоку. Кількість частот, згрупованих в один блок, визначається шириною блоку. Якщо доступні частоти менше ширини, то всі частоти розглядаються як один блок. Після розділення всі блоки перетворюються назад у часову область, щоб отримати інформацію про поведінку блокового сигналу протягом часу.

На рисунку 3.4 показано, як сигнал у частотній області розділяється на блоки і як вони трансформуються назад.

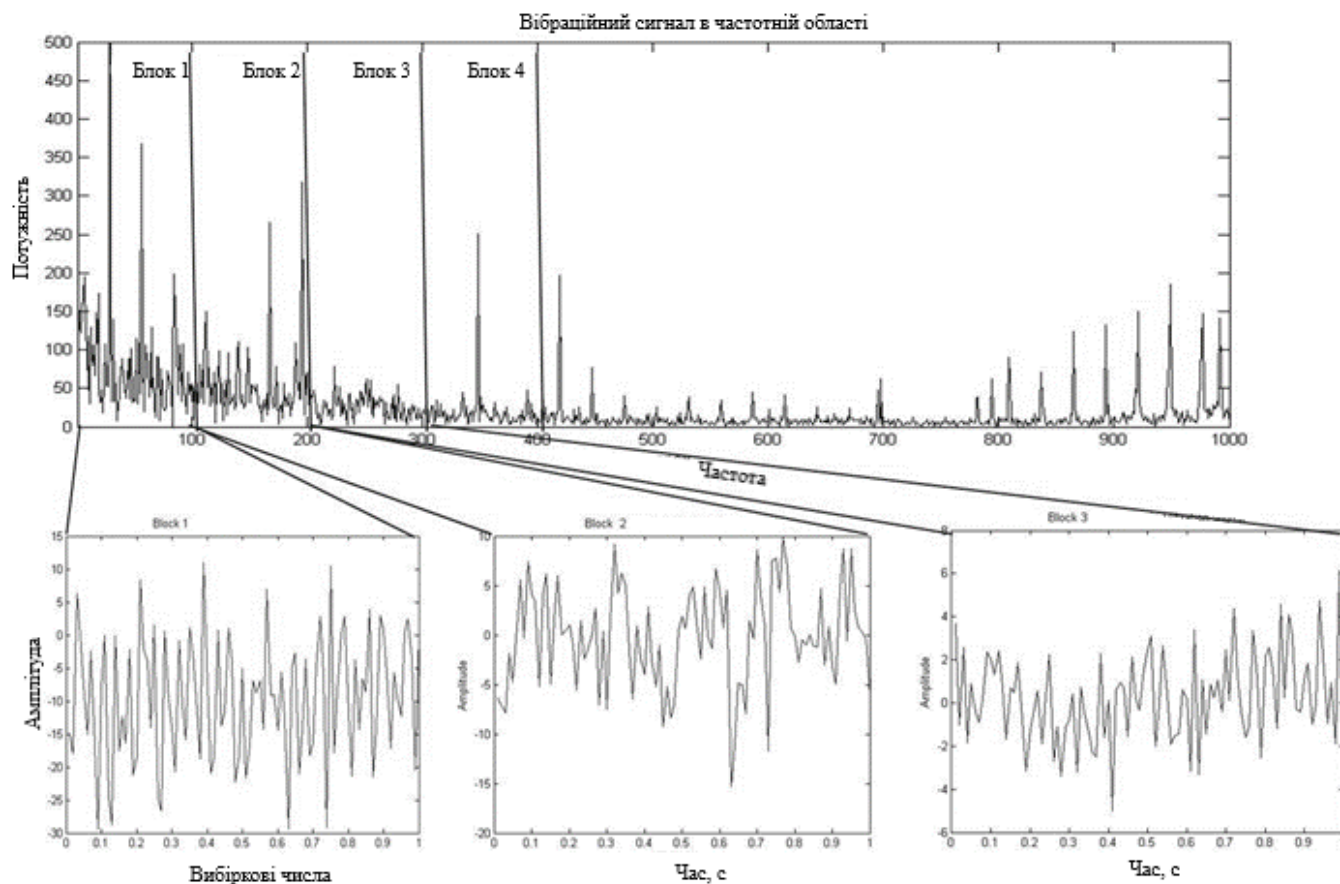


Рисунок 3.3 – Блоки та обернене перетворення Фур'є

Зменшення рівня шуму застосовується до сигналу для видалення випадкових даних із зразків для поліпшення виявлення особливостей непорушного сигналу. Розраховується максимальна частотна потужність, а потім кожен частотний сигнал, що знаходиться нижче заданої частки максимальної частотної потужності, зменшується до нуля, щоб видалити шум із зразка. Точна частка максимальної потужності частоти для зменшення шуму є параметром експериментів (коефіцієнт зменшення шуму).

Додаткова інформація та стиснення даних – кожен блок вибірових даних покращується додатковою інформацією. Ця інформація додається, щоб надати наступному алгоритму більше інформації про сигнал у часі та частотній області.

Додана інформація, яка відноситься до часової області містить: максимальну амплітуду кожного блоку, середню амплітуду кожного блоку, максимальну амплітуду повного сигналу, середню амплітуду повного сигналу. А до частотної області відносяться: середня потужність частоти кожного блоку, максимальна частотна потужність кожного блоку, частота з найбільшою потужністю кожного блоку, кількість піків, які перевищують задану величину середньої потужності частоти, середня частота потужності повного сигналу, максимальна потужність частоти повного сигналу.

Додаткова інформація також розраховується для повної вибірки сигналу. Проведені експерименти показали, що додана інформація є більш корисною для алгоритму, ніж вихідні дані. Це дозволяє стиснути дані. Наприклад, інформація ста частот зводиться до чотирьох атрибутів (максимальна та середня потужність, частота з максимальною потужністю та кількість піків). Майже такий самий результат досягається у часовій області. Замість обчислення амплітуди для кожної частоти у часовій області для ста частот обчислюються лише два атрибути (максимальна та середня амплітуди). Це показано у наступних рівняннях 3.1 – 3.5.

$$\text{Інформація про частоту (частотна)} = 4 \cdot \frac{\text{Частотність}}{\text{Ширина блоку}}; \quad (3.1)$$

$$\text{Інформація про час (часова)} = 2 \cdot \frac{\text{Частотність}}{\text{Ширина блоку}}; \quad (3.2)$$

$$\text{Загальна інформація} = \text{Частотна} + \text{Часова} = 6 \cdot \frac{\text{Частотність}}{\text{Ширина блоку}}; \quad (3.3)$$

$$\text{Нормальна інформація} = 2 \cdot \text{частотність}; \quad (3.4)$$

$$\text{Компресія} = \frac{\text{Загальна інформація}}{\text{Нормальна інформація}} = \frac{3}{\text{Ширина блоку}}. \quad (3.5)$$

Шукані дані зменшуються до трьох відсотків, якщо ширина блоку дорівнює ста і частота F дорівнює одинадцяти тисячам.

3.2.4 Розрахунок дерева рішень

Зразки даних датчика перетворюються на навчальні зразки на етапі попередньої обробки. Усі навчальні зразки тепер мають ряд особливостей і клас. Розрахунок дерева рішень використовує будь-який з доступних алгоритмів (ID3, C4.5, CART, тощо). Після обчислення дерева рішень його необхідно перевірити та оцінити. Якщо продуктивність дерева рішень нижче межі в залежності від необхідної точності, можливо, що можна спробувати поліпшити продуктивність, змінивши параметри попередньої обробки.

3.2.5 Оптимізація дерева рішень

Ефективність дерева рішень можна поліпшити, змінивши процес попередньої обробки [17]. Опцію обробки можна ввімкнути або вимкнути та змінити її параметри. Можливо або неможливо розрахувати оптимальний набір параметрів залежно від кількості варіантів та їх можливої комбінації. Якщо обчислення одного дерева рішень займає багато часу і якщо простір рішення великий, тоді неможливо перевірити можливу комбінацію. Натомість необхідний евристичний підхід до оптимізації. «Жадібний» пошук, модельований відпал та генетичний алгоритм – найпоширеніші евристичні методи оптимізації. Деякі методи можуть бути кориснішими за інші, залежно від наявної проблеми. Генетичний алгоритм має перевагу у тому, що його можна виконувати паралельно, що зменшує загальний час обчислення. Дерево рішень обчислюється з кожним новим згенерованим набором параметрів попередньої обробки.

Оптимізація триває до тих пір, поки не буде розраховано задану кількість дерев рішень або поки дерево рішень не матиме кращих показників, ніж граничні [18].

3.3 Процес моніторингу

Процес моніторингу класифікує нові зразки даних датчиків. Для цього завдання нові зразки даних датчиків попередньо обробляються з тим самим набором параметрів, який був використаний для обчислення дерева рішень. Згодом дерево рішень оцінює зразок даних і класифікує його. Результатом такого процесу є класифікація, яка є умовою системи, на якій розглядається зразок даних датчика.

Висновки до розділу 3

Цей розділ показав процес моніторингу стану системи. Даний процес не потребує специфічних знань про систему й певні її датчики для збору зразків даних. Указаний процес може адаптуватися до різної системи за допомогою обробки сигналів та евристичної оптимізації. Коли розраховано дерево рішень, воно може бути використано для класифікації нових зразків даних датчиків.

Даний розділ дозволяє наочно побачити приклад використання обробки блоків даних з масиву даних для їх подальшої обробки й оцінки з метою створення прогностичного комплексу.

РОЗДІЛ 4

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНОГО СУДНА, ВІДМОВ ТА НЕСПРАВНОСТЕЙ, МЕТОДИКА ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГНОСТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Процес прогнозування стану визначає найкращий метод прогнозування для поточного часового ряду, а потім передбачає певну кількість майбутніх точок даних. Процес поділяється на два підпроцеси. Один процес для проблемного навчання, а другий підпроцес для прогнозування (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Процес прогнозування стану

Загальний процес дуже схожий на процес моніторингу стану. Навчання також використовує цикл оптимізації, але окремі етапи процесу різні. У процесі навчання всі навчальні зразки класифікуються за процесом, а не за оператором-людиною. Людина визначає лише максимальну кількість минулих точок даних і те, як далеко в майбутньому процес повинен передбачати часовий ряд. Процес передбачення містить цикл, який обчислює декілька передбачень.

4.1 Навчальний процес

Навчальний процес має п'ять основних етапів: вибірка даних, класифікація даних, попередня обробка даних, розрахунок дерева рішень та тестування передбачень.

4.1.1 Зразки даних

Генерація зразків даних часових рядів контролюється обмеженнями прогнозування. Зразки даних часових рядів можуть створюватися статичним та динамічним способом. Основний процес генерації вибірки даних часових рядів показаний на рисунку 4.2.

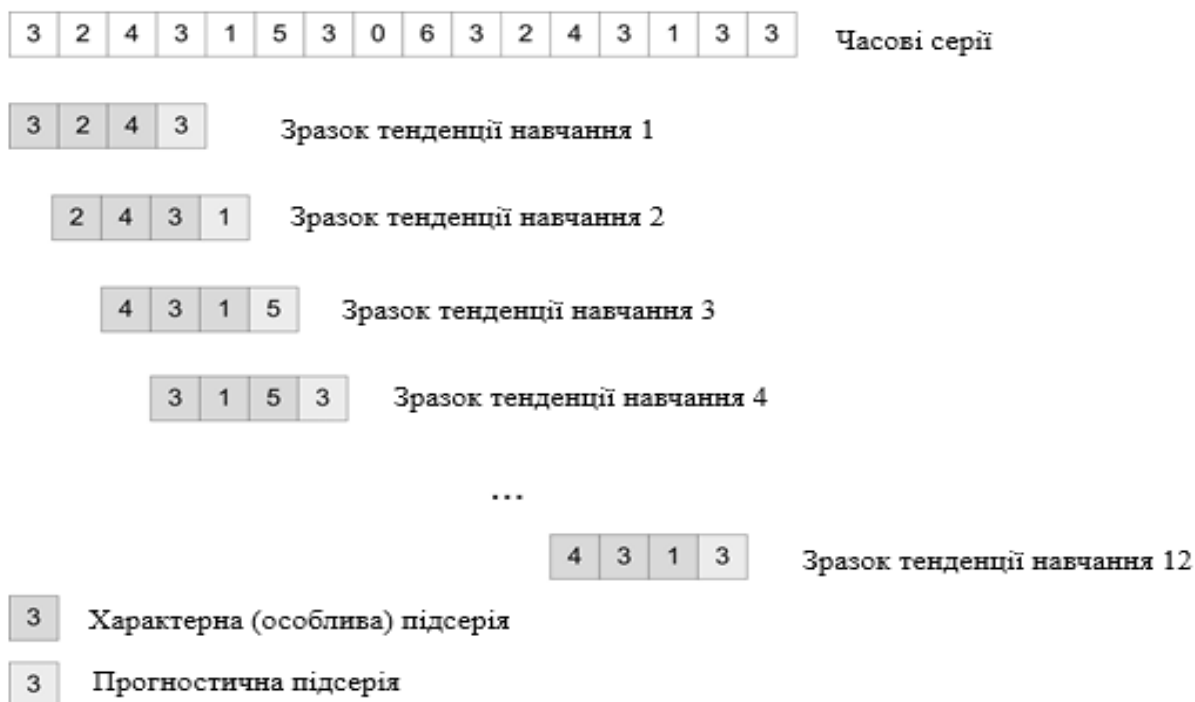


Рисунок 4.2 – Генерація вибірки часових рядів

Кілька зразків даних часових рядів генеруються з одного або декількох часових рядів. Вибірка даних часового ряду генерується шляхом переміщення вікна за тимчасовим рядом. Усі точки даних у вікні утворюють вибірку даних часового ряду. Вікно зміщується на одну або кілька точок даних після відбору проби. Кількість точок даних, у які зміщується вікно, залежить від кількості необхідних зразків навчальних даних.

Статичний розмір вікна:

$$w = d_p + d_f \quad (4.1)$$

де w – розмір вікна,

d_p – кількість минулих точок даних,

d_f – горизонт прогнозування.

Можна створити та змішати зразки даних часових рядів з різних часових рядів для навчання, якщо є кілька часових рядів з однієї задачі.

Також, можливе динамічне вікно. У цьому випадку вікно збільшується з кожним кроком. Розмір вікна починається лише з кількох точок даних, але зростає з кожним кроком. Зазвичай це трапляється, коли навчальні дані повинні представляти часові ряди у міру зростання та включати всі попередні точки даних. Динамічне вікно можна використовувати лише в тому випадку, якщо можливі функції не включають жодних функцій, які залежать від кількості точок даних.

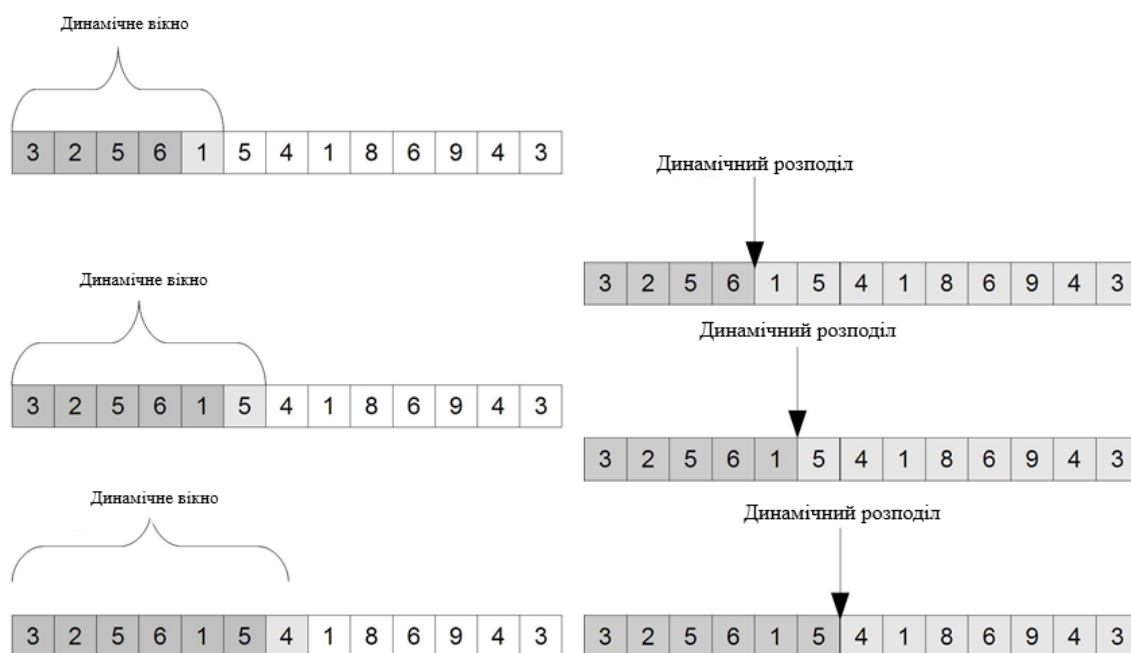


Рисунок 4.3 – Динамічні вікна та динамічне розділення часових рядів

Статичне вікно може містити повний часовий ряд, при цьому розділення між попередніми та майбутніми даними для навчальних даних змінено для створення зразків. А на етапі класифікації даних потрібні минулі дані та майбутні точки даних вибірки для навчання. Для попередньої обробки даних потрібні лише минулі точки даних.

4.1.2 Класифікація даних

Класифікація даних використовується для розрахунку найкращого методу прогнозування для поточної вибірки часових рядів. Розрахунок проводиться шляхом тестування й пошуку одного з доступних методів апроксимації, який має найменшу середньоквадратичну помилку апроксимації для апроксимованих майбутніх точок даних. Обмеження полягає в тому, що апроксимація або екстраполяція може бути розрахована лише для минулих точок даних навчальної вибірки і не може використовувати точки даних, які позначені як майбутні точки даних. Причиною цього обмеження є те, що згодом у дереві рішень також будуть доступні лише ті точки даних, адже наближення / екстраполяція обчислюється лише для обмеженої вибірки часових рядів (лише минулих точок даних), але середньоквадратична помилка для майбутніх точок даних повинна бути низькою. Для прогнозування точок даних можна використовувати наступні методи:

- лінійна регресія;
- множинна регресія;
- ковзне середнє;
- експоненціальне згладжування;
- авторегресивна інтегрована ковзна середня (ARIMA).

4.1.3 Обробка даних

Попередня обробка даних перетворює вибірку даних часового ряду у вибірку навчальних даних шляхом обчислення особливостей часових рядів. Розраховуються різні ознаки для кожної вибірки. Ці ознаки плюс класифікація, яка була розрахована на попередньому кроці, формують вибірку навчальних даних. Які функції обчислюються та як вони розраховуються, залежить від параметрів попередньої обробки. Цей крок процесу подібний до попередньої обробки в процесі моніторингу стану. Можливі такі функції:

- максимальне значення;
- середнє значення;
- мінімальне значення;
- градієнт.

Процес керується за такими змінними параметрами:

- максимальна кількість минулих точок даних;
- використання максимального, середнього та мінімального значень;
- використання градієнта;
- використання інших часових рядів, якщо такі є.

Можна використовувати інші функції та параметри, яких немає в списку, якщо їх можна застосувати до часових рядів. Попередня обробка застосовується лише до точок даних, які позначені як попередні точки даних. Точки даних ті самі, що використовувались для розрахунку класифікації.

4.1.4 Розрахунок дерева рішень

Дерево рішень можна розрахувати після обчислення навчальних даних. Розрахунок дерева рішень можна виконати за допомогою будь-якого доступного алгоритму створення дерева рішень. Результатом є дерево, що вирішує, який метод використовувати для прогнозування точок даних.

Тестування дерева рішень для прогнозування є більш складним, ніж для моніторингу стану. Стандартні методи використовувати не можна, оскільки прогнозування часових рядів є метою, а не прийняттям рішення. Дерево рішень перевіряється шляхом обчислення прогнозу для оригінальних часових рядів, які були використані для створення зразків даних часових рядів. Для цього кроку процес прогнозування виконується кілька разів. Прогноз розраховується для кожної можливої початкової точки оригінального часового ряду. Для кожного окремого передбачення розраховуються наступні значення:

- максимальна квадратична похибка прогнозування;
- середня квадратична похибка прогнозування;
- мінімальна квадратична похибка прогнозування;
- діапазон довіри для максимальної помилки прогнозування 10 відсотків;
- діапазон довіри для максимальної похибки прогнозу 5 відсотків;
- діапазон довіри для максимальної помилки прогнозування один відсоток.

Діапазон довіри – це діапазон прогнозування, де максимальна помилка передбачення нижче визначеної межі. Діапазон довіри вимірюється як частка горизонту прогнозування, яку слід було передбачити. Наприклад горизонт прогнозування 10 балів даних із навченого горизонту прогнозування 100 балів буде діапазоном достовірності 0,1.

Вимірювання загальної ефективності:

$$p_{\text{пр}} = 6 - \frac{w_0}{1 + \text{пох}_{\text{max}}} + \frac{w_1}{1 + \text{пох}_{\text{сер}}} + \frac{w_2}{1 + \text{пох}_{\text{min}}} + w_3 d_{10} + w_4 d_5 + w_5 d_1 \quad (4.2)$$

де w_0, \dots, w_5 – вагові коефіцієнти від 0 до 1;

$\text{пох}_{\text{max}}, \text{пох}_{\text{min}}$ та $\text{пох}_{\text{сер}}$ – це обчислені помилки прогнозування;

d_{10}, d_5 та d_1 – діапазони довіри;

$p_{\text{пр}}$ – значення ефективності прогнозування. Менше значення вказує на кращу ефективність прогнозування.

4.1.5 Оптимізація

Якщо ефективність прогнозування нижча за граничну, запускається цикл оптимізації. Цикл оптимізації працює так само, як цикл оптимізації для процесу моніторингу стану. Евристична оптимізація використовується для модифікації параметрів класифікації даних та попередньої обробки даних. Параметр для максимальних точок минулих даних не може бути збільшений після максимального обмеження минулих точок даних. Кількість передбачуваних точок даних у майбутньому не може бути змінена.

4.2 Процес прогнозування

Прогнозування часових рядів – це ітераційний процес, заснований на трьох етапах. Перший – це заданий часовий ряд, попередньо оброблений для вилучення особливостей часового ряду. На другому етапі проводиться оцінка дерева рішень для вибору найкращого методу прогнозування для даного часового ряду. На наступному кроці обчислюється одна або кілька точок даних (на основі

параметрів). Прогнозовані точки даних додаються до часових рядів. Два етапи повторюються з новим часовим рядом, що містить нові передбачувані точки даних.

4.2.1 Обробка даних

Першим кроком є попередня обробка даних та обчислення особливостей часових рядів, які слід передбачити. Попередня обробка даних залежить і від вікна навчальних даних. Якщо було використано статичне вікно та статичне розділення даних, то для попередньої обробки слід використовувати ту саму кількість попередніх точок даних, яка була використана в навчанні. Якщо використовувалося динамічне вікно або динамічне розділення даних, тоді це також слід враховувати, вибираючи, які попередні точки даних використовуватимуться. Для попередньої обробки даних використовуються ті самі параметри, що були використані для навчання остаточного дерева рішень.

4.2.2 Розрахунок методу прогнозування

Найкращий метод прогнозування можна вибрати за допомогою дерева рішень, коли обчислюються характеристики. Дерево рішень оцінюється за допомогою правил оцінки дерева рішень за замовчуванням.

4.2.3 Прогнозування точки (даних)

Точки даних прогнозуються за допомогою обраного методу прогнозування та вибірки даних часових рядів. Метод прогнозування може бути використаний для прогнозування однієї або декількох нових точок даних. Зазвичай передбачається кількість майбутніх точок даних, яка така ж, як і під час навчання. Щойно передбачені точки даних додаються до вибірки даних часових рядів. Якщо горизонт прогнозування ще не досягнутий, процес виконується знову, використовуючи нові точки даних як минулі точки даних.

Процес прогнозування стану є більш складним, ніж комплекс моніторингу стану. Але, якщо параметри встановлені, тоді процес працює автоматично і створює метод прогнозування поточної проблеми. Можливість прогнозування

оптимізована для певного горизонту прогнозування. Можна розрахувати різні дерева рішень та параметри попередньої обробки, щоб мати короткострокове прогнозування та довгострокове прогнозування. Обидва методи надають різну інформацію користувачеві.

4.3 Прогнозування невдач

Прогнозування відмов – це процес прогнозування відмови в майбутньому на основі поточних та минулих даних. Процес бере дані моніторингу стану з контрольованої системи. Дані доповнюються додатковою інформацією шляхом нечіткої оцінки дерева рішень [19], а потім використовуються для прогнозування стану для прогнозування збоїв у майбутньому. Прогнозування відмов можна розглядати як зразок застосування моніторингу стану та процесу прогнозування стану. Нечітка оцінка дерева рішень – це зв'язок між двома процесами, тому це буде пояснено в наступному підрозділі, а після відбудеться і сам опис процесу.

4.3.1 Нечітка оцінка дерева рішень

Нечітка оцінка дерева рішень приймає звичайне дерево рішень, обчислює всі можливі шляхи та схожість вхідних даних до кожного класу, де правильний клас має подібність 1 або 100 відсотків. Оцінка всіх шляхів здійснюється шляхом присвоєння кожному рішенню ваги на основі логічного рішення. "Істинному" рішенню присвоюється вага одиниці, а "помилковому" – набуває значення нижче одиниці і вище нуля. Значення "помилкового" рішення обчислюється із відстані даних до "істинної" межі (розбиття рішення). Залежно від проблеми можуть застосовуватися різні методи для розрахунку відстані. Значення для кожного шляху обчислюється взяттям суми ваг шляху, а потім поділяється сума на глибину шляху (беручи середнє значення значень шляху). Це призводить до значення кожного шару. Можливо, щоб один клас мав декілька шарів (найбільше значення всіх шарів для одного класу використовується як результат для класу). Перевага: алгоритм створення дерева рішень не повинен бути змінений, і його можна застосувати до будь-якого дерева рішень замість оцінки дерева рішень за замовчуванням.

4.3.2 Постановка цілей

Мета прогнозування невдачі – передбачити невдачу. Процес прогнозування бере часовий ряд і передбачає майбутнє часового ряду. Нечітка оцінка дерева рішень повертає кілька результатів для кожної вибірки даних. Якщо вибірка даних надходить у хронологічному порядку з однаковим часом між кожною вибіркою, то ми отримуємо кілька часових рядів, по одному для кожного можливого класу. Процес прогнозування може передбачати лише один часовий ряд за раз. Користувач передбачення відмови повинен вирішити, який клас він хоче передбачити. Недоліком оцінки нечіткого дерева рішень є те, що клас поточної вибірки завжди має результат сто відсотків. Це означає, що неможливо використовувати прогнозування стану для стану без відмов, якщо є лише одне, оскільки тоді часовий ряд матиме кілька значень ста відсотків поспіль, що робить прогнозування при його реалізації неможливим. Алгоритм не "знає", на якій позиції в часі він знаходиться. Це означає, що слід контролювати клас, який не є класом без відмов. Якщо існує лише один клас відмов, тоді цей клас вибирається для передбачення, інакше для кожного класу відмов потрібно зробити одне передбачення. Кожен провісник повинен проходити індивідуальну підготовку, що значно збільшує час навчання.

4.3.3 Навчальний процес

Навчальний процес для частини моніторингу стану процесу прогнозування відмов такий же, як і для передбачення умов за замовчуванням. На рисунку 4.4 показано навчальний процес прогнозування відмов.



Рисунок 4.4 – Прогнозування відмов навчального процесу

Наступним кроком є використання дерева контролю стану тренувань для створення часових рядів для процесу прогнозування. Для цього є зразки, упорядковані за часом, і обробляються нечіткою оцінкою дерева рішень за допомогою навченого

дерева. Це призводить до множинних паралельних часових рядів. Зараз вибирається один або кілька часових рядів на основі обраної установки цілі.

4.3.4 Процес прогнозування

Процес прогнозування для прогнозування відмов подібний до процесу моніторингу стану та прогнозування стану. Спочатку оцінюється поточний стан системи на основі вибірки даних. Далі застосовується нечітка оцінка дерева рішень, і вихід є вхідними даними для прогнозування стану разом із минулими даними. Тут можна виконувати багаторазові прогнози для різних цільових умов, якщо це потрібно або потрібно. На зображенні нижче показано, як виглядає процес прогнозування.

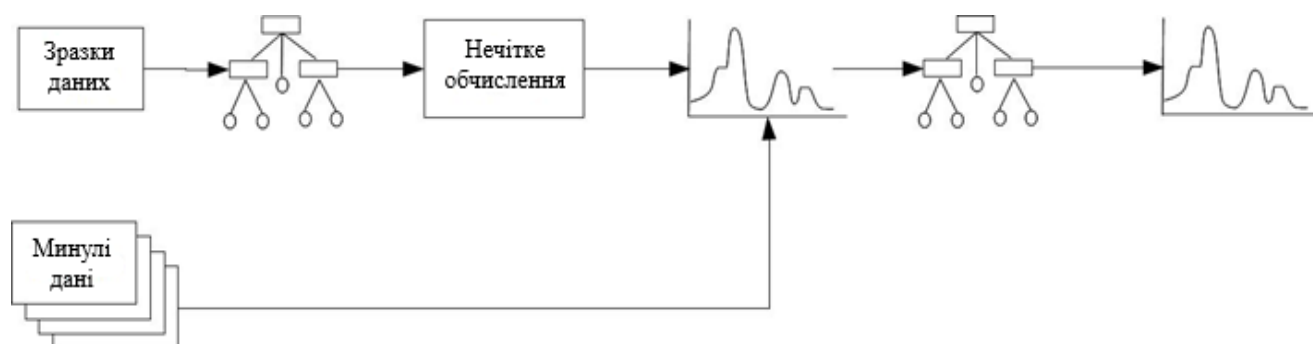


Рисунок 4.5 – Процес прогнозування відмов

Для прогнозування потрібно зберігати в пам'яті часовий ряд для кожної цільової умови.

Слід зазначити, що комбінований метод може бути використаний для повного прогнозування відмови. Зв'язком між цими двома методами є нечітка оцінка дерева рішень, яка дозволяє трансформувати дискретні результати прийняття рішень у безперервні дані. Процес передбачення бере дані додає їх до даних у базі даних і передбачає часовий ряд для одного або декількох різних станів цільової системи.

4.4 Експерименти

З метою доказу ефективності використання дерев рішень та прогностичного методу обслуговування були проведені експерименти для оцінки концепції моніторингу стану та прогнозування. Також було проведено різні експерименти для кожного з двох процесів. Для експериментів з моніторингу стану використовували випробувальний стенд (на основі стенду Airbus Operation GmbH). Для прогнозування стану був використаний Matlab, оскільки не вдалося використати тестову установку для створення часового ряду, який би представляв реальність.

Обидва експерименти намагаються імітувати засмічення повітряних фільтрів високого тиску в кондиціонері літака. Ця система була обрана, оскільки вона не має активних частин і є повністю пасивною, тому її важко контролювати, вона була підключена до вентиляторів і повітряних потоків через фільтри.

4.4.1 Тестова установка

Випробувальний стенд компанії Airbus Operations GmbH проекту RANMIR для забезпечення тестового середовища.



Рисунок 4.6 – Випробувальний стенд компанії проекту RANMIR

Випробувальна установка вбудована в корпус літака і складається переважно з його складових частин. Мета експерименту полягає в тому, щоб відтворити середовище, яке буде найбільш близьким до реального.

Дана випробувальна установка була створена з наступних складових частин:

- вентилятор рециркуляції;
- повітряний фільтр;
- електронний блок вимірювання вібрації;
- повітропроводи.

В установці використовується електронний блок вимірювання вібрації, так званий електронний блок вимірювання вібрації (ЕБВБ), що використовується для запису даних датчика. Цей блок оснащений двома датчиками вібрації та двома мікрофонами. По два датчики прикріплено до вентилятора та до корпусу фільтра.

ЕБВБ зображено на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – Відкритий електронний блок вимірювання вібрації (ЕБВБ)

ЕБВБ – це апаратне забезпечення, розроблене в РАНМІР. Їх виготовлено десять штук для різних завдань. Метою проекту було мати блок, який може тривалий час (8 тижнів) записувати та зберігати різні дані датчика. Під час проекту ЕБВБ використовувався для запису даних з різних експериментів та на наземній випробувальній установці. Розміри корпусу блоку компактні (105 x 55 x 190 мм), а довжина кабелю датчика становить 2200 мм. ЕБВБ також використовувався на тестовому польоті Airbus Operations у Тулузі для запису даних [47, 48].

Електронний блок вимірювання вібрації складається з корпусу, SD-картки пам'яті, 8 батарейок типу АА (джерело живлення), автономного електронного табло та чотирьох датчиків (два мікрофони та два датчика прискорення).

Автономне табло та SD-карта зберігаються у корпусі. Акумуляторна батарея, що живить коробку автономного датчика, оснащена захистом від перезарядки та короткого замикання. Вона складається з восьми основних батарей Panasonic LR6AD AA, які відповідають ІЕС 60086 (стандарт якості). ЕБВБ містить два внутрішні датчики, крім зовнішніх приєднаних датчиків: датчик температури та тиску. За допомогою датчика тиску можна виявити, перебуває літак у сильному польоті чи ні. За допомогою датчика температури можна визначити температурний режим навколишнього середовища, зокрема, якщо кондиціонер встановлений на низький або високий рівень. До ЕБВБ можна приєднати до чотирьох зовнішніх датчиків. Дані датчика записуються як чотириканальний хвильовий файл. ЕБВБ записується за допомогою простого конфігураційного файлу, який зберігається на SD-карті. Параметри конфігурації:

- частота дискретизації (за замовчуванням: 48000 Гц);
- кількість тисяч зразків, які реєструються кожного разу (початково 48000);
- час без дії пристрою між 2 записами (початково 600 с);
- кількість часу, який потрібен датчикам для стабілізації при включенні становить 0,05 с;
- підсилення для кожного каналу за замовчуванням становить 1.

4.4.2 Моніторинг стану

Експерименти повинні показати здатність концепції виявляти засмічення повітряних фільтрів за допомогою процесів. Експеримент з контролю стану імітує засмічення повітряного фільтра пилом. Крім того, були проведені експерименти для оцінки попередньої обробки, оптимізації та оцінки нечіткого дерева рішень.

4.4.2.1 Налаштування

Дані для експериментів були зібрані на наземній випробувальній установці. Були записані дані вібрації та звуку вентилятора та фільтра. Під час збору даних кожен фільтр був забруднений пилом (MIL-Spec (кварцовий) пил). Пил додавали по 25 грамів з 25 грам до 200 грамів на фільтр для загальної кількості восьми класів.

Класифікатор був підготовлений шляхом застосування процесу оптимізації з генетичною оптимізацією та підраховано 10 поколінь, кожне з 20 членів. Початкова сукупність – це випадковий список параметрів. Для кожного класу (ступінь забруднення) було використано 15 зразків даних. Для перевірки того, чи можна підвищити точність класифікації, експерименти проводили з одним класифікатором дерева та з класифікатором, побудованим з трьох різних дерев рішень, використовуючи рішення, яке було обрано більшістю класифікаторів.

4.4.2.2 Результати експерименту

Метою експерименту було виявити кількість пилю, який міститься у фільтрах. Для експерименту було використано повний набір даних. Для тестових даних дані навчання були упорядковані за збільшенням ваги. Класифікація повинна виявляти дев'яти ступеневу функцію. У таблиці 6.1 наведено кількість зразків за класом.

Таблиця 4.1 Кількість виявлених класів для одного та трьох дерев рішень відповідно

Пил, грами	Для 1 дерева рішень	Для 3 дерев рішень
25	15	15
50	15	15
75	15	15
100	13	13
125	13	17
150	14	14
175	16	16
200	19	15

Формування даної таблиці дозволяє продовжити оформлення результатів проведених експериментів.

Завдяки обчисленим даним, які зазначені у попередній таблиці. Побудовано графіки, які зображено на рисунку 4.8.

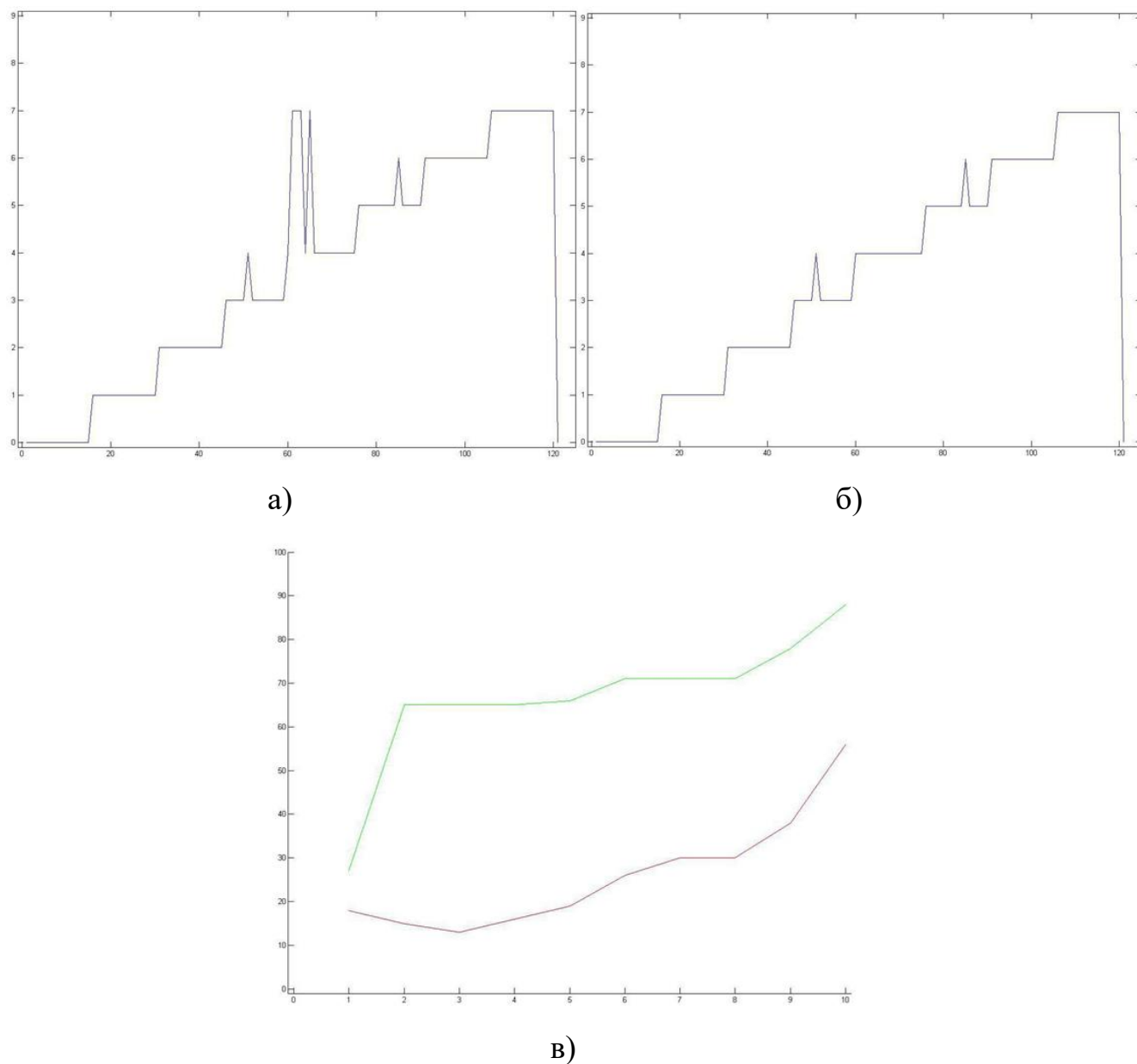


Рисунок 4.8 – Графіки, які побудовані завдяки отриманим даним

Рисунок 4.8 (а) показує, що обчислення нагадує крокову функцію, лише кілька класів класифікуються неправильно. З трьома класифікаторами (однакові дані навчання, різні параметри) кількість неправильних класифікованих класів падає ще більше, рис. 4.8 (б). На рисунку 4.8 (в) показано отримані результати оптимізації (нижня лінія – це середня придатність, а верхня – найкраща). Це чітко показує, що більше поколінь дають кращі показники. Середня та максимальна придатність всієї сукупності даних стабільно зростала.

4.5 Методика щодо впровадження прогностичного технічного обслуговування повітряних суден на базі штучного інтелекту для експлуатанта цивільної авіації з урахуванням проведених досліджень та експериментів

У першому розділі цієї дипломної роботи розглядаються основні фактори, які є безпосередніми причинами актуальної необхідності впровадження та використання ПрТО ПС та ЛА для експлуатантів ЦА. Необхідно зазначити, що до цих факторів належать:

- забезпечення та підвищення рівня БП;
- підвищення економічної ефективності шляхом оптимізації процесів ТО та ТЕ ПС;
- організація системи ТО ПС в умовах вірусологічної загрози з урахуванням компенсації при простої парку ПС.

У другому, третьому та четвертому розділах цієї дипломної роботи розглядається не тільки теоретичне, а й практичне обґрунтування актуальності й необхідності застосування ПрТО у системі ПЛП ПС експлуатантів ЦА із використанням самонавчальних моніторингів стану елементів та систем ПС, які базуються на програмних рішеннях, що втілені у розгалужених деревах рішень й автоматичних алгоритмів пошуку несправностей або відхилень від заданих нормованих показань датчиків конкретних систем ПС, тощо. Шляхом використання наявних інформаційних та статистичних джерел, які використовувались у дипломній роботі можливо не тільки зробити висновок доцільності впровадження методів ПрТО, а й скласти методику для експлуатантів ЦА щодо впровадження ПрТО ПС на базі ШІ.

Для того, щоб скласти методику для впровадження ПрТО ПС на базі ШІ доцільно створити дерево прийняття рішень (рис. 4.9), яке обумовить або спростує необхідність цього впровадження для певного конкретного експлуатанту ЦА з урахуванням усіх актуальних факторів, які впливають на існуючу систему ПЛП.

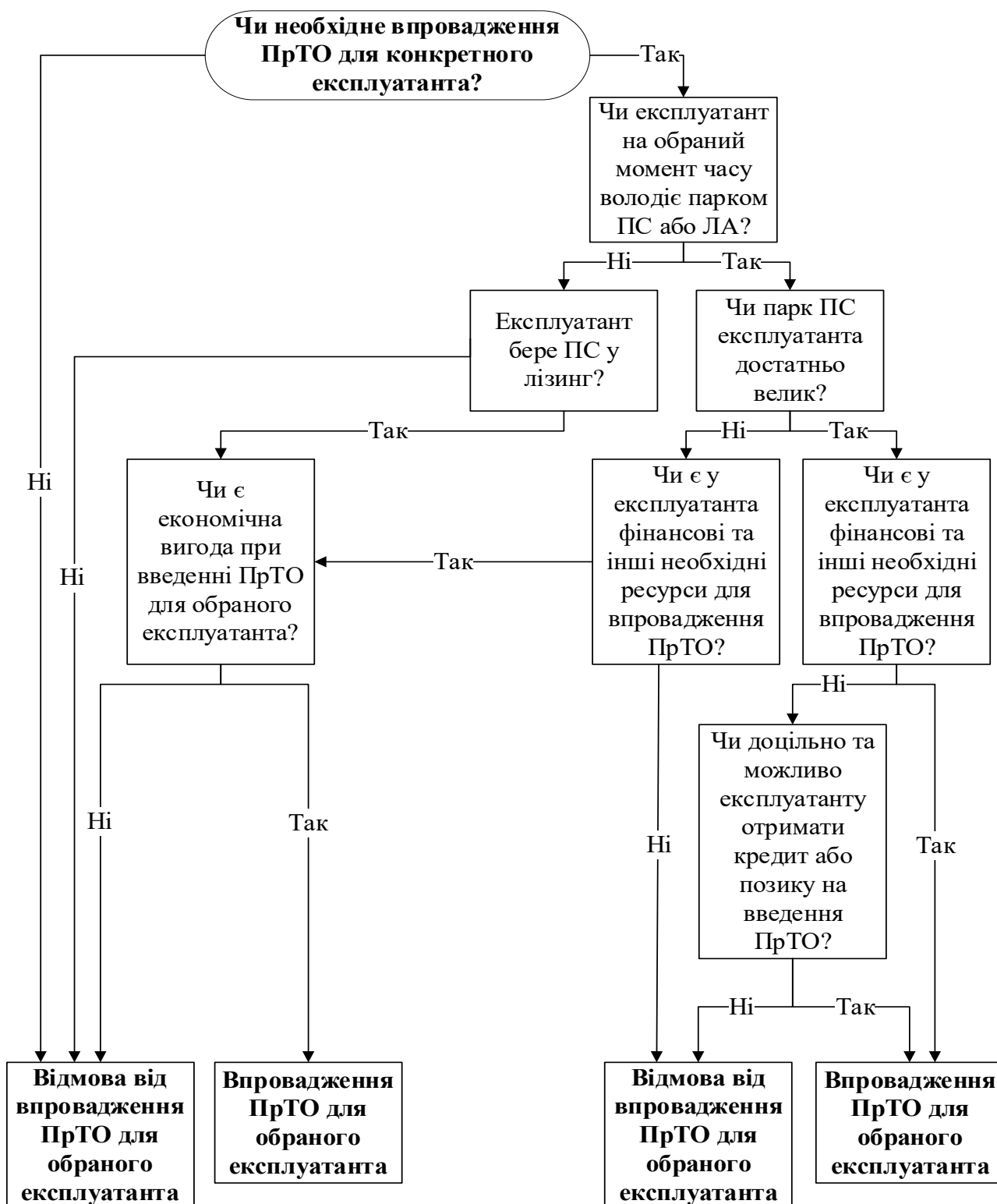


Рисунок 4.9 – Дерево прийняття рішень, на якому базується методика щодо впровадження прогностичного технічного обслуговування

Таким чином, після розробки та оформлення відповідного дерева прийняття рішень можливо приступити до формування методики для впровадження ПрТО ПС на базі ШІ для певного експлуатанта.

Методика для впровадження ПрТО ПС на базі штучного інтелекту для певного експлуатанта:

1. Необхідно ознайомитися з інформацією про переваги методу ПрТО та способів його інтегрування за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення із використанням ІІ у систему ПЛП експлуатанта.

2. Необхідно розрахувати економічну спроможність конкретного обраного експлуатанта з метою виявлення або спростування доцільності використання ПрТО та процесів моніторингу стану систем ПС з метою прогнозування.

3. Необхідно мати або придбати (при появі необхідності та можливостей розробити) пакет програмного (MATLAB Simulink, Modelica, AIGym тощо) та електронного (ПК, планшети комп'ютери, смартфони, тощо) забезпечення для задоволення потреб моніторингу стану ПС та їх систем з подальшою метою його прогнозування.

4. Необхідно найняти кваліфікований персонал, який має відповідні сертифікати, що підтверджують їх компетентність при роботі з відповідним програмним забезпеченням та надати персоналу з ТО можливість навчання та проходження спеціалізованих курсів із опанування електронних засобів, які необхідно додатково використовувати при ПрТО (при умові, якщо це необхідно).

5. При впровадженні ПрТО ПС на базі ІІ необхідно адаптувати систему ТО і ПЛП ПС, з урахуванням його переваг, для найкращої організації та оптимізації експлуатаційної діяльності.

Необхідно розуміти, що ПрТО є дуже ефективним методом у порівнянні зі своїми аналогами, адже значно оптимізує процеси систем ТО та ПЛП експлуатанта й краще підвищує рівень БП. Але, треба розуміти, що ПрТО не буде економічно вигідним для використання експлуатантами, які не мають великого парку ПС, або не мають достатньої кількості ресурсів для впровадження систем моніторингу та прогнозування стану ПС.

Висновок до розділу 4

Даний розділ показав, що можна контролювати та прогнозувати стан системи з розробленими концепціями. Розроблена концепція поєднує використання дерев рішень та генетичного алгоритму з методами аналізу сигналів та апроксимації для створення системи, яка може навчитися та адаптуватися до різних виникаючих проблем (несправності, відмови систем, непередбачувані події у польоті, тощо). Основною отриманою перевагою є те, що отримане поняття може бути легко зрозуміле людським оператором і його можна застосовувати до різних проблем процесу моніторингу. Використання дерева рішень разом з алгоритмом оптимізації під час навчання моніторингу стану системи дозволяє обробляти дані, використовуючи лише методи аналізу сигналів, які дають найбільш корисну інформацію для вирішення проблеми. Під час моніторингу стану системи дерево рішень використовує дані з обробки сигналів для класифікації даних сигналу та виявлення поточного стану системи. Переваги для прогнозування подібні. Дерево рішень та оптимізація використовуються для вибору різних методів прогнозування на основі минулого досвіду, що свідчить про отримання переваги у тому, що метод прогнозування може динамічно перемикатися під час прогнозування, щоб дати можливість процесу реагувати на події та обробляти нелінійності в спостережуваних даних.

Експерименти показали, що навчання та використання кількох класифікаторів для однієї і тієї ж задачі, а потім прийняття класу, який обрала більшість, покращує точність класифікації. Для нечіткої оцінки дерева рішень це означає, що значення подібності інших класів потрібно усереднювати за деревами, які прийняли рішення для того самого класу.

Процеси працюють переважно автономно і не вимагають великої взаємодії із людиною, обов'язком якої є збір та маркування зразків даних. Алгоритми можуть працювати самостійно після налаштування даних. Завдяки простоті концепцій можна змінювати алгоритми та додавати нові функції. Можуть використовуватися різні алгоритми дерева рішень та моделі часових рядів.

Майбутні вдосконалення включатимуть вдосконалення попередньої обробки для моніторингу стану, покращене маркування зразків для прогнозування стану та поєднання коротких та довгих прогнозів. Концепції не можуть замінити інший метод ТО під час польоту, але систему можна експлуатувати паралельно використаному в даний час методу ТО. Датчики збирають дані, і вони співвідносяться з дією ТО та віком ПС або його системи. Через деякий час нова концепція ТО може замінити стару.

Цей розділ показав, що розроблені концепції працюють і що можна зробити надійний моніторинг стану та прогнозування стану. Контроль стану перевірявся на випробувальній системі, розробленій Airbus Operations GmbH. Прогнозування стану було перевірено на короткий горизонт прогнозування та загальну функцію стану системи.

Також, з метою доцільного впровадження методу ПрТО на базі ІІІ було розроблене відповідне дерево прийняття рішень, на основі якого розроблено методику для певного обраного експлуатанта. Таким чином, дана методика дозволяє мати повне уявлення доцільності та умов впровадження ПрТО ПС на базі ІІІ для певного експлуатанта з урахуванням основних наявних факторів впливу.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час технічного обслуговування повітряного судна

При ТО ПС, можливе проявлення шкідливих і небезпечних факторів, які можуть привести до одержання травм, повної чи часткової утрати працездатності обслуговуючого персоналу [50 - 51].

При ТО ПС можуть виникати наступні небезпечні фактори:

- підвищена запиленість і загазованість повітря в зоні ТО;
- повітряні судна, які рухаються, спеціальний автотранспорт і самохідні механізми;
- струмені газів та рідин, що витікають із ємностей і трубопроводів, які працюють під тиском;
- підвищена чи знижена температура поверхонь авіаційної техніки, устаткування і матеріалів;
- підвищений рівень шуму, вібрації,
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена чи знижена температура елементів конструкції, агрегатів, вологість повітря в робочій зоні ТО ПС;
- гострі крайки, задирки і шорсткість на поверхнях ПС, устаткування і інструментів;
- відсутність чи недостатність природного освітлення;
- підвищена швидкість повітряних атмосферних потоків;
- виступаючі частини або гострі кромки агрегатів систем та виробничого обладнання (підноси, замки, кронштейни, створи та інше);
- розташування робочого місця або робочої зони на відстані менше двох метрів від загороджених перепадів по висоті на 1 – 3 м та більше;
- підвищене значення напруження електричної мережі при обслуговуванні систем ПС, замкнення якої може пройти через тіло людини;

- підвищений рівень шуму від працюючих силових установок ПС, спец. автотранспорту і механічного інструменту;
- підвищена запиленість та забруднення повітря в зоні ТО ПС;
- небезпека падіння ПС з підйомників;
- підвищена чи знижена температура поверхонь авіаційної техніки, устаткування і матеріалів (від мінус 40 °С до плюс 35 °С);
- швидкість руху спецмашин поза перонами і місцями стоянок ПС повинна забезпечувати безпеку руху, і не перевищувати 40 км/год., по пероні і місцям стоянок ПС, вона не повинна бути більш ніж 20 км/год. Під'їзд (від'їзд) від ПС спецмашини виконується водієм відповідно до існуючого правилами (при під'їзді, швидкість руху повинна бути знижена до 5 км/год.).

Спецмашини повинні під'їжджати до ПС на відстань, що виключає його ушкодження.

У магістерській роботі проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які можуть впливати на обслуговуючий персонал у процесі ТО систем ПС.

До цих факторів відноситься виникнення дискомфортних умов праці, пов'язаних з незручним положенням працюючого при виконанні робіт з ТО:

- через те, що висота робочої зони для нашого випадку не перевищує 1 м, то роботи по ТО виконуються в зігнутому положенні чи сидячи;
- підвищене ковзання внаслідок зледеніння, чи зволоження;
- замаслювання покриття майданчика, на якому виконується ТО і по якому переміщається обслуговуючий персонал;
- хімічні речовини, що входять до складу FH-51 чи НГЖ-4У і мінеральних мастил, проникаючи в організм через органи подиху, шкірні покриви;
- ударна хвиля (вибух судин, які працюють під тиском, парів рідини);
- високо розташовані частини ПС;
- підвищений рівень статичної електрики.

5.2 Технічні та організаційні заходи зі зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при обслуговуванні систем повітряного судна

У магістерській роботі пропонуються заходи, спрямовані на зниження небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які виникають при різних формах ТО систем ПС.

Для запобігання чи зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів згідно «Правил безпеки праці при технічному обслуговуванні і поточному ремонті авіаційної техніки» розроблено наступні заходи [50]:

- проведення інструктажу водіїв спеціального транспорту з основними правилами руху і під'їзду до ПС;

- швидкість руху спецтранспорту і самохідних засобів механізації на місцях стоянок і по пероні повинна бути не більш 20 км/год.

- При під'їзді до обслуговуваного ПС, не доїжджаючи до нього 10 м водій зобов'язаний зупинити машину і почати під'їзд зі швидкістю не більш 5 км/год під керівництвом посадової особи, відповідального на даний час за ПС;

- для маневрування спецтранспорту існують одnobічні проїзди завширшки 3,5 м;

- для зменшення запиленості робочої зони на відкритій місцевості передбачене використання спецмашин, які очищають ґрунт за допомогою сильного струменя води, у закритих приміщеннях використання природної і примусової вентиляції;

- у конструкції будівлі АТБ застосовані звукоізоляційні панелі;

- на пероні, в ангарі встановлені джерела штучного освітлення;

- застосовуються переносні електричні лампи з напругою 28 В;

- при роботі на баках–кесонах використовуються переносні вибухобезпечні лампи напругою 28 В;

- для зняття статичної електрики в ангарі і на місцях стоянки ПС встановлені колодязі для заземлення ПС;

- для зменшення шумового впливу від працюючих авіаційних двигунів (АД) при необхідності передбачено застосування анти-шумових навушників;
- з метою зменшення токсичних парів палива ($\text{ГДК} = 300 \text{ мг/м}^3$) при роботі в паливних баках-кесонах передбачене обов'язкове використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) органів дихання;
- при роботі на високо-розташованих частинах установки систем, інструменти і устаткування розташовується на драбинах у сортовиках, щоб виключити їхнє падіння і травмування обслуговуючого персоналу;
- для усунення підвищеного забруднення місця стоянок періодично очищаються від бруду, льоду, снігу, а також передбачене використання спеціального розробленого взуття;
- у системі вентиляції ангара використовується циркуляція теплого сухого повітря в зимовий час;
- розташування робочого місця або робочої зони на відстані менше двох метрів від загороджених перепадів по висоті на 1 – 3 м та більше;
- підвищений тиск в системах з рідинами після приземлення ПС.
- Для створення здорової обстановки на ділянці ТО систем в робоче приміщення надходить свіже повітря.

5.3 Пожежна безпека при технічному обслуговуванні систем повітряного судна

Згідно з правилами пожежної безпеки України, пожежна безпека (ПБ) забезпечується [52 - 53]:

- системою запобігання пожеж;
- системою пожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.
- встановлення знаків безпеки в приміщеннях ангарів та офісів (ДСТУ 6309: 2007).

Основні заходи щодо запобігання пожежі на ПС [53]:

- ізоляція небезпечних відсіків;
- установка у відсіках протипожежних перегородок;
- ефективне охолодження сильно нагрітих частин двигуна і його систем;
- виключення негерметичності трубопроводів систем;
- періодичне очищення ангара і місць стоянок від відходів пального, замасленого дрантя, тощо.

Основні заходи щодо протипожежного захисту ПС:

- справність системи пожежогасіння;
- наявність переносних засобів пожежогасіння як на ПС, так і на місцях проведення ТО;
- стоянки і ангари повинні бути забезпечені централізованою системою пожежогасіння чи спеціальними щитами з протипожежним інвентарем, шухлядами з піском, водоймами.

Організаційно-технічні заходи щодо забезпечення ПБ [53]:

- проходження всім технічним складом інструктажу з проти пожежних заходів;
- контроль за справністю засобів пожежогасіння;
- систематичний контроль санітарного стану приміщень АТБ, ангарів і місць стоянки ПС;
- наявність місць для паління.

У даній магістерській роботі з метою зниження імовірності виникнення пожежі пропонуються наступні заходи:

- подача сигналів з датчиків пожежі температур на автоматичне відключення електричної мережі;
- на всіх тросах заземлення повинні бути штирі довжиною 30 - 40 см , щоб у випадку значного сніжного покриву на місці стоянки штир мав контакт із ґрунтом;
- забезпечення стоянок місцями заземлення у виді труб, уритих у ґрунт.

Для запобігання виникнення пожежі чи його поширення передбачається стаціонарна система пожежогасіння пожежна установка.

Для ліквідації окремих вогнищ пожежі можуть бути використані [52 - 53]:

- ручні вогнегасники ОУ-8;
- порошковий ОПС-10;
- хімічні ОП-9ММ і ОХП-10;
- пересувні вуглекислотні вогнегасники типу УП-1М.

Такі вогнегасники призначені для гасіння вогнищ, пожеж, легкозаймистих і палих рідин на площі до 5 м, а також невеликих електроустановок, що знаходяться під напругою.

Вогнегасник УП-1М являє собою балон, укріплений на візку.

У горловину балона вкручено запірний вентиль, до якого приєднаний гумовий шланг, обплетений сталевим дротом. До іншого кінця шлангу приєднаний розтруб з рукояткою. Приведемо основні характеристики УП-1М:

- кількість балонів 1 одиниця;
- об'єм балона складає 0,027 м³;
- робочий тиск балона складає 13,7 МПа;
- час дії використання вогнегасника становить 60 с;
- робоча дальність струменя складає від 2 м до 2,5 м, при середній довжині шлангу 3,5 м.

Для запобігання причин виникнення пожежі при ТО систем ПС необхідно:

- усі роботи виконувати відповідно до регламентів і технологічних вказівок по виконанню даних робіт;
- користуватися тільки справними засобами механізації;
- технічне обслуговування виконувати на стоянках і площадках, підготовлених для відповідних робіт;
- робоче місце, стоянки і площадки повинні бути обладнані засобами сигналізації, оповіщення і засобами гасіння пожежі.

5.4 Розрахунок заземлення стенда при заправці паливом повітряних суден

Виконуємо розрахунки та розробляємо стенд для заправки паливом ПС, по техніці безпеки потрібно заземлити ПС.

Вихідні дані:

Питомий опір ґрунту, $\rho_{изм} = 700 \text{ Ом/см}$.

Коефіцієнт збільшення ґрунту (сезонності), $K_c = 1,1$.

Довжина, $\ell = 2,8 \text{ м}$

Діаметр, $d = 0,025 \text{ м}$.

Глибина закладення, $H = 2,2 \text{ м}$.

Смугова сталь ширина, $b = 0,04 \text{ м}$.

Коефіцієнт використання одиночного заземлювача, $\eta_{ст} = 0,85$, $\eta_{пол} = 0,75$.

Норма опору контуру заземлення: $r_n = 100 \text{ Ом}$.

Заземлювачі бувають: природні і штучні. У якості природних заземлювачів застосовують металеві конструкції будинків і споруджень, що мають надійне з'єднання з землею. Це: трубопроводи, прокладені в землі (крім трубопроводів для паливних рідин і вибухових газів); обсадні труби артезіанських колодязів і шпар; свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі, тощо.

Природні заземлювачі приєднуються до магістралі заземлення не менше, ніж у двох місцях. Якщо природне заземлення більше норми, то встановлюють штучне заземлення з наступних матеріалів: сталевих стрижнів (труб) діаметром $d = 38 - 50 \text{ мм}$, $\ell = 2 \div 3 \text{ м}$ чи довжиною сталевих куточків $50 \text{ мм} \times 50 \text{ мм} \times 5 \text{ мм}$, що забиваються в землю вертикально на глибину від 0,5 до 0,8 м від верху чи стрижня куточка до поверхні землі.

Опір у (Омах) розтіканню струму від одиночного заземлювача стрижня (труби) чи куточка:

$$R_{cm} = 0,366 \frac{\rho}{\ell} \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4H + \ell}{4H - \ell} \right); \quad (5.1)$$

$$R_{cm} = 0,366 \frac{770}{2,8} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 2,8}{0,025} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 2,8}{4 \cdot 2,2 - 2,8} \right) = 250,961 \text{ Ом},$$

де ρ - питомий опір ґрунту, Ом·м,

$$\rho = \rho_{изм} \cdot K_c;$$

$$\rho = 700 \cdot 1,1 = 770 \text{ Ом/см}$$

K_c – коефіцієнт сезонності;

ℓ – довга чи стрижня куточка, м;

d – діаметр стрижня (труби), для куточка - $d = 0,95\vartheta_1$,

ϑ_1 – сторона куточка;

H – відстань від поверхні землі до половини довгі стрижня, м;

$$H = H_0 + 0,5\ell;$$

$$H_0 = H - 0,5 \cdot \ell;$$

H_0 – глибина, на яку стрижні забиті в землю.

Для сталевих смуг перетин не менш 100 мм і товщиною 4 мм, що закладається в ґрунт паралельно землі на глибину 0,5÷0,8м опір у (Омах) розтіканню струму від смуги:

$$R_{пол} = 0,366 \frac{\rho}{\ell_1} \lg \frac{2\ell_1^2}{\vartheta \cdot H_0}, \quad (5.2)$$

де $\ell_1 = n \cdot a$;

n – кількість стрижнів;

a – відстань між стрижнями.

$$\ell_1 = 3 \cdot 2,8 = 8,4 \text{ (м)}.$$

Якщо опір одиночного заземлювача більше нормованого значення, то заземлення виконують з декількох заземлювачів. Вони з'єднуються між собою і розташовуються один від одного на відстані, рівній довжині стрижня.

Число заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_{cm}}{r_n \cdot \eta_{cm}}; \quad (5.3)$$

$$n = \frac{60,948}{100 \cdot 0,85} = 2,952 \approx 3,$$

де r_n – нормований опір пристрою, що заземлює, Ом;

η_{cm} – коефіцієнт використання одиночного стрижневого заземлювача.

Опір прямокутного контурного пристрою що заземлює:

$$r_{кз} = \frac{R_{cm} \cdot R_{пол}}{R_{cm} \cdot \eta_{пол} + n \cdot R_{пол} \cdot \eta_{cm}}, \quad (5.4)$$

де n – число заземлювачів.

$$r_{кз} = \frac{250,961 \cdot 122,271}{250,961 \cdot 0,75 + 3 \cdot 122,271 \cdot 0,85} = 61,369 \text{ (Ом)}.$$

Висновок. Зроблений розрахунок показав, що найбільш оптимальним є прямокутний контрольний пристрій, що заземлює, з 3-х стрижневих заземлювачів зі сполучною смугою; опір розрахованого заземлювача не перевищує припустимі межі.

5.5 Інструкція безпеки праці при виконанні робіт з установкою для технічного обслуговування систем повітряних суден

1. До роботи з установкою допускаються люди, що знають конструкцію і принцип роботи, що одержали документально оформлений наказом допуск до постійної роботи з електрогідравлічною установкою і пройшли інструктаж перед початком робочого дня з розписом у карті наряді.

2. Перед включенням установки перевірити:

- наявність під колесами автомобіля стопорних колодок;
- цілісність і надійність заземлення установки та ПС;

- відсутність підтікання FH-51 або Skydrol із з'єднань трубопроводів і агрегатів гідросистеми установки;

- наявність і пломбування вогнегасників установки.

3. Перед підключенням наземного джерела живлення до установки і ПС перевірити;

- напругу аеродромного джерела живлення;

- чистоту електричних з'єднань джерела живлення і установки.

Тільки після цього приєднати електричні з'єднання до установки:

- включити на пульті керування установкою електричне живлення аеродромного джерела;

- перевірити напругу по вольтметру на пульті керування установкою, при відсутності аеродромного джерела живлення робота установки насосної станції живиться від генератора постійного струму 24 В, автомобіля Peugeot "Boxer";

- перевірити кількість FH-51 чи Skydrol в гідробаці установки;

- включити насосну станцію установки і перевірити тиск нагнітання;

4. Після закінчення робіт необхідно:

- стравити тиск із лінії нагнітання;

- оглянути установку, переконатися у відсутності підтікання FH-51 або Skydrol установки;

- відключити живлення установки на пульті керування та від наземного джерела живлення;

- роз'єднати від установки електричні роз'єми наземного джерела живлення (при включених джерелах живлення роз'єднання заборонено).

При зарядці паливний баків перевірити:

- справність зарядних пристроїв;

- справність редукторів, роздавальних клапанів і цілісність шлангів;

- приєднати зарядні пристрої до зарядних штуцерів;

- відрегулювати тиск азоту чи повітря до необхідних величин і тільки після цього включати роздавальний кран.

6. Після заправки і перевірки величини тиску в зарядженому агрегаті закрити роздавальний кран, стравити тиск зі шлангу.

Забороняється підігрів двигунів, агрегатів, систем, а також повітря у кабінах, розміщати проводи електроживлення на шляху руху АТ.

При перекачуванні палива на стінках гнучкого шлангу виникають електростатичні заряди, які можуть визвати електричну іскру в паливній ємкості та пожежу. Для запобігання цього необхідно заземлити ПС та паливозаправник, перевірити металізацію.

В процесі підготовки ПС до вильоту виконується заправка (зарядка) систем ПС спеціальними рідинами, водою і газами (робочі тіла) до необхідного робочого об'єму, тиску згідно з технічною документацією даного типу ПС. Об'єми робочих тіл окремо нормується для кожного типу ПС і контролюється при ТО з урахуванням навколишньої температури та наявності або відсутності тиску в системі. При заправці ПС спеціальними рідинами та газами слід враховувати, що частина з них у тій чи іншій мірі отруйні, і тому треба виконувати необхідні заходи безпеки при роботі з ними. Відпрацьовані нафтопродукти (наприклад, мастила, рідина гідравлічної системи, відстій палива) необхідно збирати у спеціальні ємності для подальшої переробки та використання.

5.6 Інструкція безпеки праці при виконанні робіт з персональним комп'ютером для технічного обслуговування систем повітряних суден

До роботи на персональному комп'ютері (ПК) допускаються сертифіковані особи з відповідним та необхідним рівнем кваліфікаційних знань, що не мають протипоказань за результатами попереднього медичного огляду і пройшли інструктаж, навчання й перевірку знань по охороні праці і мають 1 кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Праця на робочому місці, оснащеному дисплеєм, супроводжується дією наступних небезпечних і шкідливих факторів:

- напруження зору та емоційне перенавантаження;
- гіподинамія;
- монотонність праці;
- можливість ураження електричним струмом.

Для зниження й попередження шкідливого впливу вищевказаних факторів необхідно:

- для зниження рівня статичної електрики розташовувати екран дисплея на відстані не ближче 550 - 700 мм від очей оператора,

- для зниження бліків екран дисплея повинен розташовуватися перпендикулярно світлового потоку від віконних прорізів або від електросвітильників;

- для зниження втоми очей необхідно дотримуватись певних норм:

1. освітленість робочого місця від 300 до 500 Люкс;
2. розмір світної точки не більше 0,0006 м;
3. яскравість світіння екрана не менш 100 Кл/м²;
4. контрастність зображення знаків не менше 0,8;
5. частота генерації не менше 72 Гц;

- для зниження впливу гіподинамії й емоційних перевантажень варто використовувати технологічні перерви і виконувати комплекс фізичних вправ, зазначених у Додатку 1 і 2, п. 10, Тимчасових санітарних норм.

5.6.1 Вимоги безпеки перед початком роботи на обладнаному місці

1. Прийшовши з вулиці, зняти верхній одяг, залишити його на вішаку.
2. Прибрати робоче місце від сторонніх предметів, якщо такі є.
3. Забороняється класти на блоки ПК сторонні предмети (папери, тощо).
4. Забороняється використання трійників разом з електроприладами.
5. При необхідності увімкнути штучне освітлення.
6. Оглянути ПК, переконатися в справності проводки, рознімачів, шин заземлення й вимикачів, у надійності кріплення захисних кожухів і кришок блоків.
7. Перевірити відсутність пилу, пошкоджень на екрані дисплея й у наявності всього необхідного для роботи. Не допускати забивання пилом і сторонніми предметами вентиляційних отворів для відводу тепла з блоків ПК.
8. Відрегулювати висоту сидіння стільця й підставки для ніг. Відрегулювати положення екрана монітора щодо свого поля зору.
9. При виявленні несправностей і інших недоліків, що створюють небезпеку або значні незручності в роботі, заявити про це начальнику зміни.

5.6.2 Вимоги безпеки під час роботи з персональним комп'ютером

1. Не чіпати не заізовані елементи увімкненого електрообладнання.
2. Дотримуватися послідовності увімкнення ПК з інструкції по роботі.
3. Безперервна тривалість роботи перед екраном не повинна перевищувати 1 годину з наступними регламентованими перервами по десять хвилин для відпочинку та виконувannya комплексу фізичних вправ, релаксаційної гімнастики.
4. Забороняється при не відключеному електроживленні ПК :
 - розкривати захисні кожухи й кришки електрообладнання, регулювати й чистити внутрішні елементи, змінювати запобіжники;
 - робити вологе прибирання поверхонь ПК;
 - змінювати встановлену конфігурацію робочого місця, переставляти блоки ПК або приймати їжу безпосередньо за клавіатурою ПК;
 - курити, користатися відкритим вогнем.

5.6.3 Дії персоналу в аварійних ситуаціях

Ознаками аварійної ситуації на робочому місці оператора ПК є поява збоїв у роботі ПК, зникнення зображення на екрані дисплея, коротке замикання, іскріння, появи запаху гару, підвищене нагрівання корпусу, рознімань, сполучних проводів, зниження або зникнення напруги в мережі, тощо.

При виникненні аварійної ситуації необхідно:

- негайно припинити роботу, знеструмити електрообладнання перемикачем;
- при пожежі використовувати вуглекислотний або порошковий вогнегасники;
- при неможливості гасіння виконати евакуаційний план, при необхідності надати першу медичну допомогу;
- по радіозв'язку повідомити про аварійну ситуацію начальнику зміни;
- при необхідності викликати швидку допомогу, пожежну команду.

5.6.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. Завершити роботу програм, закрити всі каталоги, підготувати ПК до вимкнення або до передачі робочого місця колезі після завершення робочої зміни.
2. Відключити електрообладнання та штучне освітлення від мережі.
3. Упорядкувати робоче місце, передати робочі документи співробітнику, що заступає на зміну, або передати їх відповідальному працівнику зміни.
4. Переконатися у відсутності пожежної небезпеки.
5. Доповісти начальнику зміни, іншому відповідальному співробітнику про завершення роботи, при необхідності зазначити виявлені несправності, тощо.

Висновки до розділу 5

У цьому розділі наведено перелік небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при ТО та експлуатації систем ПС.

Перелічено організаційні і технологічні заходи щодо зменшення впливу на співробітників небезпечних і шкідливих виробничих факторів при ТО та виконано розрахунок заземлювача. Наведено інструкцію роботи з ПК.

Значну роль в охороні праці відіграє пожежна і вибухова безпеки в процесі ПЛП та ТО ПС.

Дотримання норм і правил з пожежно-вибухової безпеки підприємств ЦА регламентується відповідно до постанов з пожежної охорони окремих підприємств, організацій, що передбачає попередження умов утворення пожежовибухонебезпечних ситуацій.

При роботі з електрообладнанням необхідно значну увагу, щоб уникнути ураження електричним струмом.

Дотримання правил з охорони праці забезпечує підвищення рівні загальної безпеки при роботі та виконанні професійних та посадових обов'язків.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Небезпечні фактори впливу на навколишнє середовище при технічному обслуговуванні та експлуатації цивільних повітряних суден

В експлуатаційних підприємствах ЦА найбільш актуальним напрямленням діяльності по зменшенню впливу на навколишнє середовище є наступне [54]:

- скорочення викидів неочищених стічних вод та шкідливих викидів на території авіапідприємств;
- зниження забрудненості атмосферного повітря шкідливими речовинами від ПС та їх АД й наземної техніки;
- виключити подразнюючий вплив авіаційних та інших промислових шумів;
- захист від впливу електричних полів, утилізація відходів діяльності авіа підприємств.

Питомий вплив авіаційного транспорту на забруднення навколишнього середовища є відносно невеликим. Однак, зі збільшенням загальної кількості ПС відповідно відбувається зріст динаміки повітряних перевезень, що в свою чергу вимагає нагального та невід’ємного залучення уваги до питань пов’язаних з охороною навколишнього середовища.

Основним чинником, який продукує забруднення навколишнього середовища в процесі функціонування авіаційної галузі є робота АД. Тому, зважаючи на це, негативний вплив АТ на навколишнє середовище можна розділити на дві основні групи [54-55]:

1. Фактори хімічного впливу:

- викиди шкідливих речовин АД (емісії) і їхній вплив на дану атмосферу, що перешкоджає проникненню ультрафіолетової радіації;
- процес виготовлення паливно-мастильних матеріалів (ПММ), тощо;
- знаходження на території авіаційних підприємств сховищ ПММ, зон для чистки та миття ПС, обробка ПС спеціалізованими рідинами, тощо.

2. Фактори фізичного впливу в зоні аеропортів [54]:

- шуми та вібрація від АД;
- електромагнітний вплив від електроніки, наприклад від наземних систем керування повітряним рухом.

Шкідливими продуктами згорання авіаційних палив в двигуні ПС та спецавтотранспорту є: окис вуглецю, вуглець, що не згорів, окис азоту та сірки, сажа та кіптява [54-57].

Для запобігання забрудненню ґрунту при технічному обслуговуванні (ТО) паливної системи на місцях стоянки ПС передбачаються резервуари для збирання відстію палива і спеціальних піддонів для виключення протікання палива при заміні агрегатів паливної системи. Тому на майданчиках періодичного ТО ПС передбачаються стічні канавки зі стоком у резервуари, куди разом з паливом, хімічними рідинами стікають опади, змиті з описаних майданчиків.

Чітке виконання правил зберігання, транспортування та використання ПММ може попередити забруднення атмосфери, ґрунту та ґрунтових вод важкими вуглецевими фракціями, двоокисом азоту, сірководнем, тощо. Для цього необхідно виконувати регламентований збір відпрацьованого ПММ в спеціальні ємності та їх подальша переробка, що значно раціоналізує використання природних ресурсів Землі.

Саме прогнозований зріст повітряного транспорту у Світі викликав необхідність своєчасного обмеження шкідливих викидів авіаційними двигунами. У зв'язку з цим ІКАО розробила більш жорсткі норми стосовно дозволеного емісійного впливу АД [54].

АД своєю роботою продукують викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами в зонах аеропортів і під час польотів ПС повітряними трасами. До хімічного складу відпрацьованих газів газотурбінних двигунів належать такі основні компоненти: оксид вуглецю, вуглеводні (метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 , етан C_2H_6 , етилен C_2H_4 , пропан C_3H_8 , бензол C_6H_6 , толуол $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ і ін.), оксиди азоту, альдегіди (формальдегід HCHO , акролін $\text{CH}_2=\text{CH}=\text{CHO}$,

оцтовий альдегід CH_3CHO і ін.), оксиди сірки, сажа (видимий димний шлейф за соплом двигуна), бензапірен [54-57].

При роботі турбореактивного і турбогвинтового двигунів впродовж однієї хвилини в атмосферне повітря викидається від 2 до 4 міліграм канцерогенних речовин, в основному, бензопірена. Викид дренажного палива в атмосферу АД нормами ІСАО не допускається і повинен бути виключеним ще в процесі конструювання нових АД і ПС.

Кількісною характеристикою викидів шкідливих речовин АД є індекс емісії, який показує, питому кількість грамів певної хімічної речовини, що викидається в повітря при спалюванні 1 кг палива. Зміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах АД обумовлюється неповним згорянням палива. Максимальний викид вуглецю і незгорілого палива спостерігається на режимі малого газу внаслідок того, що на цих режимах коефіцієнт повноти згоряння палива найменший через малі температури і тиски повітря в камері згоряння. Крім того, на режимі малого газу розпилення палива погіршується, що також погіршує повноту згоряння його. Емісія NO є мінімальною на режимах малого газу і досягає максимуму при злітних режимах роботи АД, коли температура в камері згоряння відповідно теж є максимальною.

Шумовий стан на територіях авіапідприємства і прилягаючих до нього районів визначається багатьма джерелами шуму, серед яких основні – авіаційні силові установки і спец. машини аеродромного обслуговування різного призначення [54, 56 – 57].

Шум, створюваний авіаційними силовими установками (СУ) на території авіапідприємства, усередині більшості виробничих приміщень і у прилеглих районах, виявляється домінуючої, і його зниження зачіпає інтереси великої кількості людей. Основне джерело шуму двигунів це повітряний гвинт. Основні компоненти шуму повітряного гвинта: шуми обертання і вихрові.

Науково-технічний прогрес спричинив підвищення негативного впливу на організм людини створеними нами штучних електромагнітних полей, джерелами яких є передавачі радіолокаційних, радіонавігаційних і радіомовних станцій, тощо.

Рівень електромагнітного випромінювання цими пристроями значно перевищує природне поле, що чинить негативний вплив на здоров'я людини [56].

Для електромагнітних полів (ЕМП) найбільш уразливою виявилася нервова система, у якій спостерігаються виражені зміни, що характеризуються розладом умовно рефлекторної діяльності, зрушенням в електроенцефалограмі, патоморфологічними порушеннями в роботі головного і спинного мозків. ЕМП безпосередню впливають на структури лобової частини і проміжного мозку, що умовно рефлекторну діяльність, характер змін деяких біомеханічних перетворень, формуючі певні протікання нервових процесів.

Господарська діяльність авіапідприємств пов'язана з обслуговуванням ПС також чинить вплив на погіршення екологічної обстановки, адже у результаті проведення цієї діяльності у районі перонів, місцях стоянки, в місцях розташування ангарів і майстерень щорічно в ґрунт проникає до 40 тон вуглеводнів, хімічних сполук для мийки ПС, противокрижаних засобів, органічних і мінеральних мастил, фенолів, тощо. І причиною такого впливу насамперед є витіки ПММ при експлуатації ПС, під час якої негативного впливу зазнає й повітряне середовище [58].

Для пониження негативного впливу на ґрунтове, водне і повітряне середовища необхідно намагатися уникати витікам ПММ й дотримуватись відповідних експлуатаційних правил при роботі з ними. Але, все ж в разі віднайдення протоків ПММ, їх необхідно усунути у найкоротший проміжок часу з дотриманням правил протипожежної безпеки.

Також, окремо, необхідно зазначити про вірусологічну небезпеку, спричинену поширенням вірусу COVID-19, для боротьби з яким було введено спеціальні вимоги до індивідуального та навколишнього бактеріального захисту.

До способів боротьби з поширення коронавірусу у закладах та підприємствах ЦА відносять:

- засоби індивідуального захисту (захисні окуляри/щитки, респіратори, маски, одноразові рукавички, санітайзери, тощо);

– масові та превентивні засоби попередження поширення вірусу (температурний скринінг, дистанційне обмеження між пасажирами, обмеження кількості людей у приміщеннях, відповідно до його об'єму, маркування додаткових обмежуючих зон, екранування співробітників аеропортів, спеціалізована дезінфекція салонів ПС та приміщень і зон аеропортів, тощо).

Необхідно зазначити, що у разі погіршення епідеміологічного становища у Світі Всесвітня Організація Охорони Здоров'я (ВООЗ) та відповідні національні державні органи, такі як Міністерство охорони здоров'я України, вводять спеціалізовані заходи щодо обмеження або цілковитого припинення пасажирських авіаційних перевезень з наданням відповідних коментарів та рекомендацій.

6.2 Вплив використання персонального комп'ютера на навколишнє середовище та способі зменшення впливу

Нині використання ПК під час ТО ПС є повсякденної невід'ємною частиною процесу ТО, особливо прогностичного ТО. Для реалізації якого планують спеціалізоване приміщення або місце в ангарі, щоб технічний персонал завжди мав доступ до бази даних ПС, по якому проводяться заходи ТО, з комунікацією із відділом ПЛП. Цей підхід дає змогу зменшити час на пошук інформації, пришвидшити комунікацію між працівниками і підвищити якість ТО. Але використання комп'ютера має шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Інформаційні та телекомунікаційні технології, певною мірою призначені для збереження та покращення екології, втілились в ідею інформаційного суспільства та безпосередньо стали частиною способом життя людства, запорукою нового циклу розвитку цивілізації та планети.

ІТ сьогодення найбільш екологічні за більшість інших видів активної людської діяльності, проте неможливо не зазначити, що і вони чинять певний мінімальний але все ж негативний вплив на екологію та людину. Ефективність інформаційних мереж напряму залежить від кількості користувачів, тобто, від кількості комп'ютерів, підключених до мережі. Але для виготовлення одного ПК необхідно переробити від п'ятнадцяти до дев'ятнадцяти тон матеріалів (двадцять

п'ять тон необхідно для виготовлення автомобіля). На кожен ПК (використовуваний в середньому протягом чотирьох років) припадає півтора вироблених ПК. Приблизно третина із загальної кількості виготовлених ПК ніколи не буває продано, адже електроніка швидко втрачає технологічну актуальність.

Електронні пристрої містять у собі токсичні сполуки, які, потрапляючи в навколишнє середовище, створюють суттєву небезпеку для здоров'я і життя людей. Наприклад, двадцять два відсотки ртуті, що щорічно видобувається у Світі, направлено йде на потреби електронної промисловості (зокрема на смартфони). Кадмій, який є канцерогеном, використовується практично в усіх напівпровідникових пристроях. Свинець, який особливо токсичний для нервової системи, міститься в акумуляторах і екранах моніторів. Поступово, у міру розкладання захисних покриттів, з електронних пристроїв у навколишнє середовище виділяється діоксин та інші високотоксичні сполуки.

Стурбованість громадськості проблемами екології, а також нові, більш жорсткі закони по захисту навколишнього середовища змушують великих виробників устаткування створювати мережі по утилізації техніки, що вийшла з ладу й користування. Також в конструкції обладнання максимально збільшується частка матеріалів, придатних для переробки.

Зважаючи на довідкові дані та спираючись на лабораторні хімічні аналізи в таблиці 6.1 наведено усереднені дані про вміст різних металів і матеріалів у персональному комп'ютері.

Таблиця 6.1 – Шкідливі речовини які містяться в персональному комп'ютері

Дорогоцінні метали		Кольорові та чорні метали			Полімери і скло	
Au, г	Ag, г	Al, кг	Cu, кг	Fe, кг	Пластик, кг	Скло, кг
0,053	0,8	0,1	0,1	3	3	10
–	–	–	–	–	–	–
0,072	1,1	0,4	0,2	4	3,5	20

Отже, рядовий ПК містить у своїх компонентах цінні метали (золото, срібло, алюміній, мідь), й небезпечні так токсичні (кадмій, свинець, цинк, нікель, тощо), що спричиняє необхідність створення та користування законодавством в області охорони навколишнього середовища при списанні та утилізації обладнання, що є одним із способів зменшення забруднення.

Утилізація електроніки та ПК є процесом, який проводиться в декілька етапів. По-перше списують обладнання безпосередньо з підприємства. По-друге техніку розбирають і сортують отримані складові. Якщо компоненти можливо ще використовувати без подальшої переробки, їх відправляють на очищення, інші ж компоненти підлягають утилізації та переробці. Процес переробки відтворити набагато легше ніж видобути шуканий елемент у гірських породах.

Для утилізації друкованих плат співробітники Національної фізичної лабораторії Великобританії винайшли та продемонстрували можливості їх спеціального розчину, який зумовлює відшарування електронних компонентів.

Таким чином дев'яносто відсотків компонентів нових друкованих плат можна використовувати знову, тоді як у випадку звичайним методам – тільки два відсотки.

6.3 Електромагнітне забруднення навколишнього середовища і шляхи захисту від нього

Описані у попередньому розділі існуючі штучні джерела ЕМП, чинять небезпеку для людини. Електромагнітні джерела при ТО ПС, що спричиняються промисловим обладнанням, обладнання комплексу авіоники ПС, засобами зв'язку, компонентами ЛА, ПК, тощо, створюють велику інтерференцію. ЕМП можна порівняти з павутиною, яка повністю оповила середовище роботи сучасного фахівця з ТО.

Вчені усіх розвинених країн світу, під патронатом ВООЗ, ретельно вивчають вплив ЕМП на людину. Результати таких досліджень невтішні: ми живемо в умовах електромагнітного забруднення середовища. В останній час з'явився термін - "електромагнітний смог". В 1990 році Управління з охорони навколишнього середовища США оприлюднило доповідь, в якій йшлося про причинний зв'язок між низькочастотними ЕМП та захворюваннями на лейкемію, лімфому, рак головного мозку у людей. ЕМП викликають масу серйозних проблем медико-біологічного характеру. Стан хронічної втоми, безсоння, відчуття тривоги, дискомфорту, пригніченість психіки, швидка утомлюваність, гул в голові – це типові функціональні розлади від дії ЕМП.

Існує поняття "біорезонансні частоти". Наприклад більшість мобільних телефонів працюють на частоті 1800 МГц. Як відомо, будь-яка хвиля має так звані «модуляції», тобто коливання в одну та іншу сторони відносно основної хвилі. Велика кількість модуляцій ЕМП потрапляє в резонанс з частотами функціонування організму людини. Принцип несприятливої дії ЕМП на організм на клітковому рівні приблизно такий же, як при механічному резонансі, тобто збіг власних і примусових коливань об'єкту підсилює амплітуду коливань. Під впливом резонансу порушується нормальна робота живої клітини на інформаційному та енергетичному рівнях, руйнуються природні гідрофобні, водневі зв'язки, тощо. А оскільки нормальна робота клітини порушена, то це призведе до тієї чи іншої хвороби.

Енергетичне ураження призводить до соматичних захворювань, підвищується алергічна реакція. У людини пошкоджується її енергетична захисна оболонка (біополе) і її уражають хвороби. Те, що ослаблюються нервова і імунна системи, серцево-судинна діяльність – це доведений факт.. ЕМП здатні викликати загушення крові людини, що може призвести до утворення в ній тромбів.

У відмінності від мобільного телефону комп'ютер є джерелом як надвисокочастотних полів самого комп'ютера, так і низькочастотних полів імпульсного блоку живлення комп'ютера. Системний блок і блок живлення, на відміну від монітору, не мають захисту, тому особливо шкідливі. Навіть у разі нетривалої (сорок п'ять хвилин) роботи з комп'ютером у людини під впливом електромагнітного випромінювання монітора відбуваються значні зміни гормонального стану і специфічні зміни біонапруженості головного мозку.

У залежності від потужності випромінювання, розрізняють теплову і нетеплову дію випромінювання. Умовною межею між цими поняттями є величина в 10 мВт/см^2 опромінюваної поверхні. При такій величині потужності живі тканини можуть нагрітися на долі градуса. Відносно нешкідливими для людини впродовж тривалого часу вважаються поля, енергія яких сумірна з енергією геомагнітного поля Землі ($0,04 \text{ кА/м}$) і з його аномаліями ($0,16 \text{ кА/м}$). Якщо напруженість ЕМП вище, то відбувається відповідна реакція організму.

Значення напруженості, при яких починається виявлятися в тій чи іншій формі його дія на організм людини, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Характер впливу ЕМП на різні природні об'єкти

Механізм дії магнітного поля	Напруженість, кА/м
Порушення просторової орієнтації молекул	800
Зміна електропровідності рідини в живих тканинах	115
Магнітні ефекти в хімічних реакціях	8-80
Збільшення в'язкості води в живих тканинах	1

Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами ЕМП встановлюють вимоги до умов праці працівників, що займаються виготовленням,

експлуатацією, обслуговуванням та ремонтом обладнання, при роботі якого виникають постійні магнітні поля та електромагнітні випромінювання у діапазоні частот від 50,0 Гц до 300,0 ГГц. Ці норми і правила не розповсюджуються на працівників, що працюють з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин або виконують роботи в невимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно.

Санітарні норми і правила є обов'язковими для всіх міністерств, інших центральних органів виконавчої влади, підприємств, установ, організацій незалежно від відомчої належності та форм власності, громадян, які проектують, виготовляють, експлуатують та обслуговують обладнання, апаратуру, прилади, устаткування тощо, що є джерелами ЕМП, які розробляють та впроваджують заходи щодо зниження шкідливого впливу ЕМП на працюючих, які виконують державний санітарний нагляд за умовами праці. Вимоги санітарних норм і правил повинні бути враховані у нормативно-технічних документах: стандартах, будівельних нормах, технічних умовах, інструкціях, методичних вказівках та інших, які регламентують конструктивні та експлуатаційні вимоги до обладнання, устаткування, приладів, апаратів тощо, у тому числі зарубіжного виробництва, що є джерелами ЕМП.

Санітарно-гігієнічні і медико-профілактичні заходи із захисту людини в побуті від ЕМП мають на увазі дотримання наступних правил:

а) Приміщення, у яких розміщено установки, що є джерелами ЕМП, повинні відповідати вимогам діючих санітарних норм щодо проектування промислових підприємств і за своїм планувальним рішенням відповідати характеру виконуваних у них технологічних процесів. Рівні освітлення, опалення і вентиляції приміщень повинні відповідати вимогам будівельних норм і правил. Метеорологічні умови в приміщеннях, наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин, рівень шуму, а також інших несприятливих факторів виробничого середовища повинні відповідати вимогам, указаним у відповідних нормативних документах, затверджених Міністерством охорони здоров'я України.

б) Захист персоналу від дії ЕМП досягається шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

До організаційних заходів належать: вибір раціональних режимів праці установок, обмеження місця і часу перебування персоналу в зоні опромінювання і т. ін. Час перебування персоналу в зоні випромінювання ЕМП наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Час перебування персоналу в магнітному полі

Час перебування, год	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА/м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

До інженерно-технічних заходів належать: раціональне розміщення обладнання, використання відповідних засобів, які обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (екранування).

До засобів індивідуального захисту належать спеціальні захисні окуляри, щитки, шоломи, захисний одяг (комбінезони, халати з металовмісної тканини; окуляри з металовмісним склом).

Засіб захисту в кожному конкретному випадку повинен визначатись з урахуванням робочого діапазону частот, характеру робіт, необхідної ефективності захисту.

в) На підприємствах, що розробляють, випускають, експлуатують і ремонтують установки й окремі блоки, що генерують ЕМП, повинні бути розроблені інструкції з техніки безпеки, які відображають вимоги санітарних норм і правил щодо захисту працівників відповідно до особливостей кожного підприємства. Інструкція затверджується адміністрацією підприємства і узгоджується з органами, що здійснюють державний санітарний нагляд. Усі особи, що працюють з установками, повинні бути ознайомлені з інструкцією.

Висновки до розділу 6

В розділі «Охорона навколишнього середовища» наведено перелік небезпечних та шкідливих факторів при ТО та експлуатації систем ПС.

Перелічено організаційні і технологічні заходи щодо зменшення впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів при ТО, приведено рекомендації та правила щодо роботи під час пандемії та вірусологічної загрози, табличні норми поведінки персоналу при дії на них шкідливих чинників.

Значну роль в охороні навколишнього середовища відіграє екологічна безпека при експлуатації ПС, насамперед шкідливий вплив ПММ, шуми та емісії АД й ЕМП, спричинені роботою електронного обладнання, ПК та іншої електроніки безпосередньо під час ТО ПС.

Норми і правила з охорони навколишнього середовища регламентуються відповідними органами й містяться у керівній документації, дотримання якої є загальнообов'язковим з метою збереження навколишнього середовища, уникнення техногенних катастроф та збереження життя й здоров'я людини.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз даних стосовно основних сучасних факторів, що впливають на експлуатаційні процеси ТО, а саме:

- експоненціального накопичення експлуатаційної інформації;
- економічних витрат, спричинених негативним впливом застарілих стратегій та методів проведення ТО експлуатантами;
- додаткові негативні чинники, зокрема, які належать до непередбачуваних економічних витрат експлуатантів, що спричинені впливом вірусу COVID-19 та заходів стосовно запобігання його поширення.

2. Проведено аналіз структури стратегій ТО та існуючих сучасних ІТ для їх реалізації, вивчено процеси обробки інформації при використанні дерев прийняття рішень та систем моніторингу стану ПС та їх ФС.

3. Досліджено процеси прогнозування стану ПС та його ФС, пошуку невдач (несправностей). Як виявилось, дані процеси мають високу ступінь актуальності, зокрема у застосуванні ІІІ при впровадженні та використанні методу ПрТО.

4. Відтворено експеримент з використанням розробленої тестової установки для оцінки ефективності, обґрунтування доцільності та актуальності використання ІІІ при ПрТО ЛА та ПС.

5. Створено методику щодо впровадження ПрТО ПС на базі ІІІ для певного експлуатанта на основі розробленого дерева прийняття рішень.

Дана методика повинна спростити процес прийняття рішення ухвалення необхідності впровадження методів ПрТО з метою оптимізації загальної системи ПЛП ПС для відповідного обраного експлуатанта й забезпечити правильність впровадження ПрТО з подальшим його використанням.

Наукова новизна виконаної дипломної роботи:

- доведено необхідність та актуальність впровадження та застосування ПрТО на базі ШІ з урахуванням основних сучасних факторів, що впливають на експлуатаційні процеси ТО ПС;
- сформульовано результати досліджень з відтворенням експерименту для забезпечення подальшого покращення моніторингу стану ПС та його ФС із використанням методів ПрТО;
- створено методику щодо впровадження ПрТО ПС на базі ШІ для певного експлуатанта на основі розробленого дерева прийняття рішень.

Практична значимість виконаної дипломної роботи.

Результати моєї магістерської роботи дозволяють підвищити ефективність використання АТ та покращити процес ПЛП ПС за допомогою використання ПрТО на базі ШІ. Доведена доцільність та ефективність методу ПрТО ПС.

Створена методика перелік щодо впровадження ПрТО на базі ШІ для певного експлуатанта дозволить прийняти рішення доцільності впровадження методу ПрТО для конкретного експлуатанта з метою прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт: «Верховна Рада України. Законодавство України. Положення про використання Повітряного кодексу України від 30.07.2012 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/401-2002-%D0%BF/ed20120730/find?text=%C0%E2%B3%E0%F6%B3%FF#Text>
2. Офіційний сайт: «Верховна Рада України. Законодавство України. Повітряний кодекс України від 09.06.2013 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17/ed20130609/find?text=%D6%E8%E2%B3%EB%FC%ED%E0+%E0%E2%B3%E0%F6%B3%FF#Text>
3. Офіційний сайт: «Верховна Рада України. Законодавство України. Наказ Про затвердження Правил інформаційного забезпечення системи управління безпекою польотів повітряних суден цивільної авіації України від 19.03.2009 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0293-09>
4. Юдін О.К., Іваннікова В.Ю., Гирич С.Ю. Державні інформаційні ресурси у галузі авіаційної транспортної системи України: терміни та визначення. Наукоємні технології. Стаття – К.: НАУ, 2016.
5. Офіційний сайт: «Верховна Рада України. Законодавство України. Наказ Державної авіаційної служби України Про затвердження Авіаційних правил України «Підтримання льотної придатності повітряних суден та авіаційних виробів, компонентів і обладнання та схвалення організацій і персоналу, залучених до виконання цих завдань» від 06.03.2019 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0316-19/ed20190306#n56>
6. Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден в Україні: статус, потенціал та можливості для розвитку. Аналітичний звіт – К.: Державне підприємство «УКРПРОМЗОВНІШЕКСПЕРТИЗА», 2017.

7. Машай Б.С. Mayday: як коронавірус вбиває авіацію. Аналітичний портал «Слово і Діло» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2020/04/30/kolonka/bohdan-mashai/svit/mayday-yak-koronavirus-vbyvaye-aviacziyu>

8. Офіційний сайт: «Bloomberg, Coronavirus Could Bankrupt Most Airlines by End of May, Consultant Warns by Anurag Kotoky from 16.03.2020» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-16/virus-to-bankrupt-most-airlines-by-end-of-may-consultant-says?srnd=premium-europe>

9. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф., Базы знаний интеллектуальных систем – СПб.; 2001 – 249 с.

10. Попов Э.В., Фоминих И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д., Статистические и динамические экспертные системы – М.: Финансы и статистика, 1996 р. – 98 с.

11. Офіційний сайт: «IT-enterprise. PdM (predictive maintenance, предиктивне обслуговування)» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/pdm>

12. Губинский А.И. Информационно-управляющие человеко-машинные системы. Исследование, проектирование, испытание: Справочник. – М.: Машиностроение, 1993 – 528 с.

13. Авдеев А.В. Информационное обеспечение процессов поиска и устранения отказов систем авиационной техники. Под ред. Журавлева А. П.. – М.; 1985 – 32с.

14. Савенков М.В. Автоматизация управления технической эксплуатацией систем. – М.: Транспорт, 1992 – 285 с.

15. Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для вузов – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001 – 352 с.

16. Mike Gerdes, Dieter Scholz and Bernhard Randerath. ‘Reducing Delays Caused by Unscheduled Maintenance and Cabin Reconfiguration’. In: 2nd International Workshop on Aircraft System Technologies, AST 2009 (TUHH, Hamburg, 26/27. März 2009). 2009.

17. Mike Gerdes and Dieter Scholz. 'Feature Extraction and Sensor Optimization for Condition Monitoring of Recirculation Fans and Filters'. In: Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2009: Tagungsband - Manuskripte (DLRK, Aachen, 08.-10. September 2009). 2009.
18. Mike Gerdes and Dieter Scholz. 'Parameter Optimization for Auto-mated Signal Analysis for Condition Monitoring of Aircraft Systems'. In: 3rd International Workshop on Aircraft System Technologies, AST 2011 (TUHH, Hamburg, 31. März - 01. April 2011). 2011.
19. Mike Gerdes and Dieter Scholz. 'Fuzzy Condition Monitoring of Recirculation Fans and Filters'. In: CEAS Aeronautical Journal 2 (1–4 2011), pp. 81–87.
20. Mike Gerdes. 'Decision Trees and Genetic Algorithms for Condition Monitoring Forecasting of Aircraft Air Conditioning'. In: Expert Systems With Applications 40 (12 2013), pp. 5021–5026.
21. Robert Bond Randall. Vibration-Based Condition Monitoring. Industrial, Aerospace, and Automotive Applications. John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
22. British Standards Institution. Glossary of terms used in terotechnology. British Standards Institution, London, 1993.
23. Josef Kolerus and Johann Wassermann. Zustandsüberwachung von Maschinen: Das Lehr- und Arbeitsbuch für den Praktiker. Expert-Verlag, 2011.
24. John H. Williams, Alan Davies and Drake Paul R. Condition-based Maintenance and Machine Diagnostics. Chapman & Hall, 1994.
25. Victoria J. Hodge and Jim Austin. 'A survey of outlier detection methodologies'. In: Artificial Intelligence Review 22 (2004), p. 2004.
26. Tom Brotherton, George Chadderdon and Paul Grabill. 'Auto-mated Rule Extraction for Engine Vibration Analysis'. In: Proceedings of the 1999 IEEE Aerospace Conference. 1999.
27. Sh. Ataei et al. 'Sensor fusion of a railway bridge load test using neural networks'. In: Expert Syst. Appl. 29 (3 2005), pp. 678–683.

28. A.S. Zaher and S.D.J. McArthur. 'A Multi-Agent Fault Detection System for Wind Turbine Defect Recognition and Diagnosis'. In: 2007 IEEE Lausanne Powertech. 2007.
29. Alice E. Smith, David W. Coit and Yun-chia Liang. A Neural Network Approach to Condition Based Maintenance: Case Study of Airport Ground Transportation Vehicles.
30. Mark Owen. Practical Signal Processing. Cambridge University Press, 2007.
31. Lawrence Rabiner and Biing H. Juang. Fundamentals of Speech Recognition. Prentice Hall, 1993.
32. Douglas C. Montgomery, Lynwood A. Johnson and John S. Gardiner. Forecasting & Time Series Analysis. McGraw-Hill, Inc, 1990.
33. Bruce L. Bowerman and Richard T. O'Connell. Forecasting and Time Series. An Applied Approach. Duxbury Press, 1993.
34. C.W.J. Granger and Paul Newbold. Forecasting Economic Time Series. Academic Press, 1977.
35. Hans R. Schwarz and Norbert Köckler. Numerische Mathematik. Teuber, 2004.
36. Animesh Chaturvedi and Samanvaya Chandra. 'A Neural Stock Price Predictor using Quantitative Data'. In: iiWAS 2004 - The sixth International Conference on Information Integration-and Web-based Applications Services, 2004, Jakarta, Indonesia. Vol. 183. Austrian Computer Society, 2004.
37. Maria Kontaki, Apostolos N. Papadopoulos and Yannis Manolopoulos. 'Continuous Trend-Based Classification of Streaming Time Series.' In: ADBIS. 2005, pp. 294–308.
38. Depei Bao and Zehong Yang. 'Intelligent stock trading system by turning point confirming and probabilistic reasoning'. In: Expert Systems with Applications 34.1 (2008), pp. 620–627.
39. Tom M. Mitchell. Machine Learning. The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.

40. Stuart J. Russell and Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education, 2003.
41. Cristina Olaru and Louis Wehenkel. 'A complete fuzzy decision tree technique'. In: Fuzzy Sets Syst. 138 (2 2003), pp. 221–254.
42. Mohd Noor Md Sap and Rashid Hafeez Khokhar. 'Fuzzy Decision Tree for Data Mining of Time Series Stock Market Databases'. In: Methods of Microarray Data Analysis IV. 2004.
43. Ming Dong et al. 'Look-Ahead Based Fuzzy Decision Tree Induction'. In: IEEE-FS 9 (2001), pp. 461–468.
44. Marin Golub and Andrea Budin Posavec. 'Using Genetic Algorithms for Adapting Approximation Functions'. In: Proceedings of the 19th International Conference on Information Technology Interfaces ITI '97 (1997).
45. Gary Stein et al. 'Decision tree classifier for network intrusion detection with GA-based feature selection'. In: Proceedings of the 43rd annual Southeast regional conference - Volume 2. ACM-SE 43. Kennesaw, Georgia: ACM, 2005, pp. 136–141. isbn: 1-59593-059-0. doi: 10.1145/1167253.1167288.
46. J. Ross Quinlan. 'Induction of Decision Trees'. In: Mach. Learn 1986, pp. 81–106.
47. Mike Gerdes. 'PAHMIR Final Project Report'. 2009.
48. Loretta Grieshaber. Erfassung und Synchronisation von System-schwingungen bei unterschiedlichen Flugphasen. 2009.
49. Adam Kret. Statistische Analyse und Vorhersage von Zeitreihen zur vorausschauenden Wartung von Flugzeugkomponenten. 2011.
50. Василенком А.Е., Карпунина М.Н., Морозова С.Г., Еленский В.В. Державний нормативний акт охорони праці 5.130-1.06.98. –М.: ГосНИИГА, 1986 – 7 с.
51. НПАОП 63.23 – 1.0 – 98. Правила безпеки праці при технічному обслуговуванні і поточному ремонті авіаційної техніки. Введ 01.01.99.
52. НАПБ А.01.001 – 2014. Наказ Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні від 30.12.2014 року

53. Буриченко Л.А., Гуливець В.Д. Охорона праці в авіації. – К., НАУ. 2003 – 452 с.

54. Ісаєнко В.М., Криворотько В.М., Франчук Г.М. екологія та охорона навколишнього середовища. Дипломне проектування: Навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 192 с.

55. Николайкин Н.И., Старков Е.Ю. Актуальность изучения влияния авиационных происшествий на окружающую среду // Международная науч.-практич. конф. «Актуальные вопросы развития науки»: сб. статей. – Уфа: 2014. – 125-132 с.

56. Николайкина Н.Е., Николайкин Н.И., Матягина А.М. Промышленная экология. Инженерная защита биосферы от воздействия воздушного транспорта. М.: Академкнига, 2006. 240 с.

57. Экология: учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В. Н. Большаков, В. В. Качак, В. Г. Коберниченко и др.; под ред. Г. В. Тягунова, Ю. Г. Ярошенко. – Москва: Логос, 2014. – 504 с.

58. Яновский Л.С., Харин А.А., Шевченко И.В. Авиационная экология. Воздействие авиационных горюче-смазочных материалов на окружающую среду: Учеб. пособие. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 180 с.