

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: «Імітаційна модель формування технічного обслуговування авіаційної техніки»

Виконав: _____ **Б.О. Сівак**

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

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

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

охорона навколишнього середовища:
докт. с.-г. наук, проф. _____ **В.Д. Савицький**

Нормоконтролер: _____

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

БОГДАНА ОЛЕКСАНДРОВИЧА СІВАКА

1. Тема роботи: **«Імітаційна модель формування технічного обслуговування авіаційної техніки»** затверджено наказом ректора від 09 жовтня 2019 року № 2316/ст.
2. Термін виконання роботи: з 14 жовтня 2019 року по 29 грудня 2019 року та з 20 січня 2020 року по 09 лютого 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 відмов та несправностей, виявлених при технічному обслуговуванні і ремонті виробів авіаційної техніки	27.10.19 – 04.11.19	
Аналіз обсяг та види робіт при технічному обслуговуванні.	05.11.19 – 16.11.19	
Аналіз існуючих інформаційних технологій при формуванні та організації технічного обслуговування авіаційної техніки. Постановка задач дослідження	17.11.19 – 28.11.19	
Вибір та обґрунтування математичних моделей формування процесів технічного обслуговування	29.11.19 – 10.12.19	
Розробка етапів формування регламентів та моделі формування відмов	11.12.19 – 22.12.19	
Розробка імітаційної моделі формування процесів технічного обслуговування виробів авіаційної техніки	23.12.19 – 03.01.20	
Виконання окремих розділів роботи: охорона праці, охорона навколишнього середовища	04.01.20 – 15.01.20	
Оформлення пояснювальної записки, ілюстративного матеріалу. Попередній захист дипломної роботи	16.01.20 – 24.01.20	

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	Доцент, к.б.н., доцент Савицький В.Д.		

8. Дата видачі завдання: « _____ » _____ 2019 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: «Імітаційна модель формування технічного обслуговування авіаційної техніки»:

138 с., 15 рис., 9 табл., 42 джерела

Об'єкт дослідження – імітаційна модель формування прогностичного технічного обслуговування авіаційної техніки.

Предмет дослідження – імітаційні моделі прогностичного технічного обслуговування парку повітряних суден України.

Мета дипломної роботи – розробка методологічних принципів створення імітаційної моделі формування прогностичного технічного обслуговування авіаційної техніки на основі даних з технічного стану ПС.

Методи дослідження – для рішення поставлених задач застосовувалися елементи теорій прийняття рішень, функціонально-структурної та масового обслуговування; методи: математичного, комп'ютерного підтримання та імітаційного моделювання.

Практичне значення результатів дипломної роботи: підвищення ефективності використання авіаційної техніки та збереження льотної придатності повітряних суден за допомоги імітаційної моделі формування прогностичного технічного обслуговування.

Створена імітаційна модель прогностичного технічного обслуговування парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень дозволить розробляти практичні рекомендації з модернізації парку повітряних суден авіакомпаній та швидко і ефективно провести аналіз стану й прогноз використання їхнього парку.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ПРОГНОСТИЧНЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, АВІАЦІЙНА ТЕХНІКА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ.....	8
ВСТУП.....	10
1 ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ...	14
1.1 Огляд сучасних систем технічного обслуговування повітряних суден.....	14
1.2 Прогностичне технічне обслуговування.....	17
1.3 Аналіз моделювання, як інструменту дослідження складних систем.....	18
1.4 Оцінка імітаційного моделювання, як інструменту дослідження процесів технічного обслуговування виробів авіаційної техніки.....	22
1.5 Штучний інтелект як інструмент для створення імітаційної моделі технічного обслуговування повітряних суден.....	26
1.6 Експертні системи як складовий елемент імітаційної моделі технічного обслуговування.....	28
1.7 Постановка задачі та схема проведення досліджень.....	32
Висновок до розділу 1.....	34
2 ПРИНЦИПОВІ СХЕМИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТУ ТА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ.....	35
2.1 Основні положення імітаційного моделювання процесу технічної експлуатації парку повітряних суден.....	35
2.2 Проблема оцінки безпеки польоту.....	38
2.3 Застосування імітаційного моделювання для розв'язання задачі оцінки ризиків, пов'язаних з безпекою польотів.....	39
2.4 Модельовані фактори небезпеки.....	43
2.5 Формування моделі повітряної обстановки.....	44
2.6 Формування моделі технічних систем.....	47

2.7	Принципова схема експертної системи та порівняння її з паперовою системою.....	48
	Висновки до розділу 2.....	55
3	МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РОБІТ АВІАЦІЙНОГО ПЕРСОНАЛУ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ.....	56
3.1	Сучасні концепції вираховування людського фактору при технічному обслуговуванні виробів авіаційної техніки.....	56
3.2	Залежність безпеки польотів та ефективності використання повітряних суден від якості роботи авіаційного персоналу.....	60
3.3	Моделі та методи оцінювання якості робіт інженерно-технічного складу при технічному обслуговуванні виробів авіаційної техніки.....	67
3.4	Можливості CALS-технологій у забезпеченні процесу технічного обслуговування авіаційної техніки.....	74
	Висновок до розділу 3.....	82
4	ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМ ПРОГНОСТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ.....	83
4.1	Алгоритм і процедури регламентації процесів прогностичного технічного обслуговування повітряних суден.....	83
4.2	Імітаційні аналітичні моделі формування прогностичних поступових відмов виробів авіаційної техніки та контролю їх стану.....	88
4.3	Моделювання режимів контролю резервованих елементів.....	95
4.4	Імітаційна модель функціонування парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень.....	96
4.5	Математичне забезпечення.....	99
4.6	Програмне забезпечення.....	102
	Висновки до розділу 4.....	106

5	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	107
5.1	Небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час технічного обслуговування повітряного судна (ДНАОП 5.130-1.06.98, ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ).....	107
5.2	Технічні та організаційні заходи зі зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при обслуговуванні систем повітряного судна (ДНАОП 5.1.30-1.06-98).....	109
5.3	Пожежна безпека при технічному обслуговуванні систем повітряного судна (ДНАОП 5.1.30-1.06-98, НАПБ А.01.001-2014).....	110
5.4	Розрахунок заземлювання стенда при заправці паливом повітряних суден.....	113
5.5	Інструкція безпеки праці при виконанні робіт з установкою для технічного обслуговування систем повітряних суден.....	116
	Висновки до розділу 5.....	119
6	ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	120
6.1	Небезпечні фактори при обслуговуванні та експлуатації повітряного судна цивільної авіації.....	120
6.2	Вплив використання персонального комп'ютера на навколишнє середовище та способі зменшення впливу.....	124
6.3	Електромагнітне забруднення навколишнього середовища і шляхи захисту від нього.....	126
	Висновки до розділу 6.....	132
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	133
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	135
	ДОДАТОК А	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД	-	авіаційний двигун;
АП	-	авіаційна подія;
АТБ	-	авіаційно-технічна база;
АТ	-	авіаційна техніка;
АТС	-	авіаційна транспортна система;
БЗ	-	база знань;
БМО	-	базова безліч відносин;
БМП	-	базова безліч понять;
БП	-	безпека польотів;
ЕМП	-	електромагнітне поле;
ЕОМ	-	електронно-обчислювальна машина;
ЕП	-	експлуатаційний персонал;
ЕС	-	експертна система;
ЕСАН	-	експертна система аналізу причин несправності;
ЖЦ	-	життєвий цикл;
ІАС	-	інженерно авіаційна служба;
ІАЗ	-	інженерно-авіаційного забезпечення;
ІМ	-	імітаційне моделювання;
ІТ	-	інформаційні технології;
ІТС	-	інженерно-технічної служби;
ІУС	-	інформаційна управляюча система;
ЛП	-	льотна придатність;
ЛФ	-	людський фактор;
ОБП	-	оцінка безпеки польотів;
ОПР	-	організації повітряного руху;
ПКС	-	потенційна конфліктна ситуація;
ПММ	-	паливо-мастильні матеріали;

ПП	-	повітряний простір;
ПР	-	повітряний рух;
ПС	-	повітряне судно;
ПрТО	-	прогностичне технічне обслуговування;
РТО	-	регламент технічного обслуговування;
СМО	-	система масового обслуговування;
СУБД	-	система управління базою даних;
СУБП	-	системи управління безпекою польотів;
ТО	-	технічне обслуговування;
ТС	-	технічний стан;
УПР	-	управління повітряним рухом;
ЦА	-	цивільна авіація;
ЧПУ	-	числове програмне управління;
ШІ	-	штучний інтелект;
ІСАО	-	міжнародна організація цивільної авіації (International Civil Aviation Organization).

ВСТУП

Удосконалення системи організації та управління процесами технічного обслуговування (ТО) повітряних суден (ПС) є одним з основних напрямків підвищення ефективності роботи інженерно-авіаційної служби (ІАС) та якості ТО авіаційної техніки (АТ). Це обумовлено прискореним темпом зростання обсягів виконуваних ІАС робіт, зростаючою складністю авіаційної техніки і різноманіттям впровадження нових стратегій ТО та методів діагностування АТ, значним збільшенням потоків технічної і виробничо-економічної інформації, необхідної для управління виробництвом.

У 90-ті роки об'єми наукових досліджень, що проводилися з проблем організації технічного забезпечення, з причини недостатнього фінансування помітно знизилися. Без відчутної наукової підтримки питання організації інженерно-авіаційного забезпечення (ІАЗ), як основи технічного забезпечення та сфери діяльності інженерно-авіаційної служби після набуття Україною незалежності та протягом наступних 23 років уповільнило хід свого розвитку. Досвід застосування авіації у сучасних умовах показує, що показники ефективності заходів ІАЗ не покращуються.

Цьому є багато причин, деякі з них: система планування ІАЗ, яка була сформована у свій час, не відповідає сучасним реаліям та міжнародному досвіду використання цивільної авіації; недосконалість законодавчого та нормативно-правового регулювання діяльності суб'єктів авіаційної діяльності; відсутня дієва система запровадження шляхів зниження праце-витрат та вартості заходів ІАЗ; відсутність у багатьох керівників стимулів та можливостей впровадження прогресивних технологій і т.д. Все це негативно впливає на безпеку авіації та темпи розвитку авіаційної галузі в цілому.

Обсяг та характер завдань, які на сьогодні стоять перед цивільною авіацією (ЦА) України вимагають, не часткових поліпшень, а великих комплексних заходів, які б визначили подальший якісний стрибок в її розвитку. Значне ускладнення конструкцій виробів і систем АТ, збільшення виконуваних ними функцій,

автоматизація функціонування складних авіаційних систем, застосування більш навантажених режимів роботи виробів і ін. істотно загострило проблему забезпечення безпеки і регулярності польотів, рівень яких, в значній мірі, визначається якістю управління процесами підтримання льотної придатності виробів авіаційної техніки.

З розвитком нових технологій у життя увійшло таке поняття як моделювання. Моделювання – метод дослідження, що полягає у побудові та аналізі моделей-аналогів об'єктів дослідження. Моделювання використовується тоді, коли експерименти з реальними об'єктами неможливі або мають велику вартість. Маючи адекватну модель, можна за її допомогою проаналізувати реакцію об'єкта дослідження (етап аналізу), а після обрати (етап синтезу) та використати на практиці той варіант, що задовольняє поставленим вимогам.

В [1-3] досліджено питання моделювання процесів та їх застосування, розв'язано практичні задачі моделювання та наведено результати вирішення надскладних великих за обсягом задач, які реалізувати і прорахувати аналітично в реальному часі неможливо, занадто складно або недоцільно.

Методи, що діяли до недавнього часу, і засоби забезпечення та контролю надійності, у тому числі регламентовані стандартами, вичерпали себе, тому що на практиці не забезпечують необхідної надійності апаратури в умовах експлуатації. У зв'язку з цим, провідними фахівцями світу були сформульовані і реалізуються нові підходи до її забезпечення. Вони засновані на результатах досліджень фізики відмов і принципово нової ідеології забезпечення безвідмовності, яка містить в собі принципові зміни вимог до розробників і виробників із забезпечення якості та надійності виробів АТ, в основі яких лежить надійно-орієнтоване керування процесами проектування, виробництва та експлуатації.

Основними компонентами системи надійно-орієнтованого керування технологією ТО є наявність баз даних характерних несправностей виробів АТ, моделям деградації їх відмов із характерними дефектами; бази поточних даних характерних несправностей конкретних типів ПС. На підставі даних про поточний стан технологічного процесу ТО, рівня і характеру несправностей ПС повинні

створюватися в реальному масштабі часу конкретні рекомендації по керуванню процесом ТО з урахуванням необхідних показників якості робіт і надійності ПС. Зокрема, це можуть бути рекомендації з коригування міжопераційного контролю, номенклатури контрольованих параметрів, рекомендацій з коригування окремих технологічних операцій або введення додаткових діагностичних випробувань.

Характер задач, що можна вирішувати за допомогою системи надійно-орієнтованого керування, дозволяє ефективно використовувати їх при конструюванні, оцінці надійності і визначенні шляхів забезпечення надійності при експлуатації, тобто при вирішенні задач керування надійністю [4-7].

Існуючі методи планування заходів ІАЗ у вигляді мережевих графіків для складних комплексів робіт стають громіздкими та втрачають наглядність. Вони не пристосовані до математичного розрахунку й не враховують ймовірні випадкові відхилення у технологічних процесах, мають обмежені можливості у прогнозуванні проміжних результатів. Все це знижує можливості оптимізації заходів ІАЗ та ефективного управління цими заходами. У сучасних умовах прийняти всебічно обґрунтоване рішення, виходячи з особистого досвіду, інтуїції та застосовуючи елементарні математичні розрахунки, стало неможливим.

В таких умовах система ТО стає одним із головних факторів, що визначають ефективність збереження льотної придатності виробів АТ та безпеки польотів (БП) повітряних суден. Вдосконалення системи ТО, розробка й впровадження ефективних методів діагностування виробів АТ, зростання якості їх ТО здійснюється тим вдаліше, якщо вирішення даних задач базується на вивченні механізму відмови й несправностей, аналізу надійності виробів й оцінці технічного стану виробів АТ під час експлуатації, що можливо при застосуванні інструментів імітаційного моделювання (ІМ) прогностичного технічного обслуговування.

За даними останніх оглядів, сьогодні на ринку інформаційних технологій понад 150 програмних продуктів аналітичного типу, орієнтованих на імітаційне моделювання динамічних систем. Найвідоміші системи структурного та імітаційного моделювання: AnyLogic, Arena, Gpss World, Bizagi Modeler, Enterprise

Dynamic, Simio, Plant Simulation, Exdentsim, Simulink. У кожної з них є як переваги, так і недоліки, відмінності у функціональних можливостях, інтерфейсі, достовірності результатів моделювання, легкості опанування, наявності безкоштовних версій програми, наявності довідкової літератури та керівництва користувача різними мовами, кількості бібліотек, тощо.

Отже, в теперішній час імітаційне моделювання знаходить застосування у багатьох галузях, розробляються графічні інструменти для створення імітаційних моделей, впроваджуються потужні інструменти візуалізації імітаційних експериментів. Створюються нові спеціалізовані мови програмування (об'єктно-орієнтовані мови програмування Java, SIMAN, UML). Також продовжуються теоретичні дослідження у цій області, розвиток існуючих та створення нових методологій та стандартів. Це закономірно, оскільки імітаційне моделювання прогностичного ТО вже давно підтвердило свою ефективність у якості потужного інструменту для дослідження складних систем. За допомогою методів імітаційного моделювання прогностичного ТО можливо вирішувати задачі аналізу великих систем, таких як система ІАЗ, включаючи задачі планування, оцінки варіантів структури системи, ефективності різноманітних алгоритмів функціонування системи, впливу зміни різноманітних параметрів системи. Імітаційне моделювання може бути покладене також в основу структурного, алгоритмічного та параметричного синтезу ІАС, коли треба створити систему із заданими характеристиками при визначених обмеженнях, яка є оптимальною по деяким критеріям оцінки ефективності.

Предметним змістом функцій інженерно-технічної служби (ІТС) ЦА являється здійснення сукупності заходів з планування, організації й технології проведення робіт з ТО АТ, розрахунку й плануванню оптимальних комплексів запасних частин, інструментів та засобів контролю, розрахунку необхідного складу й чисельності технічного обслуговуючого персоналу, збору та обробці даних з якості процесів ТО та рішенням інших організаційно-технічних задач, що відносяться до експлуатації та технічного обслуговування АТ і складають актуальність даного дослідження.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Огляд сучасних систем технічного обслуговування повітряних суден

На сьогоднішній день цивільна авіація це авіаційна транспортна система (АТС), призначена для здійснення перевезень людей, вантажів, виконання спеціальних завдань та іншої льотної роботи. Ця система є сукупністю спільно діючих повітряних суден, комплексу наземних засобів з підготовки та забезпечення польотів, особового складу, зайнятого експлуатацією та ремонтом ПС і наземних засобів, і системи управління процесом експлуатації [4, 5]. Функціонування АТС забезпечується взаємодією кількох самостійних систем: експлуатації; управління повітряним рухом; комерційної експлуатації; аеродромної експлуатації.

Головною частиною АТС є система технічного обслуговування. Метою цієї системи є управління технічним станом (ТС) ПС протягом його терміну служби або ресурсу для забезпечення підтримки льотної придатності (ЛП) ПС з мінімальними витратами праці і коштів на виконання ТО [6].

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

Ще недавно, весь комплекс підтримання льотної придатності ґрунтувався на використанні паперової документації та обміну інформації на її основі (паперової технології) який сьогодні неефективний: виникають труднощі при пошуку необхідних відомостей; значний обсяг робіт із внесенням змін;

інформація дублюється; існують помилки, для усунення яких потрібен час. Інженерний, керуючий, а також обслуговуючий персонал повинен частину свого робочого часу витратити на складання численних паперових документів (розпорядчих, звітних, облікових, технологічних тощо). В результаті різко знижується ефективність усіх видів діяльності, пов'язаної з ТО авіаційної техніки АТ.

Авіаційно-технічний інститут ВПС США виконав дослідження проблем ТО. Опитування 314 спеціалістів показало, що більш за все проблеми у технічного складу пов'язані із методичним забезпеченням, умовами праці, забезпеченістю обладнанням та інструментом (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні проблеми ТО

Найменування проблем	Негативні оцінки, %
Технічні інструкції	87
Настанови та форми обліку	97
Усні вказівки	96
Процедури отримання предметів постачання	98
Умови праці (температура, освітлення, шуми)	96
Стиль контролю та роботи начальників	91
Напруженість, яка пов'язана з обмеженими термінами виконання робіт по ТО	90
Напруженість, яка пов'язана із тривалістю робочого дня	88
Достатність робочої сили	97
Безпека при виконанні робіт	90

Зараз, завдяки широкому впровадженню сучасної обчислювальної техніки, на базі персональних комп'ютерів, стало можливим скоротити і, в подальшому, повністю замінити паперову технологію управління експлуатацією АТ на електронну інформаційно технологію (ІТ), а значить, введення електронного обміну інформацією. Інформація на сьогоднішній день є одним з основних чинників, що забезпечують ефективне управління складними об'єктами, зокрема в

системі ТО. Тому виникає актуальне завдання розробки і впровадження сучасних методів побудови інформаційних управляючих систем з технічного обслуговування АТ і побудови оптимальної моделі взаємодії суб'єктів АТС. При цьому використовуються електронні бази даних, які служать для накопичення, обробки та видачі інформації, необхідної для прийняття оптимального рішення.

Одним з найвідомішим прикладом інформаційного забезпечення процесу підтримання льотної придатності АТ є програма AMOS яка оптимізувати, контролювати і планувати ТО ПС таким чином, щоб мінімізувати час простою ПС і підвищити регулярність польотів. Ця програма дозволяє здійснювати безперервний контроль над всіма процесами ТО кожного ПС авіакомпанії, стан постачання запасних частин і агрегатів. Програмне забезпечення включає базу даних для зберігання всіх необхідних технічних даних і статусів ПС, їх вузлів і агрегатів, історії експлуатації і обслуговування кожного ПС.

В даний час в області ІТ з'явилися нові тенденції, що вимагають перегляду в підходах щодо створення ІУС для експлуатаційних підприємств. По-перше, щоб ІУС експлуатації ПС були інтегровані з ІУС, що використовуються на етапах розробки і виробництва ПС. По-друге, при створенні ІКС доцільно використовувати перевірені «комерційні» програмні рішення, адаптовані і до різних типів ПС, і до міжнародної нормативної бази. По-третє, інформаційне забезпечення повинно більшою мірою сприяти вирішенню технічних завдань експлуатації. При цьому 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 обслуговуючого і ремонтного персоналу і його швидке перенавчання;
- розвитку автоматизованих засобів діагностики і контролю.

1.2 Прогностичне технічне обслуговування

Прогностичне технічне обслуговування (ПрТО) це метод прогнозування технічного обслуговування розроблені для того, щоб допомогти визначити стан обладнання, що працює в експлуатації, щоб, оцінити, коли слід проводити ТО. Такий підхід обіцяє раціональне використання коштів на звичайному або часовому профілактичному обслуговуванні, оскільки завдання виконуються лише за наявності факту майбутньої відмови компонента. Таким чином, воно розглядається як ТО, яке здійснюється на основі умов, як це пропонується оцінками стану деградації параметрів компонента.

Основна перевага прогностичного ТО - дозволити зручне планування коригувального обслуговування та запобігти несподіваним виходу з ладу обладнання. Ключовим моментами є правильний термін експлуатації обладнання, підвищена безпека польоту, менша кількість відмов з негативним впливом на навколишнє середовище та оптимізована робота з запасними частинами.

Прогностичне ТО відрізняється від попереджувального ТО тим, що для прогнозування необхідності технічного обслуговування, а не для середнього або очікуваного періоду експлуатації, спирається на фактичний стан обладнання.

Деякі основні компоненти, необхідні для впровадження прогностичного обслуговування, - це збирання та попередня обробка даних, раннє виявлення несправностей, виявлення несправностей, прогнозування часу до відмов, планування обслуговування та оптимізація ресурсів.

Прогностичне ТО оцінює стан обладнання, здійснюючи періодичний або постійний моніторинг стану обладнання. Кінцевою метою підходу є проведення ТО в запланований момент часу, коли діяльність з ТО є найбільш економічною і до того, як обладнання втратить працездатність в межах порогової кількості. Це призводить до скорочення незапланованих витрат на простої через відмову. При затримки вильоту більш ніж на 8 годин, крім втрати доходу та витрат на компоненти, необхідно забезпечити пасажирів проживання в готелі, що ще більше збільшує витрати. Це на відміну від ТО, що залежить від часу та / або

експлуатації, коли обладнання оновлюється, потребує воно чи ні. Обслуговування на основі часу є трудомістким, неефективним для виявлення проблем, які виникають між запланованими інспекціями, і тому не є економічно ефективним. Основна ідея полягає в перетворенні традиційної практики технічного обслуговування «виправити і виправити» на підхід «передбачити і запобігти».

Для цього в даній роботі застосовується імітаційне моделювання, що дозволить створити процес отримання даних для їх наступного аналізу та передбачення майбутніх ситуацій, та штучний інтелект як інструмент для аналізу отриманих даних.

1.3 Аналіз моделювання, як інструменту дослідження складних систем

З розвитком нових технологій у життя увійшло таке поняття як моделювання. Моделювання – метод дослідження, що полягає у побудові та аналізі моделей-аналогів об'єктів дослідження. Моделювання використовується тоді, коли експерименти з реальними об'єктами неможливі або мають велику вартість. Маючи адекватну модель, можна за її допомогою проаналізувати реакцію об'єкта дослідження (етап аналізу), а після обрати (етап синтезу) та використати на практиці той варіант, що задовольняє поставленим вимогам.

Головною відмінністю моделювання від інших методів дослідження об'єктів та систем є можливість їх оптимізації перед їх реалізацією [10]. Тому на сьогодні, загально визнаним є те, що оптимальне вирішення можна прийняти у більшості випадків тільки на основі аналізу результатів моделювання та оцінки ефективності дій інженерно авіаційної служби авіаційного підрозділу або її складових.

Застосування сучасних електронно-обчислювальних машин прискорює процес вирішення задач з удосконалення системи інженерно авіаційне забезпечення. Для дослідження характеристик процесу функціонування будь-якої системи використовуючи ЕОМ, повинна бути проведена формалізація цього

процесу, тобто побудована математична модель. Математичні моделі поділяють на аналітичні та імітаційні.

Аналітичні моделі являють собою рівняння або системи рівнянь, що записані у вигляді алгебраїчних, інтегральних, диференціальних співвідношень. Даний тип моделей зазвичай застосовують для опису фундаментальних властивостей об'єктів, оскільки фундамент простий за своєю сутністю. Складні об'єкти рідко вдається описати аналітично. Тому аналітичне моделювання так і не стало практичним інструментом дослідження процесу функціонування складних систем, оскільки аналітичні моделі вийшли доволі грубими та недосконалими для їх ефективного застосування [10].

Необхідність врахування стохастичних властивостей системи ІАЗ, наявності кореляційних зв'язків між великою кількістю змінних та параметрів, що характеризують процеси у системі ІАЗ, призводить до побудови складних аналітичних моделей, які не можуть бути застосовані в практиці дослідження таких систем аналітичним методом. Моделювання організації ІАЗ як динамічної системи являє собою приклад складно формалізованої, з точки зору математики, задачі. Дії керівника з управління організацією ІАЗ як динамічної системи потребує постійного аналізу різноманітних варіантів можливих управлінських рішень.

Мінімізація витрат ресурсів, оптимізація матеріально-технічної та кадрової бази у відповідності з параметрами, що характеризують якість заходів ІАЗ – це далеко не повний перелік нагальних задач, які вирішує керівник. Експериментувати у житті, застосовуючи різноманітні управлінські рішення та вивчати результати експерименту, неефективно та на практиці не завжди можливо [11]. Реальні об'єкти моделювання системи ІАЗ мають нескінчену множину властивостей та характеризується нескінченною множиною зв'язків як всередині об'єкта, так само і ззовні його (зв'язки з іншими об'єктами та навколишнім середовищем).

Перехід до відповідних моделей є найбільш складним та важливим етапом дослідження. Загальними вимогами, що висуваються до моделі об'єктів, є: достатня точність, простота та стандартна форма [12].

Забезпечити достатню точність моделі – це означає врахувати підчас ідеалізації реального об'єкта усі суттєві властивості та зв'язки, відволікаючись від другорядних, несуттєвих властивостей та зв'язків. Представляючи реальний об'єкт з достатньою точністю, модель у той самий час повинна бути за можливістю простіше, оскільки подальша робота з складною моделлю не тільки ускладнена, але може виявитися практично неможливою.

Суперечність цих вимог часто змушує припуститися точністю в інтересах простоти, але цей компроміс припустимий тільки у тих межах, при яких модель відображає суттєві властивості реального об'єкта. Розробка методів спрощення реальних об'єктів і систем з метою побудови найбільш простих моделей є однією з центральних задач будь-якої прикладної області. При моделюванні реальних об'єктів доцільно орієнтуватися на моделі стандартного вигляду, які забезпечені відповідним апаратом [12].

Альтернативою аналітичним моделям є імітаційне моделювання. Це метод, що дозволяє будувати моделі організаційних структур. Основні відмінності імітаційних моделей від аналітичних полягають у тому, що замість аналітичного опису взаємозв'язків між входами та виходами системи, яка досліджується, будують алгоритм, що відображає послідовність розвитку процесів всередині об'єкта дослідження, а після аналізують поведінку об'єкта.

Завдяки імітаційній моделі можна отримати динаміку процесів, що відбуваються всередині моделі, неначе це було у реальності. При імітаційному моделюванні модель за структурою подібна об'єкту, відтворює процес функціонування у часі зі збереженням складових його елементарних явищ та подій. Імітаційні моделі будуються для пошуку оптимального рішення в умовах обмежених ресурсів, коли інші математичні моделі виявляються дуже складними. В загальному випадку під імітацією розуміють процес проведення на ЕОМ експериментів з математичними моделями реального об'єкту.

Імітаційні моделі завжди динамічні – це дозволяє досліджувати процес ІАЗ як процес, який розвивається за визначеною траєкторією протягом деякого періоду модельного часу, що дає підстави передбачати майбутні стани, тенденції з урахуванням їх взаємодії та впливу факторів зовнішнього середовища в умовах невизначеності. Імітаційне моделювання є важливою інструментальною підтримкою аналізу діяльності ІАС в усіх аспектах (технологічному, економічному, організаційному тощо), сприяє побачити «вузькі місця» та передбачити їх появу.

Аналізуючи існуючий, з 2000 року і до сьогодні, інструментарій імітаційного моделювання, можна зробити висновок, що для моделювання системи управління процесами ТО, як динамічної системи, можна використовувати методи та підходи імітаційного моделювання [13-16].

За даними останніх оглядів, сьогодні на ринку інформаційних технологій понад 150 програмних продуктів аналітичного типу, орієнтованих на імітаційне моделювання динамічних систем. Найвідоміші системи структурного та імітаційного моделювання: AnyLogic, Arena, Gpss World, Bizagi Modeler, Enterprise Dynamic, Simio, Plant Simulation, Exdentsim, Simulink. У кожній з них є як переваги, так і недоліки, відмінності у функціональних можливостях, інтерфейсі, достовірності результатів моделювання, легкості опанування, наявності безкоштовних версій програми, наявності довідкової літератури та керівництва користувача різними мовами, кількості бібліотек, тощо.

Отже, в теперішній час імітаційне моделювання знаходить застосування у багатьох галузях, розробляються графічні інструменти для створення імітаційних моделей, впроваджуються потужні інструменти візуалізації імітаційних експериментів.

Створюються нові спеціалізовані мови програмування (об'єктно-орієнтовані мови програмування Java, SIMAN, UML). Також продовжуються теоретичні дослідження у цій області, розвиток існуючих та створення нових методологій та стандартів. Це закономірно, оскільки ІМ вже давно підтвердило свою ефективність у якості потужного інструменту для

дослідження складних систем. За допомогою методів імітаційного моделювання можливо вирішувати задачі аналізу великих систем, таких як система ІАЗ, включаючи задачі планування, оцінки варіантів структури системи, ефективності різноманітних алгоритмів функціонування системи, впливу зміни різноманітних параметрів системи.

Імітаційне моделювання може бути покладене також в основу структурного, алгоритмічного та параметричного синтезу ІАС, коли треба створити систему із заданими характеристиками при визначених обмеженнях, яка є оптимальною по деяким критеріям оцінки ефективності.

У сучасному світі системи імітаційного моделювання забезпечують комплексний аналіз, реконструкцію та прогноз стану систем масового обслуговування. Ці системи пройшли достатню практичну перевірку та показали свою перевагу.

Застосовуючи системи ІМ, можна описати структуру ІАС не застосовуючи формул та суворих математичних залежностей. Імітаційне моделювання дозволить визначити та усунути проблеми при виконанні заходів ІАЗ без значних фінансових та часових витрат та підвищити їх ефективність. Розробка імітаційної моделі є потужним науково-прикладним засобом для вирішення задач, пов'язаних з підвищенням ефективності роботи ІАС при підготовці ПС до польоту, а значить сприятиме підвищенню ефективності використання виробів АТ та безпеці польотів.

1.4 Оцінка імітаційного моделювання, як інструменту дослідження процесів технічного обслуговування виробів авіаційної техніки

Сьогодні, для оптимізації процесів технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, найпотужніший інструмент, який дозволяє досить ефективно вирішувати задачі з підтримання льотної придатності ПС є імітаційне моделювання. Важливу роль, при цьому, має зручність та простота математичного

апарату, можливість програмної реалізації моделюючих алгоритмів, адекватність математичних моделей реальним процесам та економічно вигідно.

Імітаційне моделювання - це різновид математичного моделювання, в якому опис моделі задається в вигляді алгоритмів поведінки і взаємозв'язку елементів системи, що моделюється. Використовувані алгоритми дозволяють імітувати як поведінку елементів системи, так і всієї системи в цілому, а також визначати необхідні параметри функціонування системи. Стосовно дослідження складних систем, зокрема, системи технічного обслуговування, доцільно буде використання динамічних моделей.

Динамічні моделі імітують поведінку системи в часі і дозволяють досліджувати роботу системи в заданому часовому діапазоні або прогнозувати її роботу в майбутньому. У таких моделях використовуються поняття подія, процес, активність. Подія - це зміна стану системи, причому подія відбувається миттєво. У проміжку між двома подіями модель залишається незмінною. Процес - це послідовність логічно або технологічно пов'язаних єдиною метою активностей, а активність - це елементарна робота з перекладу системи з одного стану в інший. Активність починається і завершується подією.

В імітаційних динамічних моделях використовується п'ять підходів до її опису (концепцій):

- перегляд активностей. Він дозволяє визначити реакцію системи на надходження команд, виникнення потреби в інформаційних або матеріальних ресурсах. Активність характеризується часом виконання і споживаними ресурсами. Кожен елемент системи має певний набір активностей для реакції на певні дії. В ході їх прояву складаються картина функціонування системи, що досягаються показники і необхідні для цього ресурси. Цей підхід найбільш близький до об'єктно-орієнтованого підходу;

- реалізація подій. Ці події є перехід елемента або в цілому системи з одного стану в інший. Події характеризуються умовами виникнення і допустимими реакціями елемента або системи, для якого відбулося це подія. Події виникають в

системі за певними законами і викликають в якості реакції виконання в ній різних процесів;

- обслуговування транзактов - абстрактних понять елементів модельованої системи. Транзакти можуть відображати реальні об'єкти або об'єкти, введені в модель для виконання будь-яких дій. Це, наприклад, лічильники часу - таймери. З кожним типом транзакта пов'язана своя логічна схема операцій, що задає умовну або безумовну послідовність операцій, що виконуються з транзактом даного типу. Така схема називається сегментом. Операція характеризується часом виконання, яке може бути детермінованим або стохастичним. Таким чином, стану транзакта визначаються операціями, з якими пов'язаний транзакт;

- правління агрегатами. Воно передбачає опис модулів моделі за уніфікованою структурою. Отриманий набір агрегатів відображає поведінку елементів і їх взаємодію в системі;

- виконання процесів. Процес характеризується тривалістю виконання, результатом, необхідними ресурсами, умовами запуску і зупинки. Процес в системі може бути активний (виконуватися) або перебувати в очікуванні.

Практично будь-яка система може бути описана одним з п'яти перерахованих підходів. Залежно від особливостей системи це вплине на трудомісткість моделювання, витрати часу і обсяг створюваної моделі.

Фундаментальним поняттям імітаційного моделювання є модельне час і управління ним. Модельне час T_s - це уявлення фізичного часу T_p в моделі. Так, роботу підприємства в модельному часу можна уявити відрізком часу від 8 до 17 год., за одиницю модельного часу h можна прийняти часовий інтервал в 1 хв., 10 хв., 30 хв., 1 ч і т. д.

Тривалість роботи моделі при її роботі (прогоні) на комп'ютері називається процесорним часом. Так, наприклад, моделювання підприємства може зайняти 1 ч роботи на комп'ютері. Іноді (при використанні тренажерів) просування модельного часу має бути синхронізоване з процесорним. Таке моделювання називають моделюванням в реальному часі. Для управління модельним часом в

моделі використовується спеціальний лічильник модельного часу - таймер. Таймер може управлятися двома способами.

При розробці імітаційної моделі послідовно виконуються наступні етапи роботи:

- 1) формулювання завдання, вибір цільової функції і обмежень системи;
- 2) формалізація опису системи, визначення характеристик елементів і взаємозалежностей;
- 3) підготовка вихідних даних для моделі, включаючи контрольний приклад з відомими результатами для верифікації роботи моделі;
- 4) розробка моделі та її реалізація у вигляді комп'ютерної програми - трансляція моделі;
- 5) планування машинного експерименту для визначення числа прогонів моделі;
- 6) проведення моделювання;
- 7) аналіз отриманих результатів, їх інтерпретація, документування та реалізація в досліджуваній системі.

При імітаційному моделюванні використовується різна математична основа. Це марківські процеси, диференціальні рівняння, кінцеві і імовірнісні автомати і т. Д. Істотна частина імітаційних моделей на транспорті будується на основі теорії масового обслуговування. Перші праці з теорії масового обслуговування належать датському вченому А. К. Ерланген, які були опубліковані в 1909 р і виконані на прикладі проектування телефонних мереж.

За допомогою теорії масового обслуговування вирішуються завдання організації і планування процесів, в яких, з одного боку, постійно в випадкові моменти часу виникає вимога виконання будь-яких робіт, а з іншого - постійно відбувається задоволення цих вимог, час виконання яких є також випадковою величиною. Перед теорією стоїть завдання досить повно описати суть явищ, що відбуваються і встановити з достатньою для практики точністю кількісну зв'язок між числом постів обслуговування, характеристиками вхідного потоку вимог (заявок) і якістю обслуговування. При цьому під якістю обслуговування

розуміється, наскільки своєчасно проведено обслуговування надійшли в систему вимог.

Науковий зміст завдання інформаційного забезпечення процесів підтримання льотної придатності полягає в розробці математичних моделей, що формалізують процеси 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 технічної експлуатації АТ.

Дана глава і присвячена побудові імітаційних моделей, що включають безліч локальних моделей, опис алгоритмічних процедур, вибір засобів і методів моделювання, і проведення імітаційних досліджень.

1.5 Штучний інтелект як інструмент для створення імітаційної моделі технічного обслуговування повітряних суден

Штучний інтелект (ШІ) проходив три етапи протягом всієї історії ШІ, в 1950-1970 рр. - це так звана ера НМ, 1980 - 2000 роки епохи машинного навчання і глибокого навчання в наші дні.

Нейронна мережа - це форма машинного навчання, яка складається з взаємопов'язаних одиниць (як нейронів), які обробляють інформацію, відповідаючи на зовнішні входи, передаючи інформацію між кожним блоком. Процес вимагає декількох проходів у даних, щоб знайти з'єднання та отримати значення з неозначених даних.

Машинне навчання автоматизує побудову аналітичної моделі та використовує різні методи, такі як НМ, операційні дослідження, статистика та фізика, щоб знайти нерозкриті відомості про дані, без рішучого показу, де шукати чи чого досягти. Глибоке навчання майже схоже на машинне навчання, але на більш глибокому рівні. Мета глибокого навчання - створити нервову мережу за

допомогою алгоритму, який може вирішити задані їй проблеми. Він використовується, зокрема, для вирішення проблем, коли рішення традиційних методів вимагали б дуже складних правил. 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 1.2.

Таблиця 1.2 – Що машинне навчання може робити

Вхідна інформація	Задача	Застосування
Картина	Чи є тут людське лице?	Розмітка фотографій
Заявка на позику	Чи зможуть вони погасити позику?	Схвалення позики
Оголошення і інформація про користувача	Чи користувач прочитав оголошення?	Оголошення націлене на конкретного користувача
Аудіо кліпи	Переклад аудіо кліпів	Розпізнавання мови
Речення на англійській мові	Перекласти на французьку мову	Переклад мов
Сенсори двигуна ПС	Чи є поломка?	Попереджувальне обслуговування
Камера і інше сенсори автомобіля	Визначення позиції інших машин	Автопілот який керує автомобілем

Алгоритм - покроковий метод вирішення задач. Він регулярно використовується для обробки даних, обчислення та інших математичних та комп'ютерних операцій. Це точна серія інструкцій щодо проведення операції або вирішення проблеми. Алгоритми здатні легко і швидко виконувати різні завдання, коли в систему вводяться відповідні дані.

1.6 Експертні системи як складовий елемент імітаційної моделі технічного обслуговування

Експертні системи (ЕС) - це комп'ютерна система, призначена для імітації поведінки людини, яка є експертом у вузькій галузі. ЕС базуються на методах ШІ, які використовують знання про певну область і методи міркування для виконання діяльності, яка зазвичай виконується людськими експертами. Вони створюються шляхом спочатку збору знань експерта, а потім перекладу та зберігання цих знань у форматі, читаному на комп'ютері. ЕС наслідують процес міркування людського експерта, іноді міркуючи з неточної та непевної інформації. Вони вирішують реальні, складні проблеми, використовуючи комп'ютерну модель експертного людського міркування [3]. Ці системи забезпечують доступність знань експертів для багатьох.

Одним з ключових елементів роботи експертної є виявлення симптомів відмови. Під виявленням симптомів розуміється виявлення відхилення параметрів роботи агрегату за допустимі норми. Симптом відмови - це якісний або кількісний опис різновидів відмови, що є основою для діагностики та дедукції, а також є знанням нижнього шару. Симптоми несправності визначаються як нечіткі множини, потім визначається функція належності нечіткого набору на основі статистичних характеристик або розподілу параметрів польоту. Через наближення функції та пам'ять у штучній НМ система використовує мережу НМ для достатньої підготовки системи з вибірковими даними для отримання картини польоту з параметрами при яких ПС в справному стані (у певному діапазоні помилок) [8]. Ця модель буде зберігатися у сховищі діагностики несправностей експертної системи. Тоді можуть з'явитися симптоми відмови.

Аналіз дерева несправностей. Після отримання симптомів несправності необхідно встановити прямий зв'язок між окремими симптомами несправності. Система аналізу несправностей може перетворити знання в сховищі діагностики несправностей експертної системи в дерево несправностей. У дереві

несправностей стану системи можна описати поєднанням багатьох подій. Ці події можна встановити за допомогою воріт "І" та "АБО".

Встановлення дерева несправностей - це процес аналізу та розуміння процесу в деталях. Після встановлення системного дерева несправностей його можна використовувати в аналізі, в основному якісному та кількісному аналізі. Якісний аналіз - це пошук усіх найпопулярніших подій, які можуть призвести до несправності. Цей процес - формування дерева розломів. Але несправність може бути спричинена безліччю причин. Потрібен кількісний аналіз дерева несправностей, щоб швидко та ефективно знайти причину несправності. Кількісний аналіз полягає в тому, щоб досягти ефекту від мінімальних наборів скорочень до найпопулярніших подій. Кожен набір мінімальних скорочень має різну важливість, так що ми можемо відповідно до їх важливості домовлятися. Таким чином, на основі аналізу дерева несправностей отримується експертна система діагностики помилок, що є позитивним процесом вирахування [9].

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 та інтегруючи кінцеві події в мінімальний набір зрізів та умови в правилах, таким чином, експертна система, заснована на процесі дедукції знань, стає вирахуванням, заснованим на мінімальних наборах дерев відмов. Представляючи подію вузлів дерева несправностей як правило висновку, також як умову події батьківського вузла, і представляючи подію свого дочірнього вузла як правило умови. Інформація про вузол також 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 вирахування, читаючи відповідну інформацію для того, це пояснило б міркування машини.

Представляючи подію вузлів дерева несправностей як правило висновку, також як умову події батьківського вузла, і представляючи подію свого дочірнього вузла як правило умови. Інформація про вузол також 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 вирахування, читаючи відповідну інформацію для того, це пояснило б міркування машини [10].

Двигун висновку. Двигун висновку є однією з експертних систем для обробки всього випуску основного модуля, який відповідає симптомам помилок користувача, використовуючи знання, що зберігаються в базі знань, за методом міркування, щоб рухатися вперед крок за кроком до появи проблеми вирішення. Позитивні міркування, також відомі як колишня ланцюжка міркувань, основною ідеєю якої є відома інформація з польоту, вибирають відповідні знання та поступово вирішують проблему, є більш підходящим для цього типу проблем з ПС, у яких ціль не зрозуміла і має більший "простір рішення".

Підсумовуючи це, система автоматично позначає введений симптом несправності, щоб знайти відповідну верхню подію та генерувати дерево помилок верхньої події, вирішити мінімальні набори вирізання відповідно до міркувань наперед, генерувати тест відповідно до важливості принципу мінімальних наборів зрізів, пропонує оператору тестувати пов'язані з подіями дочірні вузли та зберігати результати тесту та знання у звичайному порівнянні. Якщо подія налаштована, симптом помилки може спочатку бути ідентифікований компонентом, і зробити висновок про явище помилки. Потім повторюється ця операція, поки не буде знайдена причина відмови.

Відповідну проблему визначає користувач через інтерфейс. Потім намагається знайти рішення з питанням та відповіддю в інтерактивному режимі. У цей момент використовується експертний системний двигун висновку. Поки розробляється експертний системний двигун висновку, програма кліпів приймається за орієнтир. Відповідно, структура бази даних, в якій кліпи зберігають запитання, та логіка допиту адаптуються до системи. Залежно від проблеми, визначеної користувачем, система формує структуру дерева для користувача, і залежно від відповідей на запитання, система розгалужується на 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 спочатку експертної системи або відгуків користувачів щодо проблем, які неможливо вирішити за допомогою експертної системи [11].

Основні деталі, необхідні для введення користувачем через систему для того, щоб почати процедуру вирішення проблеми, такі: виробник ПС, тип ПС, виробник двигуна, тип двигуна та визначення проблеми. Процес створення тесту для виявлення несправностей і пошук несправності показаний на рисунку 1.1.

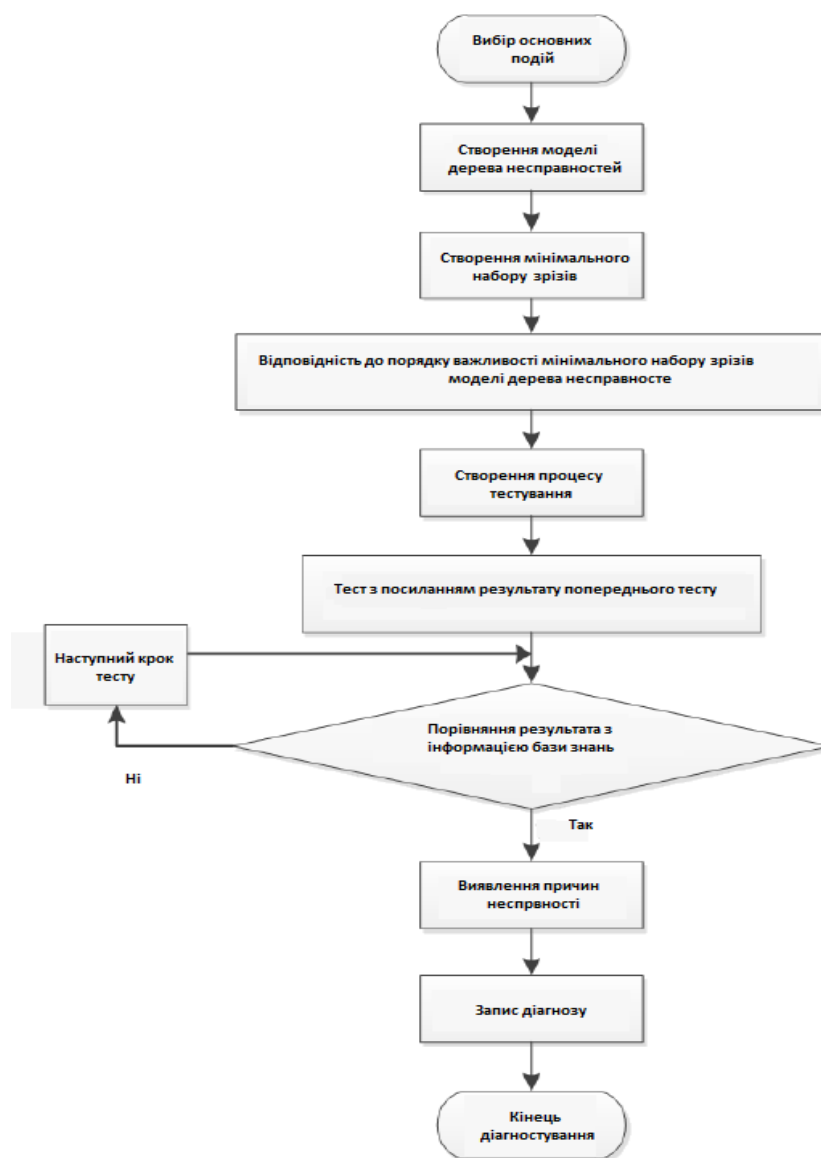


Рисунок 1.1 – Процес створення тесту для виявлення несправностей і пошук несправності

1.7 Постановка задачі та схема проведення досліджень

Мета та задачі дослідження.

Мета досліджень – підвищення ефективності використання авіаційної техніки та підтримання льотної придатності повітряних суден за допомоги імітаційної моделі формування прогностичного технічного обслуговування.

Для реалізації поставленої мети в роботі поставлені наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан парку повітряних суден та пов'язаний з цим об'єм робіт з технічного обслуговування;
- провести аналіз існуючих сучасних інформаційних технологій для створення імітаційної моделі ПрТО ПС;
- розробити імітаційну модель ПрТО функціонування парку ПС, що дозволяє прогнозувати майбутні наслідки прийнятих рішень;
- розробити методику формування комплексу робіт з технічного обслуговування авіаційної техніки.

Об'єкт дослідження – модель системи підтримання льотної придатності цивільних повітряних суден.

Предмет дослідження – процес управління технічним обслуговуванням виробів авіаційної техніки в рамках системи підтримання льотної придатності цивільних повітряних суден.

Методи дослідження.

Для розв'язання поставлених задач застосовувалися елементи теорій прийняття рішень, функціонально-структурної та масового обслуговування; методи: математичного та комп'ютерного моделювання, відповідно до схеми досліджень, що надана на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Схема досліджень

Висновок до розділу 1

1. В розділі оцінено сучасну систему ТО ПС та знайдені суттєві недоліки які впливають на якість та витрату часу на проведення ТО.

2. Визначено термін прогностичного технічного обслуговування, а також проведено порівняння з сучасною системою ТО в результаті якого було зроблено висновок, що перевагами прогностичного ТО є підвищення якості за рахунок зменшення впливу людського фактору, прогнозування майбутніх відмов та збільшення кількості отримуваної інформації під час експлуатації ПС.

3. Проведено теоретичний аналіз моделювання для визначення можливості і переваг використання імітаційної моделі для створення прогностичного ТО.

4. Розглянуто можливість використання ШІ як інструмента для аналізу процесів ТО.

5. Оцінено можливість використання експертної системи для створення можливості прогнозувати можливі наслідки подій в реальному часі під час експлуатації ПС.

РОЗДІЛ 2

ПРИНЦИПОВІ СХЕМИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТУ ТА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Основні положення імітаційного моделювання процесу технічної експлуатації парку повітряних суден

Створення в Україні національної системи повітряного транспорту, вихід України на міжнародний ринок авіаційної техніки та послуг висунув ряд взаємозв'язаних проблем функціонування авіаційного транспорту, при вирішенні яких необхідно враховувати віддалені наслідки прийнятих рішень.

До числа таких проблем відносяться:

1. Прогнозування використання та технічної експлуатації існуючого парку ПС, включаючи:

- а) прогнозування динаміки і списання парку по виробленню призначених ресурсів і морального зносу при різних варіантах попиту на авіаперевезення;
- б) прогнозування потреби і доцільності в продовженні ресурсів;
- в) прогнозування динаміки потреби в ремонтах планера, двигунів, основних комплектуючих виробів при різних варіантах попиту на авіаперевезення, динаміки призначених ресурсів і вартості ремонту;
- г) прогнозування динаміки розвитку мережі підприємств по ТО, що забезпечують їх рівномірне завантаження і відсутність черг в очікуванні обслуговування.
- ґ) прогнозування потреби в двигунах та інших дорогих виробів ПС для закінчення експлуатації існуючого парку ПС при різних варіантах динаміки призначених і міжремонтних ресурсів планера і двигунів, вартості ремонтів, наявності оборотного фонду.

2. Раціональний вибір типів повітряних суден, що закуповуються Україною в залежності від їх техніко-економічних і експлуатаційних характеристик для задоволення попиту на авіап перевезення, обґрунтування обсягу парку ПС за типами з урахуванням структури авіаліній [11,13].

3. Раціональний вибір номенклатури типів ПС, експлуатованої України з урахуванням структури авіаліній.

4. Вибір оптимального варіанта контрактів на поставку нових повітряних суден з урахуванням пропонованого сервісного забезпечення, включаючи і управління запасами, взаєморозрахунків.

5. Вибір оптимального варіанта розвитку підприємств з ТО для задоволення попиту авіації України на технічне обслуговування авіатехніки.

Вирішення цих взаємопов'язаних завдань із застосуванням сучасних концепцій управління складними економічними системами можливо на основі застосування імітаційних моделей, пов'язаних з реальною базою даних, що дозволяє розраховувати віддалені наслідки прийнятих рішень.

Імітаційна модель призначена для Управління Департаменту авіаційного транспорту України з метою прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень. Основні переваги імітаційної моделі:

1. Визначення технічної політики по експлуатації існуючого парку ПС України, включаючи:

- а) Обґрунтування доцільності фінансування робіт з продовження ресурсів старіючого парку ПС.
- б) Обґрунтування варіантів розвитку виробничої бази з ТО.
- в) Обґрунтування оптимального варіанту розвитку парку ПС за класами, типами та кількістю.
- г) Обґрунтування варіантів розвитку мережі авіаліній.

2. Формування оптимальних варіантів контрактів на поставку авіаційної техніки з урахуванням сервісного обслуговування, пропонованих постачальником.

3. Формування оптимальних варіантів угод з міжнародного співробітництва в галузі авіаційних послуг.

Загальні характеристики імітаційної моделі:

1. Імітаційна модель пов'язана з реальною базою даних, що містить характеристику парку ПС України (Автоматизованої системою державної реєстрації та нагляду національного парку цивільних повітряних суден України та Державною системою інформаційного забезпечення України і обміну інформацією в системі технічної експлуатації ПС цивільної авіації України;
2. Імітаційна модель працює в реальному масштабі часу;
3. Програмне забезпечення моделі забезпечує санкціонований доступ до інформації;
4. Каталоги моделі є доступними і забезпечують можливість налаштування споживачем;
5. Блок введення вихідних даних повинен забезпечувати формування варіантів для проведення імітаційних експериментів;
6. Імітаційна модель містить в своєму складі засоби захисту інформації від непередбачених дій користувача. Непередбачені дії користувача не призводять до збою в роботі програмних модулів. При відмові потрібне перезавантаження операційної системи;
7. Експлуатація моделі здійснюється двома категоріями фахівців:
 - фахівцями забезпечення системи;
 - кінцевими користувачами.
 - а) На фахівців забезпечення покладаються такі функції:
 - актуалізація баз даних;
 - введення позасистемних змінних, необхідних для розрахунку відповідного варіанту;
 - архівація даних.

б) На кінцевих користувачів моделі покладаються такі функції:

- визначення пошукових приписів для вибірки інформації з баз даних;
- формування вихідних даних для альтернативних варіантів;
- аналіз результатів рішення задачі.

2.2 Проблема оцінки безпеки польоту

Основне завдання системи управління безпекою польотів (СУБП) прогностичного типу полягає в забезпеченні розумного рівня і утриманні під контролем ризиків для БП і експлуатаційних помилок. Для її вирішення необхідно своєчасно виявляти чинники небезпеки і оцінювати серйозність і частоту (ймовірність) подій, які можуть відбутися в результаті впливу цих факторів. При оцінці безпеки польотів (ОБП) поряд з технічними факторами як ключового аспекту повинен бути прийнятий до уваги людський фактор.

В даний час основним методом виявлення вищевказаних чинників є метод опитування, проведеного групою висококваліфікованих експертів, що складається з диспетчерів, пілотів і інших фахівців. Оцінка ризиків включає в себе оцінку серйозності подій, пов'язаних з виявленими небезпечними факторами і оцінку частоти цих подій, а саме, визначення очікуваної кількості авіаційних подій та інцидентів певного типу за польотний годину. Для оцінки ймовірності настання наслідків небезпечного фактора використовуються наявні в розпорядженні експертів статистичні дані. У такого підходу є ряд недоліків, пов'язаних з суб'єктивізмом експертної оцінки, можливим не виявленням (пропуском) загрозливих факторів, відсутністю у експертів достатніх статистичних даних, що застосовуються для статистичної оцінки довірчим інтервалом [14].

Отримання таких оцінок можливо при двох інших підходах до моделювання процесу організації повітряного руху (ОПР), заснованих на математичному моделюванні. Це, по-перше, перехід до аналітичного моделювання процесів ОПР. До теперішнього часу такий підхід вже отримав досить широке поширення при

виявленні і аналізі чинників ризику для безпеки польотів, пов'язаних з ОПР на етапах створення укрупнених центрів ОПР. У практичних завданнях ОБП застосовуються обґрунтовані імовірнісні моделі ризику зіткнення в різних умовах: при русі ПС на одній трасі і по пересічних трасах, при процедурному управлінні і в умовах безперервного радіолокаційного контролю. Цей підхід дозволяє отримати узагальнені, кількісно-якісні результати, що характеризують ситуацію з безпекою. Однак аналітична модель не здатна в повній мірі оцінити вплив на процес «людського фактору». Крім того, для побудови аналітичних моделей необхідно вносити ряд припущень і спрощень, які знижують точність результатів і адекватність моделі.

Другий підхід полягає в застосуванні імітаційного моделювання. В імітаційній моделі необхідно імітувати політ повітряних суден в керованому повітряному просторі. Перевагами даного методу, крім, власне, реалізації прогностичного підходу до управління безпекою польотів, є отримання великого обсягу даних для аналізу, отримання проміжних даних (для виявлення причин ситуації, що виникла), прискорене моделювання, можливість неодноразового повторного «прокручування» ситуації, створення нових сценаріїв, обліку нових факторів.

2.3 Застосування імітаційного моделювання для розв'язання задачі оцінки ризиків, пов'язаних з безпекою польотів

Для отримання необхідних статистичних даних використовується імітаційна модель. У моделі здійснюється детальна імітація функціонування взаємодіючих підсистем системи управління повітряним рухом (УПР): польоту повітряних суден під керуванням диспетчерів УПР з урахуванням роботи наземних і бортових систем зв'язку, спостереження і навігації, а також автоматизованої системи УПР. Для оцінки ризиків системи в модель включена імітація впливу небезпечних чинників, відмов технічних систем, помилок і порушень пілотів і диспетчерів, затримок в роботі тих і інших. Вхідними даними для моделі є

аеронавігаційна структура повітряного простору (ПП), плани польотів ПС, їх льотно-технічні характеристики, параметри навігаційного обладнання ПС, параметри наземного навігаційного обладнання, параметри системи зв'язку між ПС та диспетчером, параметри ешелонування і деякі інші.

В процесі моделювання імітується реалізація різних факторів небезпеки, а також фіксуються різні авіаційні інциденти і події, такі як, порушення норм ешелонування, небезпечні зближення, зіткнення. Таким чином, формуються дані для оцінки ризиків для безпеки польотів, а саме частоти виникнення авіаційних інцидентів і подій різного типу [21].

Модель дозволяє також вирішувати зворотну задачу: задавшись необхідними рівнями безпеки, які, як правило, виражаються значенням ймовірності авіаційної події або інциденту на годину нальоту ПС, можна отримати вимоги до максимально допустимої ймовірності прояви фактору небезпеки. Для цього необхідно в довільні моменти часу імітувати реалізацію обраного фактору небезпеки і потім протягом деякого часу фіксувати факти різних авіаційних подій та інцидентів, якщо такі мали місце. За результатами великої кількості реалізацій визначаються оцінки умовних ймовірностей виникнення певних типів подій.

Розглянемо відоме співвідношення теорії ймовірностей:

$$P(AB) = P(A)P(B|A) \quad (2.1)$$

де $P(AB)$ - ймовірність добутку двох подій;

$P(A)$ - ймовірність події А;

$P(B|A)$ - умовна ймовірність події В, обчислена за умови, що подія А мала місце.

Для нашого випадку подія А - це реалізація небезпечного фактора (помилка диспетчера, помилка екіпажу ПС, відмова технічної системи і т. д.), Подія В - авіаційна подія чи інцидент певного типу, що відбулося в результаті впливу цього небезпечного фактора. Виходячи з формули (4.1) можна вивести наступне

співвідношення, що дозволяє обчислити гранично допустиму ймовірність реалізації небезпечного фактора:

$$P_{\text{н.ф}} = \frac{N_{\text{г.н}} \cdot N_{\text{н.ф}}}{N_{\text{г}} \cdot n_{\text{а.п}}} \cdot P_{\text{а.п}} \quad (2.2)$$

де $P_{\text{н.ф}}$ – гранично допустима (максимальна) ймовірність прояву небезпечного фактора;

$N_{\text{г.н}}$ – кількість годин нальоту;

$N_{\text{н.ф}}$ – кількість реалізацій небезпечного фактору;

$N_{\text{г}}$ – кількість годин модельного часу;

$n_{\text{а.п}}$ – кількість реалізацій небезпечного фактору, в результаті яких відбулися авіаційні події певного типу;

$P_{\text{а.п}}$ – ймовірність авіаційної події або інциденту певного типу.

Імітація повітряного руху (ПР) через задану область ПП заснована на моделюванні безлічі польотів ПС, кожен з яких прагне виконувати свій план польоту. План будується з урахуванням льотно-технічних характеристик типу ПС, до якого належить рейс.

Статистичне моделювання вимагає великого за часом обсягу даних: сотень днів або навіть декількох років. Це обумовлено вимогами оцінки показників, пов'язаних з дуже рідко зустрічаючихся подіями. Для вирішення цієї проблеми формується «довгий» потік ПР. Генерація такого довгого випадкового потоку ПР виконується на основі характеристик реальних добових потоків за вибрані користувачем добу (або обраних дослідницьких потоків): середньої погодинної інтенсивності, частоті використання типів ВС, частотою використання точок входу і різних маршрутів, параметрів вертикального профілю польоту [16].

Для оцінки ризиків для безпеки польотів (формула 4.2), викликаних впливом конкретного фактору небезпеки, в моделі прийнята наступна схема отримання результатів статистичного моделювання: кожен раз, коли відповідно

до прийнятої логікою можлива реалізація фактору небезпеки, перед її моделюванням виконується запам'ятовування всіх змінних завдання. Після моделювання цієї реалізації в точці 1 (Рисунок 2.1) і моделювання наслідків протягом заданого тимчасового інтервалу процес просування часу зупиняється. Потім проводиться відкат до запомненої точки, після цього виконання моделювання триває вже таким чином, що в точці 1 реалізація небезпечного фактору не проводиться, запам'ятовування всіх змінних задачі в точці 2, моделювання помилки / порушення в точці 2 і моделювання наслідків протягом заданого тимчасового інтервалу, зупинка моделювання, повернення до запомненої точки, і.т.д.

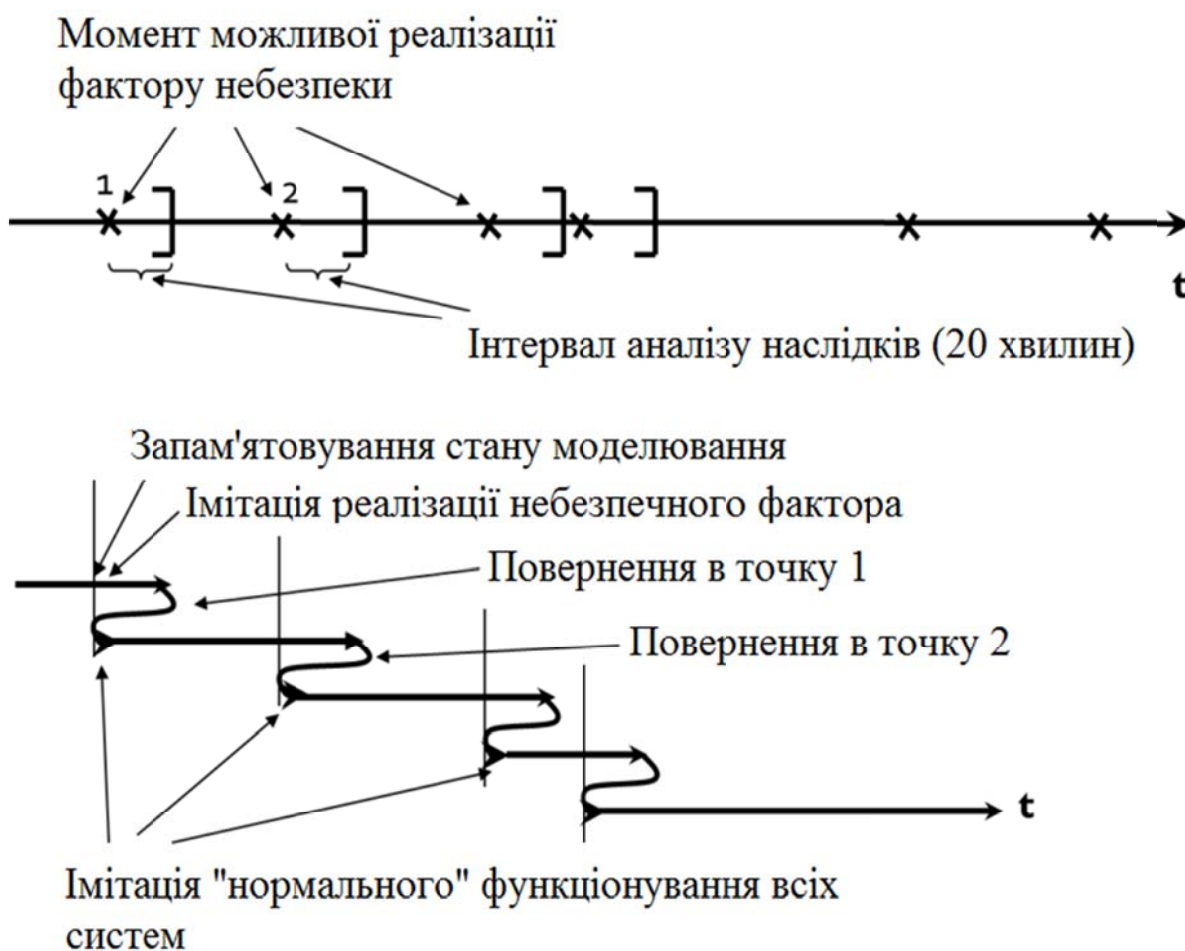


Рисунок 2.1 – Процес імітації систем повітряного судна

Таким чином, досягається сувороза незалежність реалізацій фактору небезпеки, імітація таких відкатів забезпечує еквівалентність моделювання від початкового моменту і одночасно раціональне використання часу на моделювання.

2.4 Моделювані фактори небезпеки

В імітаційній моделі моделюється реалізація наступних факторів небезпеки:

1. Помилки/порушення людиною:

а) Помилки/порушення диспетчера при прийнятті рішень. Ці помилки/порушення імітуються при моделюванні дій диспетчера, пов'язаних з виявленням потенційних конфліктних ситуацій (ПКС), що виникають в процесі виконання ПС своїх планів польотів, і реакцією диспетчера на них. Помилки порушення диспетчера полягають в ігноруванні ПКС, що може призводити до різних типів реальних конфліктів (порушення норм ешелонування, небезпечне зближення, зіткнення);

б) Помилки та порушення екіпажу при прийнятті рішень. Імітуються можливістю неправильної реакції екіпажу на команду диспетчера в моделі польоту ПС.

2. Затримки у виконанні дій:

а) Затримки диспетчера при прийнятті рішень. Враховуються шляхом формування черги виконуваних операцій і обліку часу очікування виконання в моделі диспетчера. Ця затримка може призвести до несвоєчасної вироблення команди диспетчера по вирішенню ПКС і тим самим до виникнення небезпечної ситуації.

3. Похибки:

а) Похибки навігації і пілотування ПС. Моделюється випадкова помилка витримування програмної траєкторії, що створює можливість порушення норм ешелонування;

б) Похибки наземної системи спостереження. Моделюється випадкова помилка у визначенні поточного стану ПС системою управління повітряним рухом, що може призводити до неправильної оцінки повітряної ситуації диспетчером.

4. Відмови:

- а) Відмова наземної системи спостереження за ПС. Виражається в переході диспетчером на процедурне управління по доповідям ПС і в збільшенні норм ешелонування;
- б) Відмова лінії зв'язку між ПС та диспетчером. Виражається у відсутності обміну повідомленнями між диспетчерською позицією і ПС, що еквівалентно припинення управління повітряним рухом;
- в) Відмова наземної системи навігації. Моделюється інтервалом часу недоступності використання зовнішнього навігаційного обладнання всіма ПС, призводить до збільшення похибок пілотування;
- г) Відмова бортової навігаційної системи. Моделюється інтервалом часу недоступності використання відповідної навігаційної системи. На цьому інтервалі імітується використання менш точної системи шляхом збільшення рівня похибок пілотування. Ситуація призводить до збільшення похибок пілотування;
- д) Відмова автоматизованої системи керування повітряним рухом імітується як відмова системи спостереження;
- е) Недоставляння або спотворення окремого повідомлення від диспетчерської позиції до ПС і навпаки. Моделюється збільшенням часу відповідної операції.

2.5 Формування моделі повітряної обстановки

Модель повітряної обстановки являє собою сукупність моделей польоту безлічі повітряних суден, що пролітають модельований сектор. Для кожного ПС

що виконує політ відповідно до власного плану, моделюється підліт до кордону передачі його на управління диспетчерської позиції моделюемого сектора, проліт цього кордону, транзитний проліт повітряного простору сектора і перетин кордону передачі наступної диспетчерської позиції. У процесі польоту імітується обмін повідомленнями екіпажу ПС з диспетчерської позицією і виконання команд диспетчера [16].

Модель динаміки ПС розбита на два блоки: система стабілізації і кінематика руху ПС. Модель системи стабілізації включає три канали управління:

- управління у напрямку (канал курсу);
- управління по висоті (вертикальний канал);
- управління по швидкості (поздовжній канал).

Аперіодична модель регулятора каналу курсу задається наступними рівняннями:

$$\dot{\Psi} = D_k(\Psi^* - \Psi), \quad (4.3)$$

$$\text{якщо } \dot{\Psi} > \dot{\Psi}_m, \text{ то } \dot{\Psi} = \dot{\Psi}_m,$$

$$\text{якщо } \dot{\Psi} < -\dot{\Psi}_m, \text{ то } \dot{\Psi} = -\dot{\Psi}_m,$$

де Ψ - поточний кут курсу;

Ψ^* - команда управління (заданий кут курсу);

D_k - добротність каналу курсу системи стабілізації;

$\dot{\Psi}_m$ - максимально можлива кутова швидкість зміни курсу при координованому розвороті.

Максимально можлива кутова швидкість зміни курсу при координованому розвороті розраховується за формулою:

$$\Psi_m = \left(\frac{g \cdot tg \gamma_m}{V_B} \right), \quad (4.4)$$

де g - прискорення вільного падіння;

γ_m - максимальний кут крену при координованому розвороті;

V_B - поточна повітряна швидкість ПС.

Аперіодична модель регулятора каналу висоти задається наступними рівняннями:

$$\dot{H} = D_b(H^* - H), \quad (4.5)$$

якщо $\dot{H} > \dot{H}_{max}$, то $\dot{H} = \dot{H}_{max}$,

якщо $\dot{H} < \dot{H}_{min}$, то $\dot{H} = \dot{H}_{min}$

де H - поточна висота польоту;

H^* - команда управління (задана висота польоту);

\dot{H}_{max} і \dot{H}_{min} - максимальні швидкості підйому і зниження відповідно;

D_b - добротність каналу висоти системи стабілізації.

Аперіодична модель регулятора каналу висоти задається наступними рівняннями:

$$\dot{V} = D_c(V^* - V), \quad (4.6)$$

якщо $\dot{V} > \dot{V}_{max}$, то $\dot{V} = \dot{V}_{max}$,

якщо $\dot{V} < \dot{V}_{min}$, то $\dot{V} = \dot{V}_{min}$

де V - поточна швидкість польоту;

V^* - команда управління (задана швидкість польоту)

V_{max} і V_{min} - максимальні прискорення і гальмування відповідно;

D_c - добротність каналу керування швидкістю.

Кінематика руху ПС імітується чисельним інтеграцією диференціальних рівнянь, що описують зміну в часі поточного стану ПС. Чисельне інтегрування диференціальних рівнянь проводиться методом Ейлера першого порядку. Нижче наведені рівняння руху ПС, які відповідають назвам кінематики руху центру мас ПС в сферичній системі координат з урахуванням вітру.

$$\frac{dB}{dt} = \frac{V_b \cos \Psi}{(R_3 + H)}, \quad (4.7)$$

$$\frac{dL}{dt} = \frac{V_b \sin \Psi}{(R_3 + H) \cos B},$$

де B , L – широта і довгота поточного положення ПС;

V_b – поточна повітряна швидкість;

Ψ – поточний кут курсу;

H – поточна висота польоту;

R_3 – радіус Землі.

2.6 Формування моделі технічних систем

Модель наземної системи навігації формує і видає дані про навігаційне покритті моделіруемого повітряного простору та проблеми з ним (відмовах навігаційного обладнання).

Модель системи зв'язку імітує якість проходження повідомлень між землею і ПС - з урахуванням помилок і спотворень, а також можливих пропусків і навіть повних відмов системи зв'язку. Імітується тільки робота голосового зв'язку між ПС та диспетчером.

Модель наземної системи спостереження отримує на вхід польотні дані про ПС від моделі повітряної обстановки і видає «виміряні» польотні дані. Імітуються помилки спостереження, а також відмови системи спостереження (в тому числі і пов'язані з відмовами систем передачі даних).

Модель відображення процесу моделювання виконує наступні функції: відображення повітряної обстановки, відображення обміну повідомленнями в процесі виконання керованих польотів, відображення в наочній формі деяких показників, що характеризують моделюються процеси, відображення повітряної обстановки на двомірній карті [18].

2.7 Принципова схема експертної системи та порівняння її з паперовою системою

Розвиток авіаційної галузі веде до постійного нарощування обсягів нормативно-технічної документації з пошуку несправностей в різних системах літальних апаратів. При проведенні огляду, форм ТО і виявленні будь-якої несправності відбувається звернення авіаційних фахівців до нормативно-технічної документації і технологічними картами, в яких описані способи усунення несправностей у паперовому вигляді. При цьому, однак, виникають певні складнощі, до яких відносять:

- рутинні операції, пов'язані зі зверненням до експлуатаційно-технічної та ремонтно-технічної документації, і в разі відсутності рішення по конкретній несправності її доповнення та редагування;

- емпіричний спосіб перебору можливих рішень в залежності від досвіду, знань і умінь фахівців при перевірці комплектуючих виробів і елементів функціональної системи (обриви електроланок, злами, і ін.), Що призводить до збільшення часу перевірки;

- практично неможливо збільшити обсяг і глибину аналізу несправностей, наведених в технічній документації, протягом життєвого циклу літака;

- при ручному контролі виникає ймовірність пропуску дефекту, що може привести до відмови обладнання в польоті, що в свою чергу може привести до катастрофічних наслідків.

В результаті різко знижується ефективність експлуатації ЛА. Виходом з ситуації є створення і використання спеціалізованої людино машинної експертної системи аналізу причин несправностей (ЕСАН) на літаку на різних пристроях (смартфонах, планшетних комп'ютерах, персональних комп'ютерах). Метою створення ЕСАН є підвищення оперативності пошуку за рахунок створення мобільного користувальницького інтерфейсу з використанням штучного інтелекту при пошуку причин несправностей на літаку. Досягнення зазначеної мети пов'язано з вирішенням наступних завдань:

- збір і реєстрація видів відмов;
- зниження часу вимушеного простою ПС;
- підвищення кваліфікації технічного персоналу (авіаційних спеціалістів) за рахунок навчання від системи;
- запобігання помилкових дій при прийнятті рішень авіаційних спеціалістів;
- застосування ефективних алгоритмів пошуку причин несправностей.

ЕСАН являє собою комп'ютерну програму «когнітологией», встановлену на комп'ютерах зареєстрованих користувачів, включає в себе ієрархічну структуру бази знань (БЗ).

Для розробки ефективного алгоритму пошуку причини несправності враховують наступні ключові фактори втрати часу на пошук і усунення несправностей:

- звернення до експлуатаційно-технічної та ремонтно технічної документації (в паперовому або відсканованому вигляді) і її постійне оновлення (доповнення) протягом життєвого циклу виробів;
- недостатня ефективність систем вбудованого контролю і діагностування (велике число невиявлених і помилкових відмов);
- висока трудомісткість складання паперових документів;
- необгрунтовані демонтажно-монтажні роботи на ПС.

На рисунку 2.2 показана процедура пошуку несправностей «ручним методом».

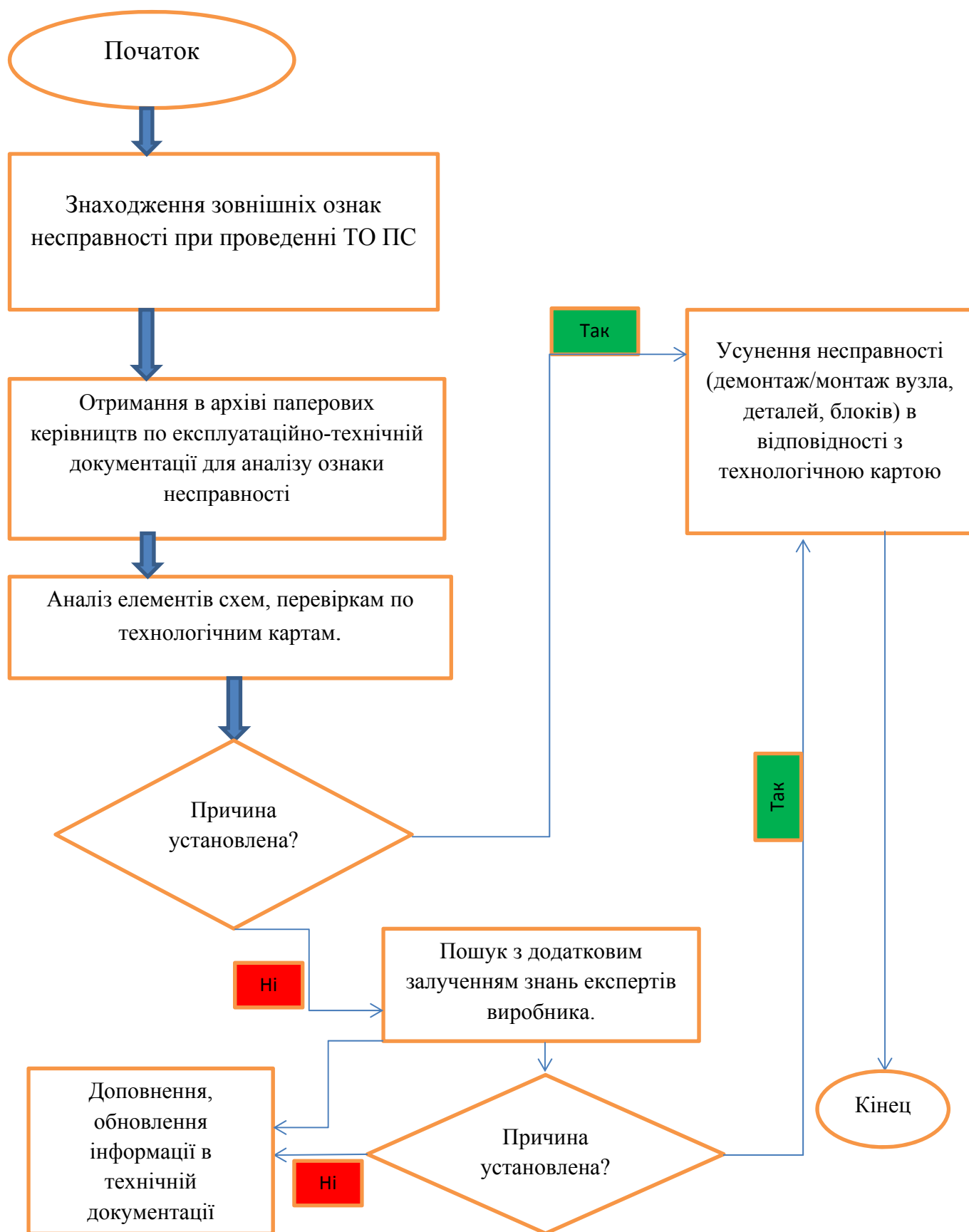


Рисунок 2.2 – Процедура пошуку несправностей з допомогою «ручного методу»

Головним елементом ЕСАН є база знань яка містить вихідну інформацію, наведену в Таблиці 2.1. Протягом життєвого циклу екземпляру ПС, експерти забезпечують збір і введення в БЗ інформації у відповідність з таблицею 2.2 та таблицею 2.3 [16].

Таблиця 2.1 - Вихідна інформація бази знань для екземпляра ПС

Номер	Вихідна інформація бази знань для екземпляра ПС
1	Пошук та усунення несправності із керівництва технічної експлуатації на літаку і комплектуючих виробів:
1.1	Види відмов елементів фідера (електрична проводка, електричні з'єднувачі, автомати захисту) і алгоритм пошуку відмов
1.2	Види відмов комплектуючих виробів і алгоритм пошуку відмов із керівництва технічної експлуатації.
2	Види відмов при приймально-здавальних льотних випробуваннях екземпляра ПС
2.1	Види відмов із листа зауважень по результатам контрольно-випробувального польоту.
2.2	Алгоритм пошуку причин відмови із листа зауважень по результатам польоту.

Таблиця 2.2 - Інформація, що надходить в базу знань екземпляра ПС протягом життєвого циклу.

Номер	Інформація, що надходить в базу знань екземпляра ПС протягом життєвого циклу
1	Схеми електричні, принципіальні і з'єднань
2	Данні бортових систем:
2.1	Види відмов, зареєстровані бортовим самописцем
3	Види відмов і недоліків, зареєстровані пілотами в журналі зауважень по результатам польоту. Способи їх усунення
4	Данні про відмови, що надходять від авіакомпаній.

Таблиця 2.3 - Додаткова інформація, яка використовується ПО «когнітологіей» при пошуку причин несправностей

Номер	Додаткова інформація, яка використовується ПО «когнітологіей» при пошуку причин несправностей
1	Статистичні данні, реєстрація бюлетенів
2	Додаткова довідкова інформація, необхідна для прийняття рішення про причину відмови
3	Дані від висококваліфікованих фахівців, що вводяться в діалоговому режимі

БЗ містить класифікацію несправностей (ієрархію їх значимості) і алгоритми пошуку несправностей на основі правил, що мають вид продукційних моделей, які враховуються при виробленні рекомендацій щодо усунення несправностей. Модель, заснована на правилах, дозволяє уявити знання у вигляді пропозицій типу «Якщо (умова)», «то (дія)». Згідно представленої на рисунку 2.3 процедурі пошуку та усунення несправностей при використанні ЕСАН користувач при виявленні зовнішніх ознак при проведенні форми ТО звертається до ЕСАН для усунення несправності. У разі, якщо несправність ліквідована, він отримує готове рішення з рекомендаціями та посиланням на нормативно-технічний документ. Якщо несправність не усунуто, він звертається за допомогою в техпідтримку виробника для введення знову виявлених несправностей в БЗ групою експертів до її повного усунення [17].

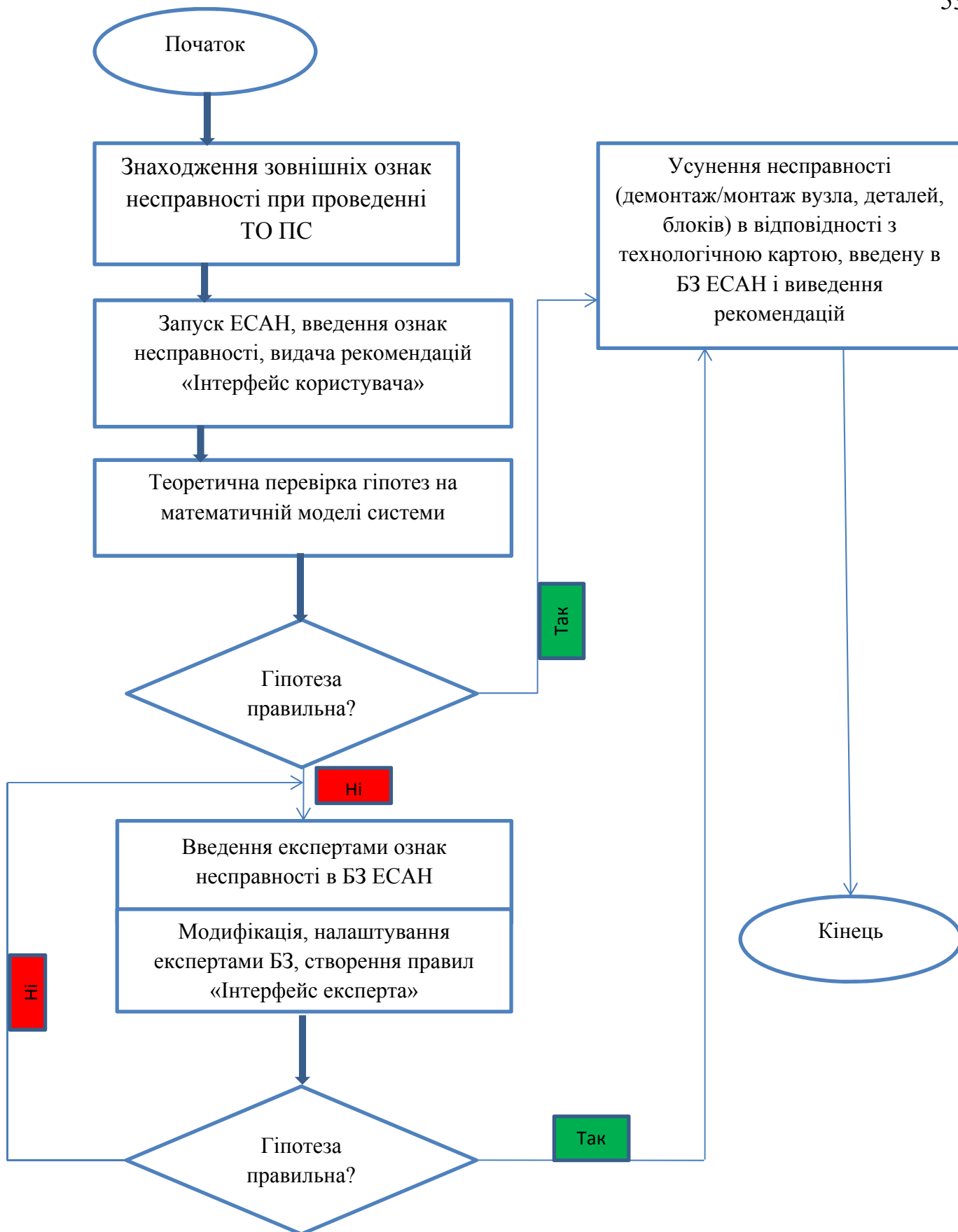


Рисунок 2.3 – Процедура пошуку і усунення несправностей при використанні ЕСАН

Результатом виконання є мобільна експертна система «когнітологией», впровадження якої дозволить істотно знизити витрати часу при виявленні несправностей при її використанні.

На основі принципу декомпозиції, розділимо час на пошук причин, що зумовили появу непрацездатного стану агрегату або підсистеми (інтелектуальна частина, логічні маніпуляції) і час на демонтаж / монтаж вузла, пристрої (фізичні маніпуляції). При виявленні несправності «При включеному вимикачі МСРП на верхньому пульті пілотів горить лампа МСРП на пульті ПУ-50-2» затрати часу склали (див. рисунок 2.2) [17]:

- зовнішній огляд і виявлення несправності - 0,2 год;
- пошук керівництва з технічного обслуговування на несправну систему в архіві - 0,5 год;
- вивчення принципової електричної схеми - 0.3 год;
- усунення несправності (з урахуванням часу на демонтаж / монтаж деталей) 3 чол/год.

Загальний час пошуку несправності склало одну годину, а загальний час наладки (включаючи час на демонтаж / монтаж) склало чотири години. Опис процесу пошуку та усунення несправності під керівництвом ЕСАН «когнітологией» (див. рисунку 2.3). Запуск і консультація з ЕСАН «когнітологией» дає правильну локалізацію несправності приблизно через 0,1 год. (без урахування часу, витраченого на пошук нормативно-технічної документації). Усунення несправності, включаючи монтаж / демонтаж (три чоловіко-годин). Загальний час наладки із застосуванням ЕСАН «когнітологией» склало три цілих і одну десяту годин. Таким чином, усунення несправності за допомогою ЕСАН дало економію часу дев'ять десятих год.

Висновки до розділу 2

1. Розглянуто попит та необхідність створення імітаційної моделі прогностичного технічного обслуговування авіаційної техніки для авіаційного парку ПС експлуатантів України.

2. Розглянуто переваги імітаційної моделі ТО.

3. Розглянуто проблему оцінки безпеки польоту сучасним методом та з допомогою імітаційної моделі і було визначено, що перевагою застосування імітаційної моделі є накопичення та збереження великої кількості інформації, що надходить під час польоту.

4. Було розглянуто можливість застосування імітаційного моделювання для розв'язання задачі оцінки ризиків, пов'язаних з безпекою польотів.

5. Розглянуто моделювання процесів експлуатації авіаційної техніки при технічному обслуговуванні повітряних суден і авіаційних двигунів.

6. Розглянуто застосування ЕСАН як інструменту для аналізу відмов в імітаційної моделі і визначено, що при застосуванні ЕСАН зменшується час на виконання ідентифікації причини несправності та її усунення.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РОБІТ АВІАЦІЙНОГО ПЕРСОНАЛУ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

3.1 Сучасні концепції враховування людського фактору при технічному обслуговуванні виробів авіаційної техніки

Побудова моделей та математичне моделювання процесів підтримання льотної придатності виробів АТ дозволяє на більш високому рівні розроблювати плани ТО ПС, враховуючи вплив експлуатаційних факторів, властивостей та можливостей обслуговуючого персоналу.

Існуюча практика моделювання окремих задач підтримання льотної придатності АТ не включає вплив характеристик обслуговуючого персоналу через відсутність методик опису видів діяльності авіаційних спеціалістів та методів кількісної оцінки якості їх праці.

Використання функціонально-структурної теорії, при дослідженні впливу людини на надійність об'єктів експлуатації, забезпечує можливість оцінки показників якості роботи усіх категорій ІТС. Моделювання будь-якого реального процесу представляється у вигляді сукупності обмеженого набору типових функціональних структур, для яких розроблюються математичні залежності для оцінки їх кількісних характеристик.

Науковий аналіз взаємозв'язаних процесів ТО починається з побудови формалізованих моделей, котрі дозволяють вирішувати задачі аналізу впливу різних факторів на ефективність ТО АТ.

Для розуміння людського фактора (ЛФ) доцільно використовувати концептуальну модель “*SHEL*”, оскільки це дозволяє здійснити поетапний системний підхід (рисунок 3.1). Модель “*SHEL*” (аббревіатура складена з початкових букв англійських слів її складових елементів) вперше була розроблена Едвардсом в 1972 р. Її компоненти позначають наступне:

- Liveware – , людина, суб'єкт;
- Hardware – машина, техніка;
- Software – правила, керівництво, процедури;
- Environment – умови, в яких взаємодіють перші три елементи.

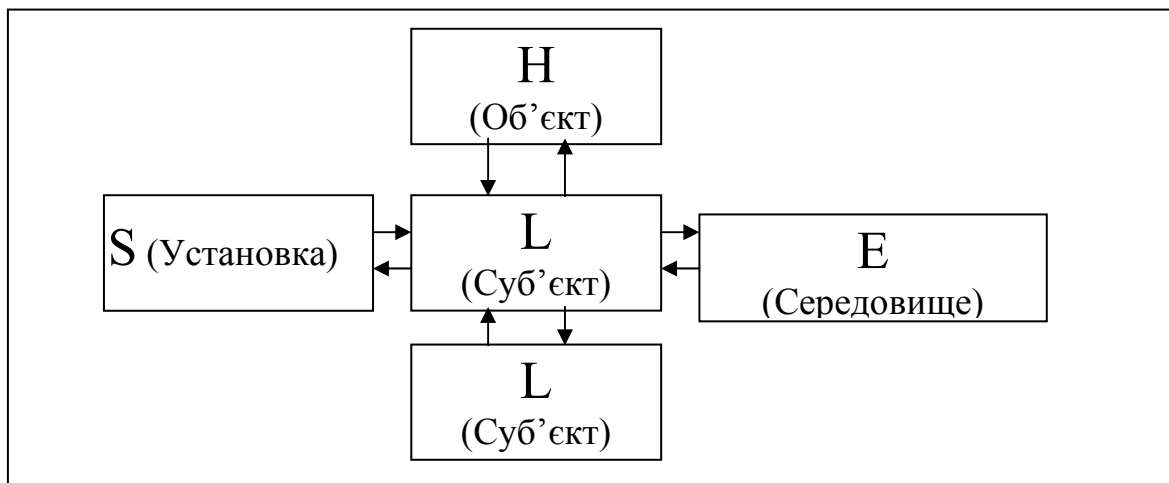


Рисунок 3.1 – Модель “SHEL”

Ця модель не відображає всіх взаємозв'язків між складовими частинами, а служить лише основою для розуміння ЛФ.

В центрі моделі знаходиться людина – найбільш критичний і гнучкий компонент системи. Межі цього блоку складні та аморфні, і тому інші складові частини системи мають бути ретельно прилаштованими до нього щоб уникнути небажаного напруження і можливих збоїв в системі.

Суб'єкт є “вузловою” частиною моделі “SHEL”. Останні складові частини мають бути відповідним чином адаптуватися і узгоджуватися з цією “вузловою” частиною.

Для забезпечення такої сумісності важливо знати характерні особливості вузлового компонента системи. Найбільш важливими характеристиками вузлового компонента даної моделі є:

1. Фізичні розміри і форма. При проектуванні будь-якого робочого місця і більшої частини устаткування вирішальну роль грають дані про розміри і параметри руху різних частин людського тіла, хоча вони можуть бути різними, що залежить від віку людини, його етнічної приналежності, підлоги і тощо.

2. Фізіологічні потреби. Зведення про потреби людини в їді, воді і кисні можуть бути запозичені з фізіології і біології.

3. Характеристики сприйняття інформації. Для здобуття інформації про зовнішній і внутрішній світ чоловік має різні органи чуття, що дозволяють йому реагувати на події і виконувати необхідні завдання. Проте ці органи з тієї або іншої причини схильні до деградації.

4. Обробка інформації. Можливості людини в цій області серйозно обмежені. Погана конструкція приладу або системи застережливої сигналізації дуже часто є результатом того, що при проектуванні не були враховані можливості і обмеження людини відносно обробки інформації, тобто такі чинники, як нервова напруга, мотивація, короткочасна і довготривала пам'ять.

Особливості реакції людини на отриману інформацію. Як тільки інформація сприйнята органами чуття і оброблена, м'язам передається сигнал відреагувати на неї. Реакція може виражатися у вигляді фізичних рухів, що управляють, або на початку спілкування в тій або іншій формі.

Умови довкілля. Температура, тиск, вологість, шум, час дня, міру освітленості надають вплив на працю і самопочуття людини. Висота, замкнутий простір, стресові або монотонні умови роботи також можуть впливати на працездатність людини

В протилежність «реально-тимчасовому» характеру помилки льотного екіпажа, і роботи диспетчера, помилка в процесі ТО дуже часто не виявляється під час її здійснення. В деяких випадках технік, обслуговуючий літак, ніколи не дізнається про допущену помилку, тому що її виявлення може статися через декілька днів, місяців або декілька років. В разі порушення кріплення диска турбіни двигуна, на літаку DC-10, передбачувана помилка при інспекції повітряного судна була допущена за сімнадцять місяців до катастрофи.

Помилки такого роду можуть бути викликані прихованими причинами, такими як недостатня професійна підготовка, нестача виділених ресурсів або інструментів, необхідних для технічного обслуговування, дефіцит часу і тому подібне.

Неправильний монтаж компонентів, неуважний огляд і контроль стану виробів є найбільш помилками, що часто повторюються, при ТО.

Дані, що відносяться до психологічних аспектів, підтверджують, що організації можуть і запобігати випадкам і сприяти їх виникненню (рисунок 3.2).

Відмови можуть бути двох типів, залежно від часу прояву їх наслідків.

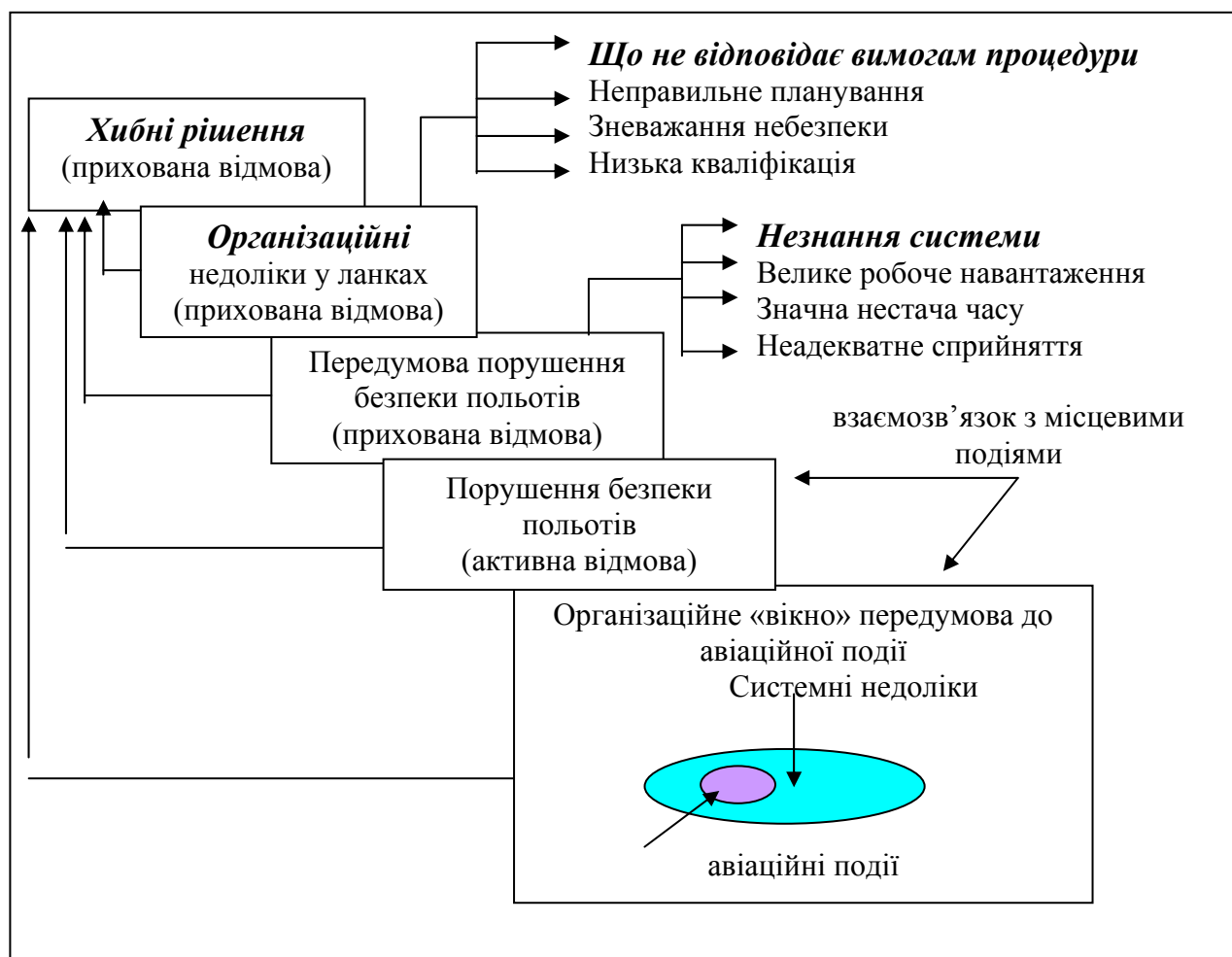


Рисунок 3.2 – Схема формування авіаційної події

Активна відмова – є помилкою або порушенням, які негайно викликають несприятливу дію. Такі помилки зазвичай здійснюються оператором «переднього краю». Дії пілота, що береться за важіль управління прибиранням шасі замість важеля управління закрилками, служать яскравим прикладом причини відмови цього типу.

Прихована відмова – є результатом рішення або дії, які були здійснені задовго до випадку і наслідки яких можуть не виявлятися протягом довгого часу.

Такі відмови зазвичай породжуються на рівнях ухвалення рішень і встановлення правил або на рівні лінійного керівництва, тобто людьми, далеко віддаленими від події, що сталася, як за часом, так і просторі. Приховані відмови, які є результатом сумнівних рішень або неправильних дій, хоча і не заподіюють шкоди, якщо вони виявляються ізольовано, можуть взаємодіяти один з одним, створюючи «вікно можливостей» для пілота, диспетчера або механіка зробити дію, що наводить до активної відмови, руйнівної до всіх видів захисту системи, і як наслідок – до особливої ситуації.

У таких випадках оператори «переднього краю» стають «спадкоємцями» дефектів системи, оскільки саме вони стикаються із ситуацією, що оголює приховані недоліки.

3.2 Залежність безпеки польотів та ефективності використання повітряних суден від якості роботи авіаційного персоналу

На сьогоднішній день стає більш повним розуміння важливості врахування людського фактора при технічному обслуговуванні та інспекції повітряних суден. Стає більш помітним безпосередній зв'язок безпеки та ефективності польотів на авіалініях від якості роботи людей, тих, хто перевіряє та обслуговує парки авіаційної техніки авіакомпаній.

Літаки нинішнього покоління типу "Boeing 747-400" та "Airbus A-340" мають тричі резервовані системи управління польотом, які базуються на застосуванні обчислювальної техніки. Це зменшує навантаження на польотний екіпаж, але підвищує вимоги до технічних спеціалістів, що обслуговують повітряні судна, багато з яких отримали базову підготовку в області механічних, а не сучасних систем управління. У зв'язку з цими обставинами, не забезпечено правильну взаємодію між елементами "суб'єкт – об'єкт" (L-H) та "суб'єкт - програмні установки" (L-S) моделі "SHEL".

При технічному обслуговуванні помилки людини зазвичай проявляються в ненавмисно викликаній несправності повітряного судна, причину якої можливо пояснити діяльністю або бездіяльністю технічних спеціалістів, що його обслуговують.

У першому випадку, її наслідком є конкретна несправність повітряного судна, якої не було до початку проведення технічного обслуговування. Будь-яка операція технічного обслуговування приховує в собі можливість здійснення людиною помилки, яка може призвести до ненавмисно заподіяної несправності повітряного судна. Прикладами можуть слугувати: неправильна установка змінних блоків, залишена під час збірки гідро-магістралі, що ремонтується, запобіжна заглушка або поломка повітроводу через те, що він використовувався як підніжка для доступу до місця проведення операції технічного обслуговування.

Результатом помилки другого випадку – не виявлення небажаного або небезпечного стану під час виконання регламентного технічного обслуговування, мета якого як раз і виявити такий стан. Приклади таких помилок: непомічена під час візуального огляду тріщина в силовому елементі або демонтаж справного блока електронного обладнання замість несправного через неправильно встановлені причини несправності [17].

Помилки такого роду можуть бути викликані й прихованими відмовами, такими як, недостатня професійна підготовка, недостача виділених ресурсів або інструментів, необхідних для технічного обслуговування, дефіцит часу і т. інш.

Однією з причин багатьох загально відомих авіаційних подій була помилка людини при технічному обслуговуванні. Катастрофа літака DC-10 авіакомпанії "American airlines" в Чикаго і сталася через порушення технології заміни двигуна, яке проявилось в тому, що пілон і двигун були демонтовані та встановлені у зібраному вигляді, а не окремо по частинам. В результаті використання цієї несанкціонованої технології (прихована відмова при ймовірному порушенні взаємодії елементів L-H та L-S) відбулося руйнування конструкції пілона, яке стало помітним при злеті, коли від крила відірвався закріплений під ним двигун з пілоном. Надалі, в результаті цього, пошкодження гідравлічних систем призвело

до прибирання зовнішніх секцій передкрилків на лівому крилі й надалі – до втрати керування. Літак "Boeing 747" авіакомпанії "Japans airlines" зазнав аварії через швидку розгерметизацію літака під час польоту, коли внаслідок неправильно виконаного ремонту відмовив задній гермо-шпангоут (прихована відмова при ймовірному порушенні взаємодії елементів L-H и L-S). Літак "Boeing 737" авіакомпанії "Aloha airlines " зазнав аварії в результаті руйнування конструкції верхньої часті фюзеляжу. На щастя літак вдалося посадити, але одна людина загинула. Ця авіаційна подія пояснюється порушенням технології технічного обслуговування, внаслідок чого не було виявлено погіршення характеристик силового конструктивного елемента [23].

Увага до таких факторів, як множинність причин, взаємозалежність та взаємодія систем (які мають безпосереднє відношення до безпеки систем, в яких втілені новітні технічні досягнення), не була такою, щоб розгледіти першопричини прихованих та активних відмов. Не вчинки окремих людей, а саме взаємодія множинних відмов, й призвело до конкретних авіаційних подій та інцидентів. У приведених випадках помітна прихована організаційна відмова і неточне поєднання елементів L-S.

Досить часто при розробці заходів з підвищення безпеки і запобігання подій в авіаційній галузі не враховується та обставина, що помилки людина припускається за конкретних організаційних умов, які або сприяють, або перешкоджають її виникненню [20, 21].

При розгляді подій, причиною яких була помилка людини, ясно, що ми схильні мислити в термінах, стосовно окремих осіб, а не колективів.

Авіаційні події (АП), причиною яких є неправильне технічне обслуговування або неправильна інспекція повітряних суден, змушує задуматися більше про організацію, ніж про конкретну особу, яка знаходиться в кінці виробничої лінії. При вивченні організаційних аспектів, пов'язаних з виконанням операцій технічного обслуговування вночі перед льотною подією, виявляється переплетіння перехресних ліній ревізійних перевірок, передачі повідомлень та керування виробничим процесом [23] (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Приклади АП з людського фактору при ТО АТ

№	Причина АП	Супроводжуючі обставини	Наслідки
1	Після ТО, під час якого троса управління елеронами були переплутані при монтажі, внаслідок чого елерони відхилялися в напрямку, протилежному заданому.	Після монтажу правильність відхилення елеронів не була перевірена. Перевірка не була виконана екіпажем при підготовці до зльоту.	Катастрофа
2	Зсув вантажу при розгоні привів до виникнення задньої центрівки, для парирування якої не вистачило запасу керма висоти.	Зсув вантажу відбувся через недотримання правил його кріплення з боку служби організації перевезень. Відсутність контролю з боку екіпажа. Відсутність борт-оператора.	Катастрофа
3	Під час крейсерського польоту на висоті 7800 м вимкнулись всі чотири двигуни через воду в паливі.	Порушена технологія заправлення паливом. Не злито відстій	Катастрофа
4	Повна втрата керованості вертольота із-за роз'єднання проводки поперечного управління, внаслідок випадання болта в з'єднанні	Порушення, допущене інженерно-технічним складом при виконанні робіт на проводці поперечного управління, пов'язаних із заміною головного редуктора.	Катастрофа
5	Втомне руйнування вісі важеля повідця автомата перекошу через неправильний монтаж вузла кулькового шарніра,	Порушення технологічної дисципліни і організації роботи виявлені як в процесі ремонту вертольота на заводі, так і в процесі експлуатації.	Катастрофа

Закінчення таблиці 3.1

№	Причина АП	Супроводжуючі обставини	Наслідки
		Ухвалення екіпажем ПС рішення на виконання зльоту не дивлячись на відмічені в ході перед-польотної підготовки значні зусилля при відхиленні правої педалі.	
6	Причиною авіаційної події стало поєднання декількох чинників.	Неякісне виконання інженерно-технічним персоналом робіт по заміні і регулюванню гідропідсилювача. Незадовільна експлуатація літака після виконання робіт по заміні гідропідсилювача. Ухвалення екіпажем ПС рішення на виконання зльоту не дивлячись на відмічені в ході перед-польотної підготовки значні зусилля при відхиленні правої педалі.	Аварія
7	Під час польоту через нерівномірне перекачування пального із однієї групи баків в іншу, виник поперечний дисбаланс. Ситуацію ускладнило неправильне налаштування приводу елеронів, що забезпечив менший ніж належить кут їх відхилення.	Порушення, допущене інженерно-технічним складом при виконанні робіт по технічному обслуговуванні паливної системи та системи керування польотом	Катастрофа

З вищевикладеного витікає, що допускаючи - явно або неявно – постійні порушення, вище керівництво компанії створює таку робочу атмосферу, в якій накопичуються порушення і стають причиною авіаційної події.

У більшості випадків просто немає даних, які необхідно для розгляду помилок, яких припустилися при технічному обслуговуванні, тому помилки розглядаються з точки зору несправності повітряного судна.

Статистика свідчить, що здійснення організаційних або систематичних помилок в організаціях, що займаються технічним обслуговуванням повітряних суден, не обмежується однією організацією чи одним регіоном. За результатами проведеного аналізу польотних подій встановлено

- обслуговуючий технічний персонал та інспектори порушували встановлені методи і процедури (активна відмова);
- особа, відповідальна за забезпечення дотримання встановлених процедур і методів, не здійснювала перевірку не тільки "поодиноких порушень", але й симптоматично, неправильних дій, які здійснювалися протягом тривалого часу (активні та приховані відмови);
- вище керівництво, відповідальне за ТО, не вживало необхідних заходів для безумовного виконання процедур, запропонованих відповідними організаціями (приховані відмови);
- операції ТО виконувалися особами, не призначеними для виконання цих обов'язків, які з кращих спонукань за своєю ініціативою починали роботу (активна відмова, якій сприяли дві раніше розглянуті приховані відмови);
- вочевидь, відсутність повної і (або) належним чином переданої інформації, збільшує низку помилок, які приводять до авіаційних подій (прихована відмова).

Один з основних складових елементів АТС – це особа, яка приймає рішення й несе повну відповідальність за встановлення цілей і керування існуючими ресурсами для досягнення та врівноваження двох чітко позначених цілей; забезпечення безпеки та своєчасне і рентабельне перевезення пасажирів та вантажів.

В сфері технічного обслуговування в процесі підтримки придатності до польотів парка повітряних суден за необхідністю створюється, передається, використовується і реєструється значний обсяг інформації.

Найважливіше – інформація з технічного обслуговування повинна бути зрозумілою для її споживачів, яким вона призначена.

Нові керівництва, бюлетені технічного обслуговування, наряди на виконання робіт та інші інформаційні документи, якими користуються це коло осіб, необхідно перевірити до їх широкого розповсюдження, аби впевнитися, що вони не можуть бути неправильно сприйняті чи незрозумілі.

Зв'язок з виробником повітряного судна, так само як й зв'язок між авіакомпаніями, може мати вирішальне значення. Якщо в одній компанії виникла проблема з технічним обслуговуванням повітряного судна, що здатна знизити безпеку польотів, повідомлення про неї повинно бути передано виробнику та іншим експлуатантам, які мають повітряні судна такого ж типу.

У звітах про авіаційні події немало таких, які можна було б запобігти, якби інформація з інцидентів в авіакомпаніях доводилася до відомої галузі. При розслідуванні польотної події з літаком DC-10 авіакомпанії "American airlines", виявилось, що в іншій авіакомпанії застосовувалася така ж сама незатверджена технологія заміни двигунів, й було виявлено, що вона призвела до появи тріщин поблизу місця кріплення.

Зневажливе відношення до затверджених процедур технічного обслуговування, встановлених в організації правил і стандартів нормативних документів пов'язано з проблемами, що виходять за межі виконання роботи окремими особами, оскільки така поведінка не з'являється раптово.

Серед факторів, що провокують аварії, можна назвати недоробки в конструкції обладнання, незадовільну інтеграцію людини і машини, недостатню підготовку персоналу, а також неефективні методи управління та недоліки в організаційних структурах. Однак, для аналітичних цілей необхідно розмежування між прихованими умовами (що створюються розробниками, виробниками, інструкторами, керівниками) та активними помилками (операторів).

3.3 Моделі та методи оцінювання якості робіт інженерно-технічного складу при технічному обслуговуванні виробів авіаційної техніки

Показник якості результат $Y^{(m)}$ операції являє собою в загальному випадку m – мірний вектор, що складається з трьох відповідних груп компонентів ($m = m_1 + m_2 + m_3$):

$$Y^{(m)} = \langle g^{(m_1)}, C^{(m_2)}, T^{(m_3)} \rangle. \quad (3.1)$$

де $g^{(m_1)}$ – корисний ефект;

$C^{(m_2)}$ – витрачені ресурси;

$T^{(m_3)}$ – час проведення операції.

Вектор $Y^{(m)}$ може бути остаточно сформованим, коли формульована мета операції $Y^{(m)}_{mp}$, що задає потрібний результат Y_{mp} операції.

Формулювання мети операції дозволяє формувати вектор параметрів цілеполягання:

$$Y^{(m)}_{mp} = \langle g^{(m_1)}_{mp}, C^{(m_2)}_{mp}, T^{(m_3)}_{mp} \rangle. \quad (3.2)$$

Який задає в загальному випадку область допустимих значень (кількісних або якісних) відповідних показників якості $Y^{(m)}$ реального результату операції Y .

Для кількісного описання відповідності реального результату Y операції потрібному Y_{mp} беруть формально введену числову функцію відповідності:

$$\rho = \rho(Y^{(m)}, Y^{(m)}_{mp}) \quad (3.3)$$

На практиці дослідження ефективності операцій користуються частковими функціями відповідності, які вводять для окремих груп відповідних компонент векторів $Y_{mp}^{(m)}$ і $Y^{(m)}$, тобто:

$$\begin{aligned}\rho_{(1)} &= \rho_{(1)}(g^{(m_1)}, g_{mp}^{(m_1)}), \\ \rho_{(2)} &= \rho_{(2)}(C^{(m_2)}, C_{mp}^{(m_2)}), \\ \rho_{(3)} &= \rho_{(3)}(T^{(m_3)}, T_{mp}^{(m_3)}),\end{aligned}\tag{3.4}$$

Або для кожної пари відповідних компонент:

$$\rho_i = \rho_i(Y_i, Y_{mpi}), \quad i = \overline{1, m}.\tag{3.5}$$

Показник ефективності операції W вводиться формально як математичне очікування загальної функції відповідності:

$$W = M[\rho(Y^{(m)}, Y_{mp}^{(m)})]\tag{3.6}$$

Вживаючи операцію математичного очікування до часткових функцій відповідності $\rho_{(1)}, \rho_{(2)}, \rho_{(3)}, \rho_{(i)}$, отримуємо часткові показники ефективності, відповідно $W_{(1)}, W_{(2)}, W_{(3)}, W_{(i)}$. Тоді показник ефективності W операції являє собою сукупність векторних або скалярних часткових показників ефективності, тобто:

$$\begin{aligned}W &= \langle W_{(1)}, W_{(2)}, W_{(3)} \rangle, \\ W &= \langle W_1, W_2, \dots, W_m \rangle.\end{aligned}\tag{3.7}$$

У загальному випадку реальний результат Y , а отже, й показник ефективності W операції залежать від обраної стратегії $u \in U$:

$$\begin{aligned} Y^{(m)}(u) &= \langle g^{(m_1)}(u), C^{(m_2)}(u), T^{(m_3)}(u) \rangle, \\ W(u) &= M[\rho(Y^{(m)}(u), Y_{mp}^{(m)})] \end{aligned} \quad (3.8)$$

Залежність показника ефективності $W(u)$ від обраної стратегії $u \in U$ та інших суттєвих факторів, які визначають комплекс умов проведення операції, задається в загальному вигляді складального відображення:

$$\Psi : \{H : U \times \Lambda \rightarrow Y^{(m)}\} \rightarrow W, \quad (3.9)$$

де $H : U \times \Lambda \rightarrow Y^{(m)}$ - модель результату, яка дозволяє обчислити значення реального результату Y операції для кожної стратегії $u \in U$;

Λ - множина визначених та невизначених факторів, що формують умови обстановки (проведення) операцій.

Найбільший практичний інтерес являють дослідження ефективності операцій до їх проведення, що вимагає використання методу математичного моделювання. Формально процес дослідження можна надати таким чином:

$$\begin{aligned} \{X, R\} \times T^{\theta(k)} &\Rightarrow \{X^\Gamma(k), R^\Gamma(k)\} \times T^\Gamma \Rightarrow \theta_z^\Gamma(k) \Rightarrow \theta_z(k) \Rightarrow \theta^{(k+1)} = \theta^{(k)} \cup \theta_z(k), \\ k &= 0, 1, 2, \dots, \end{aligned} \quad (3.10)$$

де $\{X, R\}$ – множина елементів X системи й зв'язків R поміж ними;

T – множина моментів часу;

$\{X, R\} \times T^{\theta(k)}$ – процес функціонування технічної системи;

$\{X^\Gamma(k), R^\Gamma(k)\} \times T^\Gamma$ – відображення процесу $\{X, R\} \times T$, (модель операції);

$\theta^{(k)}$ – інформація про операції на k -ому ході дослідження;

$\theta'_z(k)$ – нова інформація, отримана за результатами моделювання;

$\theta_z(k)$ – нові знання про операції, котрі отримані на основі інформації $\theta'_z(k)$.

Приведена модель змістовно розкриває сутність задачі дослідження як задачі отримання нових знань про об'єкт дослідження для прийняття рішень.

Якщо вважати, що імовірність одночасного проявлення двох чи більш помилок до зневажання мала й що кожна помилка може бути практично миттєво компенсована з імовірністю $P_{o.k}$, то імовірність безвідмовної роботи ЕС протягом часу $[t_1, t_1 + \Delta t]$ буде визначатися виразом:

$$P_o(t_1, \Delta t) = P_{TC}(t_1, \Delta t) \{ P_{OP}(\Delta t) + [1 - P_{OP}(\Delta t)] P_{o.k} \}. \quad (3.11)$$

де $P_{TC}(t_1, \Delta t)$ – імовірність безвідмовної роботи ПС протягом часу $[t_1, t_1 + \Delta t]$;

$P_{OP}(\Delta t)$ – імовірність безвідмовної роботи ОП протягом часу Δt за умови, що ПС працює безвідмовно.

Компенсація помилок являється важливим шляхом підвищення надійності ПС. При цьому імовірність безвідмовної роботи ПС протягом часу $[t_1, t_1 + \Delta t]$:

$$P_T(t_1, \Delta t) = P_{OP}(t_1, \Delta t) \{ P_{TC}(\Delta t) + [1 - P_{TC}(\Delta t)] P_{T.K}(t_1, \delta, t_1 + \Delta t) \}, \quad (3.12)$$

де $P_{T.K}(t_1, \delta, t_1 + \Delta t)$ – умовна імовірність безвідмовної роботи протягом часу $[t_1, t_1 + \Delta t]$ ПС з компенсацією наслідків відмов ТС за умови, що в момент δ відбулася відмова й вона була компенсована ($t_1 < \delta < t_1 + \Delta t$).

При компенсації як помилок ОП, так й відмов ТС імовірність безвідмовної роботи ПС протягом часу $[t_1, t_1 + \Delta t]$ дорівнює:

$$P(t_1, \Delta t) = \{ P_{OP}(\Delta t) + [1 - P_{OP}(\Delta t)] P_{o.k} \} \{ P_{TC}(t_1, \Delta t) + [1 - P_{TC}(\Delta t)] P_{T.K} \}. \quad (3.13)$$

Для визначення $P(t_i, \Delta t)$ з урахуванням діяльності обслуговуючого персоналу необхідно:

- знати імовірні помилки людини, котрі можуть бути здійснені під час виконання нею кожної одиночної операції, яка входить до трудового процесу;
- знати найбільш значимі й такі, що часто зустрічаються помилки, котрі можуть з'явитися при експлуатації даного типу ПС;
- визначити очікувану частоту відмов з вини людини для даного ПС.

Імовірність досягнення мети при цьому дорівнює:

$$P(A_{ij}) = 1 - \bar{P}_{OP}(H_{ij})P(\bar{A}_{ij} / H_{ij}), \quad (3.14)$$

де $P_{on}(H_{ij})$ – імовірність того, що при виконанні задачі j -го типу виникає помилка i -го виду;

$P(A_{ij}/H_{ij})$ – умовна імовірність не досягнення робочої мети при появі i -го виду помилки ОП в ході виконання j -ї задачі;

$P(\bar{A}_{ij})$ – імовірність не досягнення робочих цілей в результаті виникнення помилки i -го виду помилки при виконанні задачі j -го типу.

Якщо помилки вважати незалежними, то

$$P(A_j) = \prod_{i=1}^N [1 - \bar{P}_{OP}(H_{ij})P(\bar{A}_{ij} / H_{ij})], \quad (3.15)$$

де $P(A_j)$ – імовірність досягнення мети при рішенні задачі j -го типу при усіх N видах помилок ОП.

Якщо помилки – взаємно виключні події, то:

$$P(A_j) = 1 - \sum_{i=1}^N \bar{P}_{OP}(H_{ij})P(\bar{A}_{ij} / H_{ij}). \quad (3.16)$$

Імовірність досягнення робочої мети в усіх n_j випадках виконання задач j -го типу, якщо види помилок незалежні, буде:

$$P(A_j) = \left\{ \prod_{i=1}^N [1 - \bar{P}_{оп}(H_{ij})P(\bar{A}_{ij} / H_{ij})] \right\}^{n_j}. \quad (3.17)$$

Якщо усі m типів задач й N видів помилок незалежні, загальна імовірність досягнення робочої мети

$$P(A_j) = \prod_{j=1}^m \left\{ \prod_{i=1}^N [1 - \bar{P}_{оп}(H_{ij})P(\bar{A}_{ij} / H_{ij})] \right\}^{n_j}. \quad (3.18)$$

Якщо помилки взаємно виключають одна другу, то

$$P(A_j) = \prod_{j=1}^m \left[1 - \sum_{i=1}^N \bar{P}_{оп}(H_{ij})P(\bar{A}_{ij} / H_{ij}) \right]^{n_j}. \quad (3.19)$$

Працездатність різних технічних систем характеризується за звичай значенням складових деякого вектору параметрів $\bar{u} \{U_{ij}\}$, $i = \overline{1, n}$. Через встановлений проміжок часу T_j (j - умовний номер виду профілактичного обслуговування об'єкту) проводиться контроль стану $\{U_{ij}\}$ й за його результатами - управління якістю системи за наперед розробленим алгоритмом.

Значення параметрів, що контролюються, в загальному випадку при їх вимірюванні визначаються з помилками, котрі не рідко можуть бути суттєвими й вносити значну невизначеність в аналіз технічного стану об'єкту.

Крім того, часто вимірювання параметрів, що визначають стан й працездатність ПС, проводиться опосередковано. В таких випадках помилки

вимірювання можуть бути особливо значні. Існування помилок вимірювання, до речі, може привести до хибних рішень про виконання попереджувальних або ремонтних робіт.

Широкий клас систем технічної експлуатації можна описати за допомоги математичних моделей на основі напівмарковських процесів з кінцевою множиною станів. В таких моделях неважко враховувати різні пропозиції з надійності систем та елементів, правил проведення відновлювальних і профілактичних робіт й характеристик прояви відмов. Оскільки втручання в роботу технічної системи проводиться в дискретні моменти часу, то в моделях можна враховувати лише дискретні управління.

Напівмарковський процес $\xi(t)$ з кінцевою множиною станів $E = (e_0, \dots, e_F)$ задається набором монотонних по t -функцій [22, 25]:

$$Q_{ij}(t, x), i, j \in (0, 1 \dots F), \quad (3.20)$$

таких, що $0 \leq Q_{ij}(t, x) \leq 1$, $Q_{ij}(\infty, x) = p_{ij}(x)$; $\sum_j p_{ij} = 1$.

Рішення x_k приймається при переході процесу в стан e_k . З урахуванням управління процес задається функціями:

$$\begin{aligned} Q_{ij}(t) &= \int_X Q_{ij}(t, x_i) d\Phi(x_1, \dots, x_F) = \int_X Q_{ij}(t, x_i) d\Phi_i(x_i); \\ p_{ij} &= \int_X p_{ij}(x_i) d\Phi_i(x_i). \end{aligned} \quad (3.21)$$

Якщо в деякий момент T процес перейшов до стану e_i , тобто $\xi(T) = e_i$, то призначають управляючий вплив x у відповідності до розподілу $\Phi_i(x)$. Обране x визначить імовірність переходу в наступний стан $p_{ij}(x)$ і функцію розподілу

$F_{ij}(t, x)$ випадкового часу τ перебування в стані e_i . Ця функція розподілу дорівнює:

$$F_{ij}(t, x) = Q_{ij}(t, x) / p_{ij}(x). \quad (3.22)$$

В напівмарковських процесах вихідна інформація у вигляді матриці перехідних ймовірностей $P = [P_{ij}]$ та законів розподілу $F(x)t = [F_{ij}(x)]$ дозволяє врахувати як елемент випадковості у виборі поведінки (при прийнятті рішення, внаслідок помилок виконання і т.інш.) за рахунок ймовірностей P_{ij} , так й елемент випадковості у тривалості виконання операцій за рахунок законів розподілу $F_{ij}(x)$. Однак, апарат напівмарковських процесів не дозволяє моделювати операції, що виконуються, й кінцеве число виконуючих операцій. Таким чином вони задовольняють тільки вимогам оцінювання процесу, але основним їх недоліком є неадекватність логіці процесів функціонування.

3.4 Можливості CALS-технологій у забезпеченні процесу технічного обслуговування авіаційної техніки

Побудова моделі інформаційного забезпечення системи підтримання льотної придатності виробів АТ, заснованої на без паперовому обміні інформацією з урахуванням сучасних тенденцій, можливо з використанням CALS-технологій.

В середині 80-х років ХХ століття створення концепції CALS, в інтересах Міноборони США, було викликано необхідністю підвищення ефективності управління та скорочення витрат на інформаційну взаємодію між державними установами та комерційними підприємствами при доставках озброєнь і військової техніки. В даний час ідея CALS сформувалася в цілий напрям в області ІТ і оформилася у вигляді стандартів ISO, національних (державних) стандартів США і нормативних документів мін оборони США. Суть концепції CALS полягає в

застосуванні принципів і технологій інформаційної підтримки на всіх стадіях життєвого циклу продукції, заснованої на використанні інтегрованого інформаційного середовища (ПС), в якій забезпечуються однакові способи управління процесами взаємодії всіх учасників цього циклу: замовника продукції, постачальників (виробників) продукції, сервісних і ремонтних організацій. Ці принципи і технології реалізуються відповідно до вимог міжнародних стандартів регламентують правила управління і взаємодії переважно за допомогою електронна обміну даними.

Основне призначення інформаційних технологій авіаційної галузі - вдосконалення управління бізнес-процесами не тільки на стадії розробки і виробництва, але і на етапі експлуатації. Впровадження CALS-технологій на протязь всього життєвого циклу АТ призведе до вдосконалення як процесів конструювання і виробництва, так і процесу ТО експлуатації. Авіакомпанії прагнуть полегшити доступ до технічної документації та запасних частин шляхом замовлення в режимі реального часу, що значно підвищує ефективність ТО і матеріально-технічного забезпечення. Активна конкуренція з боку зарубіжних виробників АТ, а також тенденція до розширення коопераційних зв'язків із зарубіжними виробниками призводять до необхідності прискорювати процес впровадження ІТ на вітчизняних авіапідприємствах.

Потенційних замовників авіаційної продукції цікавлять не тільки високі технічні характеристики продукції, але і якість після продажного супроводу цієї продукції на етапі експлуатації.

Аналіз сучасних методів і технологій інформаційного забезпечення єдиного процесу створення і виробництва АТ, спрямованого на підвищення ефективності сучасної системи експлуатації АТ, виявив такі основні організаційно-технологічні процеси, які повинні бути впроваджені на початкових етапах створення для забезпечення ефективної системи після продажної підтримки АТ:

- інтегрована комп'ютеризація;
- єдиного інформаційного середовища, інтелектуальна комп'ютерне середовище в електронній формі для всіх учасників життєвого циклу (ЖЦ);

- повне електронне визначення виробів;
- застосування передових інформаційних технологій, програмних і апаратних засобів;
- використання міжнародних стандартів в області ІТ;
- інформаційна модель ресурсів; віртуальні підприємства;
- забезпечення інформаційної безпеки, регламентований доступ;
- забезпечення економічно-ефективного впровадження заходів в області інформаційних технологій.

Відповідно до концепції CALS інформаційні технології поширюються на всі основні етапи ЖЦ виробу АТ, а саме: при створенні науково-технічного доробку, проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт; оцінки технічного рівня виробу; маркетингу з відповідним бізнес планом; проектуванні конструкцій; технологічної підготовки виробництва; організації та управління серійним виробництвом; матеріально-технічним постачанням; льотних випробуваннях і дослідженнях; сертифікації; експлуатації, гарантійне і післягарантійне обслуговування, усунення несправностей, модернізації, капітально-відновлювальному ремонті, демонтажі і утилізації виробів; безперервної підготовки кадрів (рисунок 3.3).

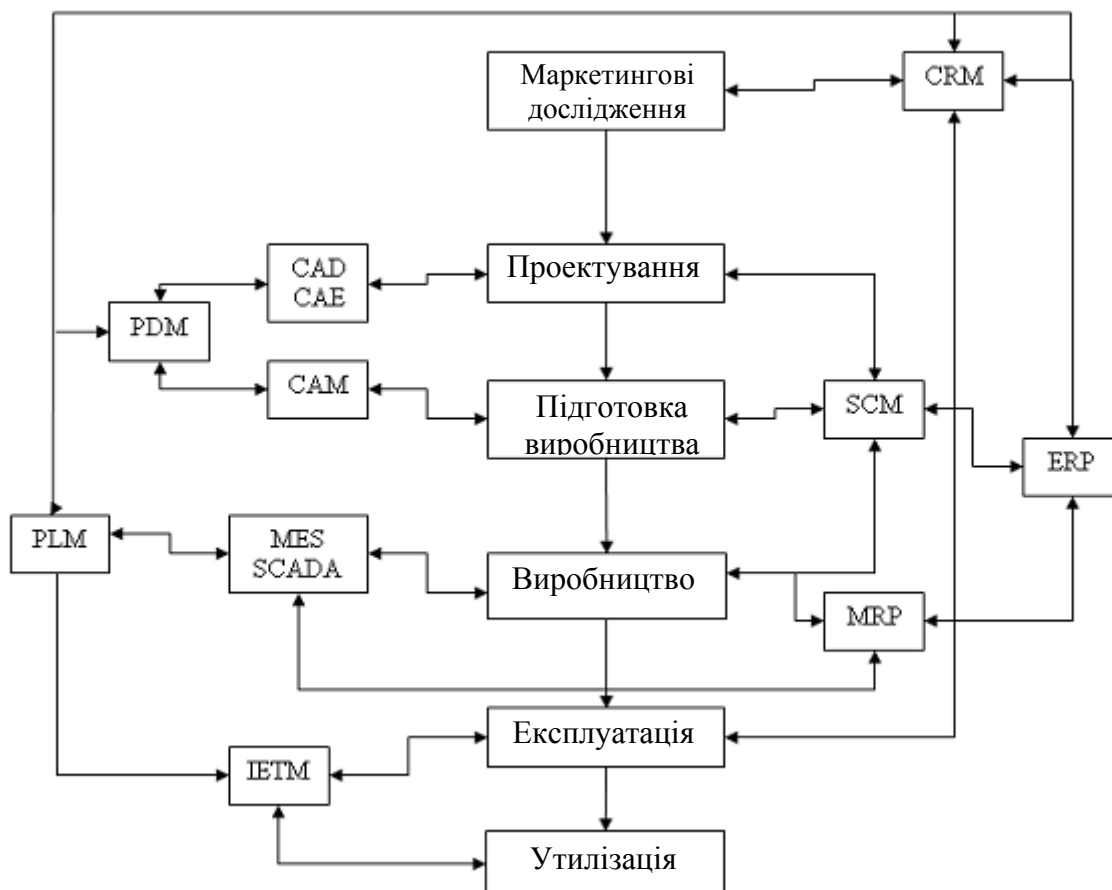


Рисунок 3.3 – Зв'язок програмних продуктів з ЖЦ виробу

Проектне управління процесом створення, виробництва і організації системи після продажної підтримки новостворюваного АТ спочатку формується на основі послідовно уточнюється конструкторської та виробничо-технологічної структури виробу, підтримуваної в системі PDM (Product Data Management), тобто PDM-система виконує функції з управління технічним станом ПС, ідентифікації ПС і його агрегатів.

Дані в PDM-систему надходять:

а) на етапі проектування з CAD-систем, мета яких створення тривимірних моделей, оформлення креслень і текстової конструкторської документації. У CAE-системах виробляються інженерні розрахунки (починаючи від розрахунків на міцність, аналізу систем до гідравлічного розрахунку систем, розрахунків процесу лиття) в яких використовується модель, створена в CAD-системі.

б) На етапі підготовки виробництва з CAD-системи модель завантажують в САМ-систему, де відбувається проектування обробки виробів на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) і видачі програм для цих верстатів (фрезерних, свердлильних, пробивних, токарних, шліфувальних і ін.).

Синхронізація, координація, аналіз та оптимізація випуску продукції на етапі виробництва здійснюється за допомогою системи MES (Manufacturing Execution System). За допомогою SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) розробляють ПЗ систем управління технологічними процесами в реальному часі (АСУ ТП) і віддаленого збору даних.

Оскільки вже зараз є тенденція до посилення конкуренції між компаніями, що здійснюють ТО АТ, і виробниками запасних частин і компонентів в сфері надання послуг з ТО АТ авіакомпаній, виробники нарощують зусилля з продажу їх виробів в пакеті з системою після продажною підтримки. Щоб керувати цим процесом виробники потребують спеціалізованих програмних продуктах. Таких, наприклад, як системи управління інтерактивними електронними технічними посібниками (ІЕТР / ІЕТМ), які відіграють роль на етапі післяпродажного обслуговування.

ІЕТР також є єдиним способом доступу експлуатуючої організації до єдиного інформаційного простору.

Організаційно-технічною системою, що забезпечує управління всією інформацією про виріб і пов'язаних з ним процесах протягом усього його життєвого циклу, починаючи з проектування і виробництва до зняття з експлуатації є система PLM (Product Lifecycle Management). При цьому в якості виробів можуть розглядатися різні складні технічні об'єкти (кораблі і автомобілі, літаки і ракети, комп'ютерні мережі та ін.). Система управління взаємодією з клієнтами CRM-система (Customer Relationship Management) - корпоративна інформаційна система, призначена для поліпшення обслуговування клієнтів шляхом збереження інформації про клієнтів і історію взаємин з клієнтами, встановлення і поліпшення бізнес-процедур на основі збереженої інформації і

подальшої оцінки їх ефективності. Функції системи це маркетингові дослідження, аналіз продажів і забезпечення сервісного обслуговування.

RP-система (Enterprise Resource Planning System) - корпоративна інформаційна система, призначена для автоматизації обліку і управління. Основні функції ERP систем: ведення конструкторських і технологічних специфікацій, що визначають склад вироблюваних виробів, а також матеріальні ресурси і операції, необхідні для його виготовлення; формування планів продажів і виробництва; планування потреб в матеріалах і комплектуючих, термінів та обсягів поставок для виконання плану виробництва продукції; управління запасами і закупівлями: ведення договорів, реалізація централізованих закупівель, забезпечення обліку і оптимізації складських і цехових запасів; планування виробничих потужностей від укрупненого планування до використання окремого устаткування; оперативне управління фінансами, включаючи складання фінансового плану і здійснення контролю його виконання, фінансовий і управлінський облік; управління проектами, включаючи планування етапів і ресурсів, необхідних для їх реалізації.

Автоматизація, управління всіма етапами постачання і контроль за все руху товару підприємства, а також планування виробництва і запасів на етапах проектування, підготовки виробництва і виробництва забезпечується за допомогою комп'ютерних методологій, а саме SCM-систем (Supply Chain Management) і MRP-систем (Material Requirement Planning).

SCM- і MRP-системи, що входять найчастіше до складу ERP-систем, виконують функцію управління коштами ТО.

Проаналізувавши можливості CALS-технологій для всього ЖЦ виробу, їх відповідність усім міжнародним стандартам, а також наявність додаткових складових компонентів, що дозволяють експлуатанту ефективніше здійснювати процедури по ТО. З огляду на, що використання CALS-технологій дозволяє інтегрувати між собою конструкторські, технологічні та експлуатаційні дані в єдину базу, що виключить можливість появи помилки при копіюванні одних і тих же даних. Можна зробити висновок про можливість застосування CALS-технологій при створенні ефективних систем підтримки ТО в Україні.

Однак, для використання цих спеціалізованих систем, необхідне рішення комплексу науково-технічних завдань, зі створенням інтелектуальної системи, в якій можлива взаємодія між безліччю оперативних елементів, які є складовими елементами цієї системи.

Побудова спеціалізованої системи ТО вимагатиме формування, перш за все, спеціальної мови ТО, в основу якого повинні бути покладені: базове безліч понять (БМП); базове безліч відносин (БМО).

На основі БМП і БМО повинна бути сформована базова сфера знань, яка будується, в рамках пропонованих програмних комплексів, які використовуються для реалізації підтримки ТО.

Розглядаючи ТО як оперативну систему, що представляє, як вказано вище, дискретну сукупність елементів необхідно створення базової сфери знань для конкретного ПС. Тоді поняття оперативної системи буде еквівалентно базової сфері знань, яка в свою чергу є розширенням поняття дискретної ситуаційної мережі. При цьому оперативна задача для систем такого типу може, охарактеризована як базова сфера знань, для якої задана функція мети.

Стратегія, яка формується в результаті роботи моделі екстраполяції для реалізації функції мети, являє собою послідовність трансформаційних перетворень вихідної базової сфери знань в базову сферу знань, що задовольняє цієї мети.

Стратегія, яка формується в результаті роботи моделі екстраполяції для реалізації функції мети, являє собою послідовність трансформаційних перетворень вихідної базової сфери знань в базову сферу знань, що задовольняє цієї мети. Для реалізації такої стратегії необхідно розробка системи моделей: моделі опису статичних відносин; моделі опису ситуаційних відносин; моделі узагальнення понять; моделі екстраполяції ситуацій.

Висновки: методи знаходження рішень в проблемних ситуаціях, зокрема, для ефективного управління ТО можуть бути реалізовані в спеціалізованих експертних системах. Для можливості застосування CALS-систем при створенні ефективних УІС ТО АТ необхідно розглянути їх на відповідність українським і

міжнародним стандартам і виробити критерії оцінки взаємодії програмних продуктів з користувачем з точки зору забезпечення ефективної системи підтримання льотної придатності АТ.

Висновок до розділу 3

1. Розглянуто моделювання процесів управління якістю робіт авіаційного персоналу при технічному обслуговуванні повітряних суден і авіаційних двигунів.

2. Досліджено, що використання функціонально-структурної теорії, при дослідженні впливу людини на надійність об'єктів експлуатації, забезпечує можливість оцінки показників якості роботи усіх категорій ІТС.

3. Досліджено, чим в сучасному підході являє собою людський фактор та його вплив на процеси ТО.

4. Розглянуто формалізовані моделі процесів технічного обслуговування із застосуванням напівмарковського математичного апарату.

5. Проаналізовано залежність безпеки польотів та ефективності використання повітряних суден від якості роботи авіаційного персоналу.

6. Досліджено граф станів ПС в процесі експлуатації та підхід функціонально-структурній теорії, що приводить до необхідності урахування особливостей характеру та фізіологічного стану ЛФ, при моделюванні.

7. Для можливості застосування CALS-систем при створенні ефективних управляючих систем ТО АТ необхідно розглянути їх на відповідність українським і міжнародним стандартам і виробити критерії оцінки взаємодії програмних продуктів з користувачем з точки зору забезпечення ефективної системи експлуатації.

РОЗДІЛ 4

ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМ ПРОГНОСТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

4.1 Алгоритм і процедури регламентації процесів прогностичного технічного обслуговування повітряних суден

Для побудови імітаційних моделей формування прогностичного технічного обслуговування авіаційної техніки пропонується обрати метод групування заснований на принципі розподілу робіт за формами ТО через прямий перебір альтернативних сіток регламентного технічного обслуговування (РТО) за критерієм мінімуму питомих витрат на експлуатацію за умови забезпечення нормованих рівнів безпеки польоту ПС [8].

Сітка регламенту формується з оперативних форм ТО і повного циклу форм періодичного ТО в межах міжремонтного (призначеного) ресурсу ПС кратних однією з базових періодичностей. З огляду на те, що оперативні форми залежать, в основному, від режиму експлуатації і виконуються після посадки або перед польотом ПС, після декількох польотів в кінці льотного дня, то періодичність відповідна цим формам для сітки регламенту вибирається залежно від типу і класу ПС, тривалості польоту, середньодобового нальоту.

Базові періодичності, кількість форм періодичного обслуговування вибираються з урахуванням особистих якостей експлуатації, класу і типу ПС, методів ТО (роздільний, поєднаний), міжремонтного ресурсу, раціональності обліку і планування робіт по ТО [26].

Періодичності виконання форм ТО використовуються, як центри групування робіт по ТО.

Зони групування формуються навколо центрів і поділяються порогами між групового розсіювання:

$$T_{z\ ij} = T_i + X_j(T_{i+1} - T_i), \quad (4.1)$$

де T_i - періодичність виконання i -ї форми ТО;

T_{i+1} - періодичність виконання наступної форми ТО;

X_j - послідовно приймається від одної десятої до одиниці з кроком одна десята.

Періодичність ТО і контролю стану кожного агрегату системи порівнюється послідовно з порогами між групового розсіювання і якщо виявиться, що τ_{kort} більше або рівне $T_{z\ ij}$, то періодичність даної роботи приймає значення відповідного центру групування (періодичності форми ТО). Після багаторазових ітерацій ми отримуємо різні варіанти розподілу робіт для одного мережива регламенту. Для кожного випадку при нових періодичність виконання робіт перевіряється умова забезпечення заданого рівня БП.

Як було досліджено, можливий варіант формування прогностичної програми ТО складається з таких кроків: систематизація необхідної інформації для розробки регламенту ТО; проведення структурно-логічного аналізу об'єкту; вибору методу експлуатації та виду робіт, щодо запобігання виникненню функціональних відмов; імітаційне моделювання для створення прогностичних робіт з контролю ТС; синтез прогностичних форм ТО та оптимізація періодичності їхнього виконання; синтез РТО за прогресивними методами ТО та формування структури прогностичної програми ТО.

Вибір робіт з ТО здійснюється поетапно з урахуванням інформації про експлуатаційні властивості виробу і його функціональних зв'язків з іншими елементами. Схема етапів формування прогностичного регламенту ТО ПС на рисунку 4.1.

Під час вибору робіт з контролю технічного стану виробу важливо враховувати [5-7]:

- характер функціонування виробу;
- параметри, що характеризують технічний стан виробу;

- характер фізико-хімічних процесів, які зумовлюють втрату працездатності виробом;
- надану номенклатуру засобів контролю.

Ухвалення рішення про вибір виду робіт по контролю для конструктивних елементів планера ПС здійснюється за алгоритмами представленим на рисунку 4.2.

Залежно від обраного методу експлуатації, прийнятої системи контролю, а також характеру і фізичної сутності процесів, які обумовлюють втрату працездатності ПС, проводиться оптимізація режиму контролю з використанням імітаційного моделювання. При цьому імітаційна модель включає моделі оптимізації параметричного контролю, контролю працездатності резервуються виробів, групування робіт за формами ТО.

Результатом імітаційного моделювання є розподіл робіт за формами технічного обслуговування задовольняє умовам:

- забезпечення мінімальних питомих витрат на експлуатацію $C_{нт.екс.}$ і регламентованих рівнів безпеки польотів $Q_{Ri}(t)$;
- виконання робіт по ТО по раціональній схемою з організаційної точки зору.

Формування структури регламенту проводиться відповідно до вимог [7, 8, 18, 19]. Структура забезпечує можливість коригування обсягу і періодичності виконання окремих робіт технічного обслуговування без зміни регламенту обслуговування в цілому.

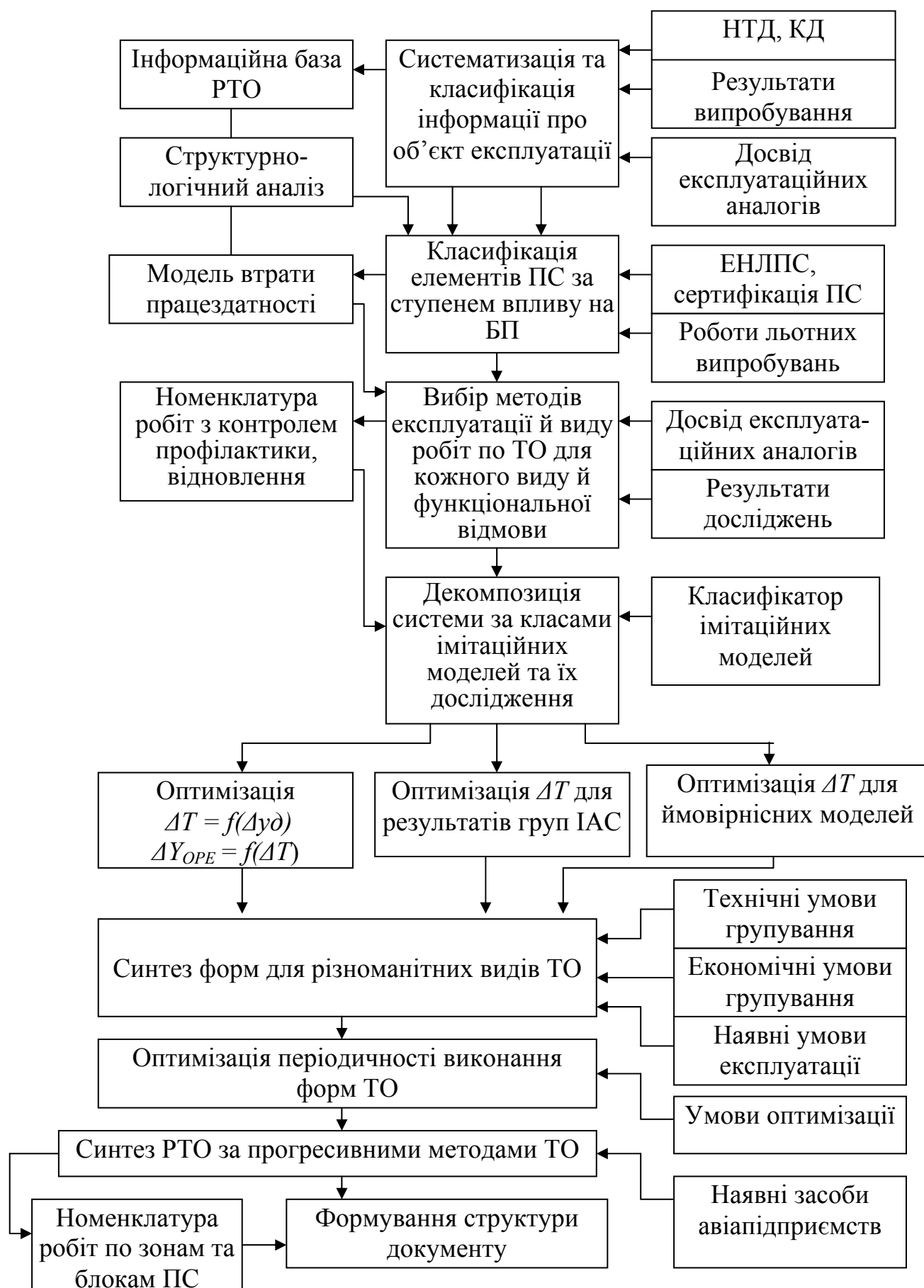


Рисунок 4.1 – Схема етапів формування адаптивного регламенту ТО ПС

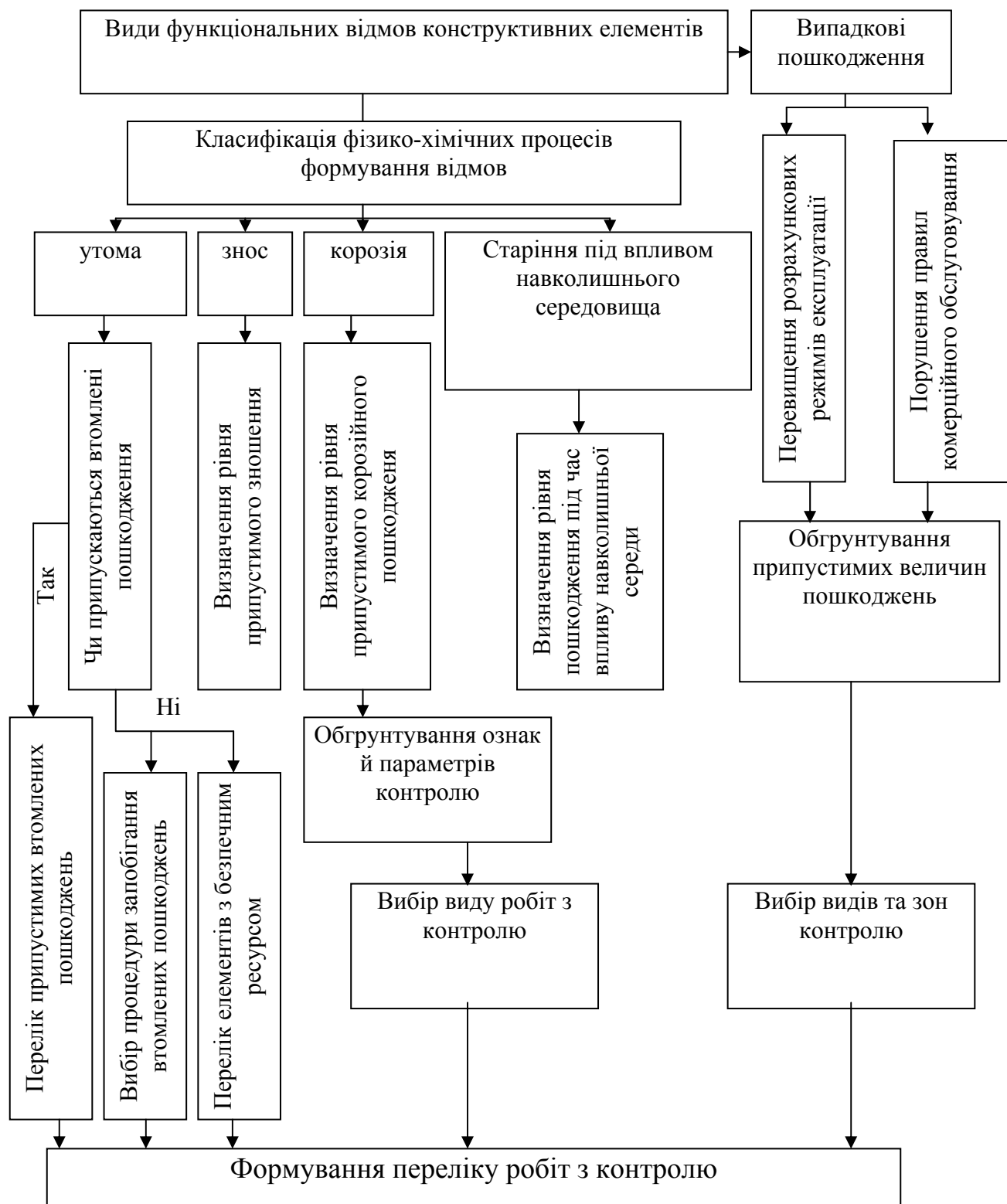


Рисунок 4.2 – Алгоритм прийняття рішення при виборі видів робіт з контролю стану конструктивних елементів планеру ПС

4.2 Імітаційні аналітичні моделі формування прогностичних поступових відмов виробів авіаційної техніки та контролю їх стану

Встановлення аналітичного виразу функції розподілу випадкових величин (наробітку, ресурсу, тощо) дозволяє визначити необхідні показники надійності (середні та гама-відсоткові показники, ймовірність безвідмовної роботи, тощо). У цьому випадку вибір цієї чи іншої теоретичної моделі відмов обумовлює певну точність одержуваних кількісних показників надійності [25].

Вибір моделі відмов проводять на підставі аналізу:

- статистичних даних наробітків до відмови (ресурсу чи зберігання);
- фізичних процесів деградації, які спричиняють відмову (граничний стан).

Перший підхід встановлення закономірностей появи відмов полягає у притягненні деяких розподілів випадкових величин (розподіли експоненціальний, логарифмічно-нормальний, нормальний, Вейбулла), які не пов'язані з фізичними явищами, що спричиняють формування розподілу відмов.

Другий підхід для встановлення закономірностей появи відмов здійснюється на підставі аналізу статистичних закономірностей протікання фізичних процесів, які спричиняють відмови. Цей підхід визначає моделі відмов, параметри розподілу яких мають конкретну фізичну інтерпретацію.

Урахування фізичної природи відмов та причин їх виникнення під час формалізування моделей відмов визначає фізичне обґрунтування або фізичність моделей відмов та дозволяє ефективніше вирішувати практичні завдання надійності.

Метою даного дослідження є моделювання кількості відмов і час перебування елемента в непрацездатному стані, варіюючи довжиною періоду контролю t_k , інтенсивністю відмов λ_i та ймовірністю виявлення відмови P_k , тобто отримання функції:

$$T_{ожс} = f(t_k, \lambda_i, P_k), \quad (4.2)$$

та перевірити коректність її застосування для практичних розрахунків.

Контроль проводиться з періодичністю t_k , ймовірністю виявлення відмови P_k . Елементи, що відмовили (котрі виявлені в результаті контролю), відновлюються, невиявлені чекають в стані відмови до наступного контролю, й процес контролю повторюється до міжремонтного ресурсу, коли виріб замінюється (відновлюється) незалежно від стану.

При цьому середній час перебування елемента на об'єкті в непрацездатному стані буде дорівнювати для першого періоду:

$$t_{BP}^{\Delta \tau_1} = \frac{\sum_{i=1}^{Z_1} t_{ожс_1}}{Z_1}. \quad (4.3)$$

Враховуючи пропускання частини відмов контролем, їх середній час перебування в несправному стані буде дорівнювати:

$$t_{BP}^{\Delta \tau_1} = \frac{\sum_{i=1}^{Z_1} t_{ож_1}}{Z_1}. \quad (4.4)$$

Для n -ого контролю ця формула буде мати вигляд:

$$t_{BP}^{\Delta \tau_n} = \frac{\sum_{i=1}^{Z_2} t_{BP} + \sum_{i=1}^{Z_{n+1}} t_{BP}^{\Delta \tau_n}}{Z_n + Z_{n-1}^n}. \quad (4.5)$$

де $T_{ожс}$ - середній час перебування несправного елемента на працюючому об'єкті.

В результаті розрахунку визначаємо відносний середній час перебування несправного елемента на працюючому об'єкті $\overline{T}_{ож}$:

$$\overline{T}_{ож} = T_{ож} / \Delta\tau_k ; \quad (4.6)$$

- середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{t_{ож}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{ожi} - \overline{t_{ож}})^2 ; \quad (4.7)$$

- відсоткове середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{t_{ож}} \% = \frac{\sigma_{t_{ож}}}{\overline{t_{ож}}} 100\% . \quad (4.8)$$

Для практичного використання даної імітаційної моделі з урахуванням контролю та відновлення в процесі експлуатації потрібно задатися:

- інтенсивністю виникнення відмов елементів λ ;
- ресурс виробів T_{MP} , рахунок котрого ведеться в годинах використання за призначенням;
- кількість елементів, що досліджується N_L , тобто кількість однакових елементів, які працюють на парку виробів;
- періодичність контролю $\Delta\tau_k$;
- вірогідність контролю P_k ;
- кількість випробувань N_i для визначення середнього часу від моменту виникнення відмови до її виявлення під час контролю ресурсу виробу T_{MP} .

Для отримання випадкового часу виникнення функціональної відмови i -того елемента з N_L , що експлуатуються, будемо оперувати випадковими числами й отримуємо наступну властивість дистрибути рівномірного розподілу:

$$t = -\lambda \log(1-n), \quad (4.9)$$

$$F_X(x) = \int_1^x f(\theta) d\theta, \quad (4.10)$$

де $F_X(x)$ - дистрибуант випадкової величини;

$f(\theta)$ - функція щільності випадкової величини.

До того ж, визначаємо випадковий час відмов t_i й до часу t_i додаємо поправку ΔT , яке враховує, що з початку експлуатації виробів відмова виникла за час:

$$t_i = t_i + \Delta T. \quad (4.11)$$

Таким чином вдасться уникнути помилки, якої найчастіше припускаються, коли вважають, що при контролі й відновленні усі елементи, що належать контролюванню, відновлюються.

Для виробів АТ, технічний стан котрих характеризується зміною параметру, що їх визначає (діагностує), під час обирання оптимального режиму ТО розв'язуються такі головні задачі:

- визначення оптимальної періодичності контрольних операцій Δt при заданій величині попереджувального припускання ΔY ;
- визначення оптимального попереджувального допущення на параметр при заданій періодичності виконання контрольних операцій;

- визначення оптимального поєднання періодичності виконання контрольних операцій й попереджувального допущення на визначний параметр.

Реалізація цих задач здійснюється за допомогою імітаційних моделей, які враховують динаміку показників процесу експлуатації парку виробів, опираючись на використанні різноманітних стратегій експлуатації. Характер змінення визначального параметру за наробітком, який побудований у відносних координатах, подано на рисунку 4.3.

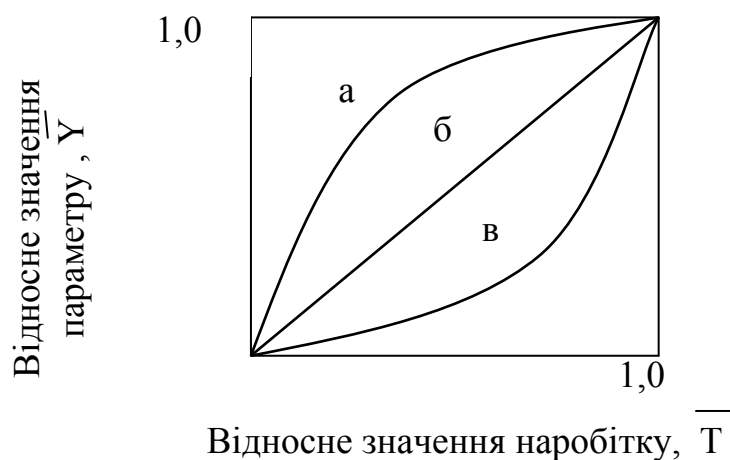


Рисунок 4.3 – Варіанти можливого змінення визначального параметру за наробітком

На вісі ординат відкладено значення $Y = Y_{TEK} / Y_{дон}^{TEK}$. Значення $Y = 1.0$ відповідає значенню визначального параметра $Y = Y_{дон}^{max}$. По вісі абсцис відкладено значення відносного наробітку $T = T_{TEK} / T_{max}$. Значення $T = 1.0$ відповідає наробітку на досягнення межового стану виробів АТ за визначним параметром.

Визначення оптимальних поєднань показників режиму ТО ($\Delta Y_{дон} = const$ та $\Delta Y_{дон}$ при $\Delta t = const$) проводиться за допомогою номограм (рисунок 4.4, 4.5), що враховують різницю співвідношення економічних характеристик процесів ТО й розраховані на основі імітаційних моделей.

Використовують такі показники:

- вартість операції контролю технічного стану виробу C_D ;
- середня вартість ліквідації наслідків виникнення відмови виробу $C_{відм}$;

- середня вартість ліквідації наслідків виникнення несправності $C_{нн}$.

Розраховуються значення безрозмірних комплексів виду:

$$G_1 = (C_{відм} - C_{нн}) / C_{ни},$$

$$G_2 = (C_{відм} - C_{нн}) / C_{Д}. \quad (4.12)$$

На обраній номограмі (див. рисунки 4.4, 4.5) відшукується точка перетину кривих $\Delta t_{opt} = f(\Delta Y_{дон.})$ і $\Delta Y_{дон.} = f(\Delta t_{opt.})$ для заданих значень безрозмірних комплексів G_1 і G_2 й на відповідних осях визначаються оптимальні значення показників режиму ТО.

Для отримання значень ΔY , Δt , T визначається характер зміни інтенсивності відмов $\lambda(t)$ в інтервалах наробітку, тобто визначається функція $\lambda(t) = \psi(T)$ (рисунок 4.6).

Отримані значення $\lambda(t)$ зіставляють із значеннями $\lambda^*(t)$, які були одержані за умови безпеки польотів. При $\lambda(t) \leq \lambda^*(t)$ приймаються $\Delta t = \Delta t_{opt}$, $\Delta Y = \Delta Y_{opt}$, а при $\lambda(t)$ більше $\lambda^*(t)$ проводиться корегування режиму ТО на більш жорсткіший й визначаються нові $\Delta t'$, ΔY . Операція виконується по досягненні умови $\lambda(t)$ менше або рівне $\lambda^*(t)$.

Знайдене оптимальне значення періодичності виконання контрольних операцій використовується й надалі при групуванні робіт за формами ТО ПС.

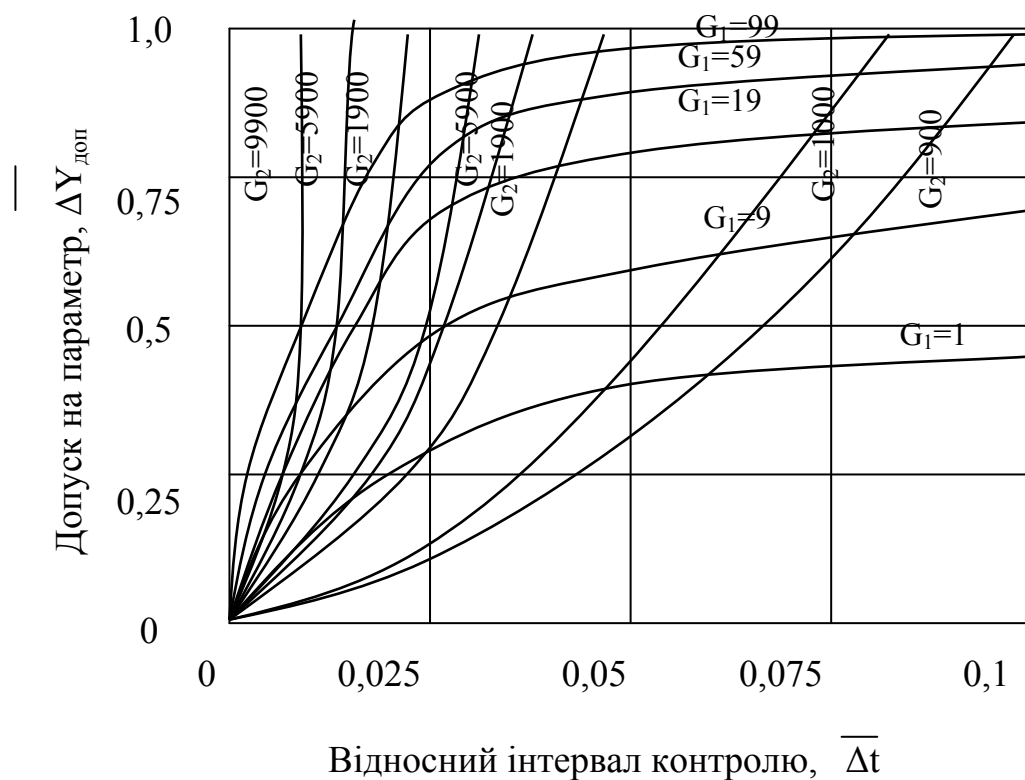


Рисунок 4.4 – Номограма для визначення оптимального режиму контролю елемента за умови залежності визначального параметру від наробітку виду “a”

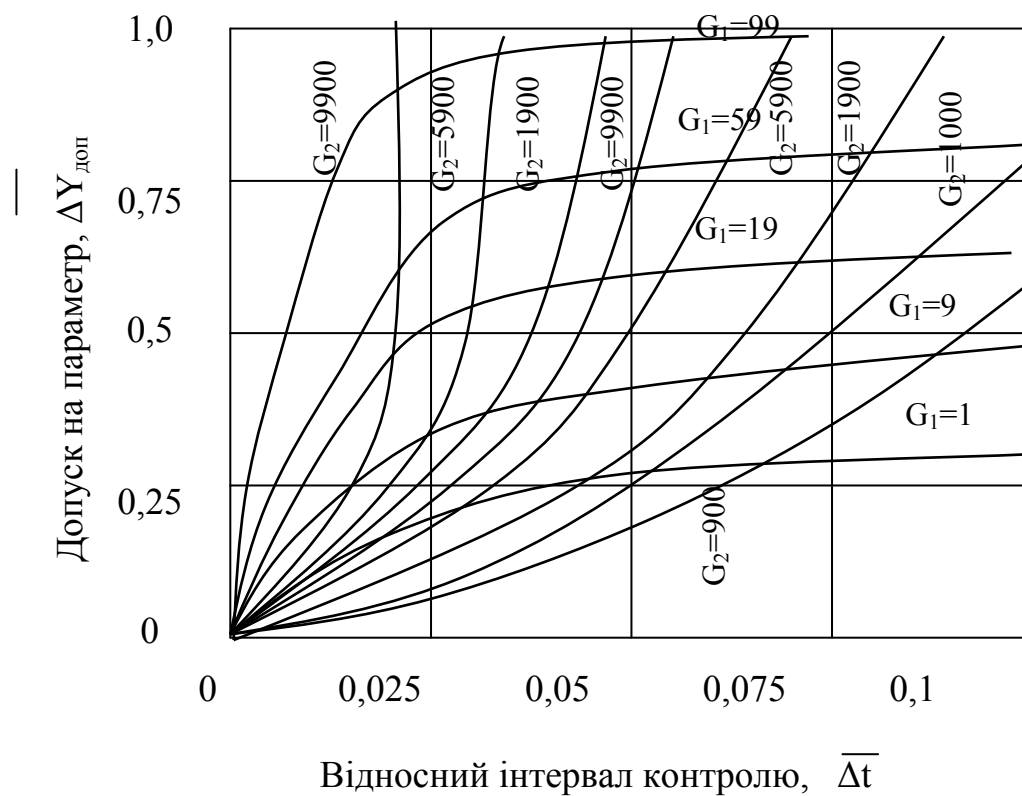


Рисунок 4.5 – Номограма для визначення оптимального режиму контролю елемента при зміні визначального параметру від наробітку виду “b”

4.3 Моделювання режимів контролю резервованих елементів

В складних авіаційних системах використовується багатократне резервування й не для всіх виробів існує можливість забезпечити “ідеальний” контроль.

Для ненавантаженого резервування з урахуванням кратності резервування, надійності приладу, що переключає, й вірогідності контролю вираз для визначення періодичності контролю у загальному вигляді можна записати [12]:

$$\tau_k = 2\{\Lambda_c / [\lambda_o \prod_{i=1}^n (\lambda_{P_i} + \lambda_{n_i})(1 + \beta_i + \beta_i^2)]\}^{1/n}. \quad (4.13)$$

де Λ_c - інтенсивність відмови групи резервування;

n - кратність резервування;

λ_{P_i} - інтенсивність відмов елементів;

λ_{n_i} - кількість елементів які відмовили;

β_i - ймовірність того, що несправний елемент під час контролю буде ідентифікований як справним.

Тоді для завантаженого резервування з урахуванням кратності резервування й вірогідності контролю, при однаковій інтенсивності відмов елементів, які складають групу резервування, була використана залежність:

$$\tau_k = \{ \Lambda_c / [\lambda_i^{n+1} (1 + \beta_i + \beta_i^2)] \}^{1/n}, \quad (4.14)$$

За умовою, що усуваються усі виявлені при контролі несправності, ймовірність контролю $Pk = 1(\beta = 0)$.

4.4 Імітаційна модель функціонування парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень

Імітаційна модель прогностичного ТО призначена для (рисунок 4.6):

1. Аналізу стану парку повітряних суден експлуатанта по типах.
2. Прогнозування динаміки і списання парку по виробленню призначених ресурсів і морального зносу при різних варіантах попиту на авіаперевезення.
3. Прогнозування потреби і доцільності в продовженні ресурсів.
4. Прогнозування динаміки потреби в ремонтах повітряних судів при різних варіантах попиту на авіаперевезення динаміки призначених ресурсів і вартості ремонту.

Для виконання своїх функцій модель складається з наступних модулів:

- модуль організації введення і формування даних;
- реалізація імітаційного алгоритму моделі;
- модуль відображення результатів моделювання.

Модуль організації введення і формування даних складається з:

- блоку даних ПС;
- блоку характеристик парку ПС;
- блоку програми ТО;

ПС характеризує наступні параметри:

1. Дата випуску ПС.

При рішенні завдань по формуванню технічної політики щодо експлуатованого парку ПС за допомогою програми виконаної мовою системи управління базою даних (СУБД) FOXPRO 2.0 формується файл, в який входить інформація про дату випуску ПС.

2. Дата останнього ремонту ПС.

При рішенні завдань по формуванню технічної політики щодо експлуатованого парку ПС за допомогою програми виконаної мовою СУБД

FOXPRO 2.0 формується файл, в який входить інформація про дату останнього ремонту.

3. Бортові номери ПС.

При рішенні завдань по формуванню технічної політики щодо експлуатованого парку ПС за допомогою програми виконаної мовою СУБД FOXPRO 2.0 формується файл, в який входить інформація про бортовий номер ПС (у дипломі для зручності бортові номери пронумеровані в порядку зростання з 57001 до 57010).

При рішенні завдань по формуванню технічної політики щодо нових ПС бортові номери задаються користувачем умовно.

4. Поточні наробітки ПС СНЕ і ППР.

При рішенні завдань по формуванню технічної політики щодо експлуатованого парку ПС за допомогою програми виконаної мовою СУБД FOXPRO 2.0 формується файл, в який входить інформація про наробітки СНЕ і ППР. В інших випадках наробітку задаються користувачем відповідно до завдань моделювання.

5. Наліт ПС за рік.

При рішенні завдань по формуванню технічної політики щодо експлуатованого парку ПС за допомогою програми виконаної мовою СУБД FOXPRO 2.0 формується файл, в який входить інформація про річний наліт ПС, а в інших випадках задаються користувачем відповідно до завдань моделювання.

6. Простій ПС.

Простій ПС за припускає мий період визначається виходячи з нальоту ПС.

Для виконання імітаційного моделювання характеристики парку ПС представлені наступними параметрами:

- тип ПС;
- модифікація ПС;
- вартість ремонту в залежності від типу ПС;
- вартість продовження експлуатаційних ресурсів.

Зазначені характеристики формуються відповідно до основними даного ПС або умовам контракту. У число перемінних, що характеризують програму ТО входять:

- призначений ресурс планера в годинник, посадках, терміну служби з початку експлуатації;
- міжремонтний ресурс планера в годинник, посадках, терміну служби після останнього ремонту;
- продовження призначеного ресурсу;
- продовження міжремонтного ресурсу.

Зазначені характеристики формуються користувачем виходячи з досвіду експлуатації парку ПС даного типу або із сертифікаційної програми ТО.

Моделювання використання ПС у залежності від завдань виконується аналіз стану ПС на період звітності і прогноз використання ПС до 2005 року:

При аналізі стану визначаються:

- середньодобовий наліт парку ПС;
- середньодобовий наліт справних ПС;
- середньорічний наліт справних ПС по парку і типах експлуатанта окремо;
- середньорічний наліт ПС по парку;
- кількість рейсів у рік;
- залишок ресурсів до ремонту ПС;
- залишок ресурсів до списання ПС;
- наробітки ПС за звітний період;
- наробітку ресурсів з початку експлуатації;
- наробітку ресурсів після останнього ремонту;
- ефективності використання парку ПС;
- раціональні режими експлуатації.

При прогнозуванні використання ПС визначаємо:

- наліт парку;
- кількість посадок;

- кількість списаних ПС по парку, по виробленню ресурсів (по терміну служби, по нальоту, по виконаним посадкам);

- кількість ремонтів ПС (по терміну служби, по нальоту, по виконаним посадкам);

- динаміку списання парку ПС;

- наробіток нальоту і виконаних посадок ПС за кожний прогнозований рік у залежності від інтенсивності нальоту замовленої аналітиком.

Указані перемінні задаються користувачем. Вихідними перемінними моделювання в залежності від поставлених завдань є:

- характеристики використання парку ПС;

- прогнозовані характеристики експлуатації парку ПС;

- обґрунтування доцільності фінансування робіт із продовження ресурсів старіючого парку ПС;

- обґрунтування варіантів розвитку виробничої бази по ТО.

- обґрунтування оптимального варіанта розвитку парку ПС по класах, типам і кількості.

Структура імітаційної моделі являє собою сполученого графа станів ПС і переходів процесу їхньої технічної експлуатації.

Ступінь деталізації і номенклатура станів визначається завданнями моделювання і рівнем стратифікації при проведенні імітаційного експерименту. Наліт і термін служби ПС задаються користувачем за допомогою сценаріїв (стандартна процедура Microsoft Excel).

4.5 Математичне забезпечення

Математичний опис моделі реалізує функціонування парку і забезпечує апроксимацію вихідних даних, що представляють собою набір перемінних, перерахованих у специфікації моделі. Алгоритм моделювання використання ПС заснований на мінімізації сумарного дисбалансу планових нальотів, що

забезпечують рівномірне завантаження виробничих потужностей при виконанні заданого розкладу. Після імітації виконання рейсу наробітки ПС збільшуються відповідно до характеристик рейсу. При досягненні наробітку, що відповідає періодичність обслуговування ПС приділяється на ТО, а при відсутності вільних місць надходить у стан чекання ТО. Після закінчення ТО ПС переходить у контур використання ПС.

Заявки на усунення несправностей імітуються датчиком випадкових чисел відповідно до параметрів.

Алгоритм функціонування імітаційної моделі заснований на попереднім прогнозуванні стохастичних і детермінованих складових заданих перемінних. На цій основі оптимізовані директивні рішення і траєкторія ходу процесу. У динамічному режимі здійснюється контроль реального ходу процесу і заданим перемінним при їхньому відхиленні здійснюється коректування початкових значень перемінні й оптимальної траєкторії процесу.

Середньорічний наліт парку розраховується по формулі:

$$C_{с.г.} = C_i \cdot 360 / \Delta T \cdot N_{ПС}, \quad (4.15)$$

де C_i - наліт парку за розглянутий період;

ΔT - тривалість розглянутого періоду;

$N_{ПС}$ - кількість ПС експлуатанта, занесених до Державного реєстру України.

Середньорічний наліт справних ПС розраховується по формулі (4.14), однак при цьому $N_{ПС}$ це кількість ПС, що експлуатуються в розглянутий період часу.

Добовий наліт ПС розраховується по формулі:

$$C_{доб} = C_i / \Delta T \cdot N_{ПС}, \quad (4.16)$$

Коефіцієнт використання парку розраховується по формулі:

$$K_{ВИК} = C_{ДОБ} / 24 \cdot N_{ПС}, \quad (4.17)$$

За допомогою контекстного меню користувач вибирає вид аналізованого наробітку або залишків ресурсу й одержує відповідні графіки.

За допомогою контекстного меню користувач вибирає тип ПС і одержує зведені таблиці залишків ресурсів парку.

Рациональні режими експлуатації, що забезпечують збалансовану обробку ресурсів.

Розраховуються по формулах:

1. Коефіцієнти використання парку:

$$K_{ВИ.П} = R_G / R_{Т.СЛ}, \quad (4.18)$$

де R_G - ресурс в годинах;

$R_{Т.СЛ}$ - календарний термін служби в годинах.

2. Тривалість польоту:

$$T_{ПОЛ.} = R_G / R_{П}, \quad (4.19)$$

де $R_{П}$ - ресурс у посадках.

Фактичні режими використання визначаються по формулах:

$$K_{ВИК.Ф} = Ci / \Delta T \quad (4.19)$$

$$T_{\text{пол.ф}} = C_i / C_{\text{п}} \quad (4.20)$$

де $C_{\text{п}}$ - фактична кількість посадок за розглянутий період.

Потрібні режими використання визначаються по формулах:

$$K_{\text{вик.р}} = \Delta R_{\text{г}} / \Delta R_{\text{т.сл.}} \quad (4.21)$$

де $\Delta R_{\text{г}}$ - залишок календарних термінів служби;

$\Delta R_{\text{т.сл.}}$ - залишок ресурсів у годинах.

Потрібна тривалість польотів:

$$T_{\text{пол.потр.}} = \Delta R_{\text{г}} / \Delta R_{\text{п}} \quad (4.22)$$

де $\Delta R_{\text{п}}$ - залишок ресурсів у посадках.

4.6 Програмне забезпечення

Програмне забезпечення імітаційної системи виконано в додатку MICROSOFT EXCEL 7.0. мовою VISUAL BASIC у середовищі WINDOWS 95.

Діалогових вікон MICROSOFT EXCEL 7.0. описані макросами мовою VISUAL BASIC. Модель працює з комп'ютерною інформаційно - аналітичною системою «Арена», що виконана мовою СУБД FOXPRO 2.0. За допомогою MICROSOFT QUERY MICROSOFT EXCEL 7.0. робить вибірку даних з полів бази даних АИУС «Арена» .

Вхід у систему здійснюється відкриттям книги «MAIN».

Користувач за допомогою спливаючого меню вибирає експлуатанта і період за який необхідно зробити аналіз ефективності використання ПС.

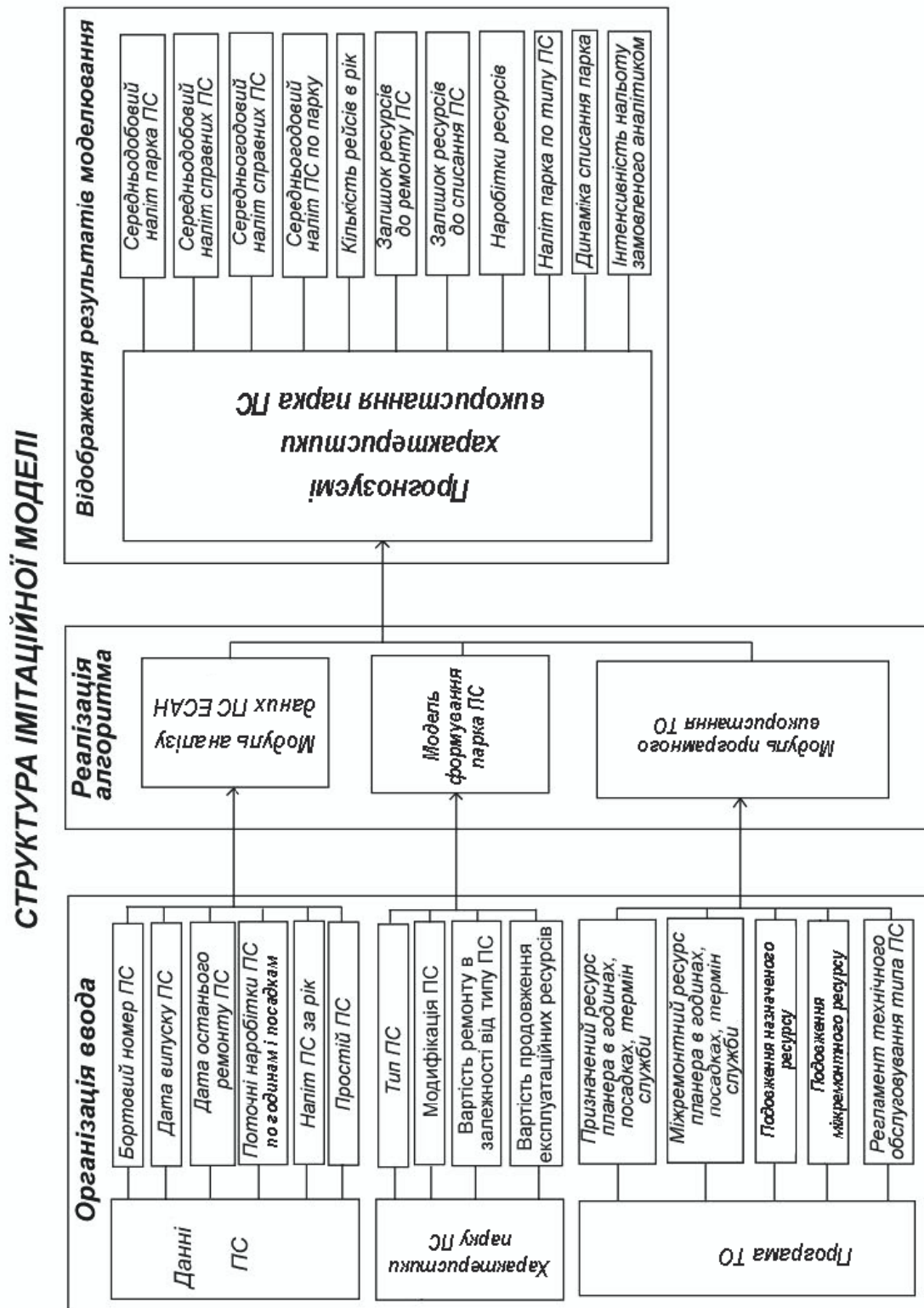


Рисунок 4.6 – Структура імітаційної моделі функціонування парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень

Данні парку Ан-140

Бортювий номер	Дата виготовлення ПС	Наробіток ПС з початку експлуатації		Дата останнього ремонту	Наробіток ПС після останнього ремонту		Наробіток ПС з 01.01.02 до 01.01.03	
		в годинах	в посадах		в годинах	в посадах	в годинах	в посадах
UR-15001	19.06.00	4617	3384	—	—	2135	1564	
UR-15002	11.10.99	5871	4238	21.06.02	611	2071	1494	
UR-15003	21.11.00	4819	3541	—	—	2181	1602	
UR-15004	10.03.01	2849	1083	—	—	1950	1357	
UR-15005	15.01.01	3085	2221	—	—	2386	1717	
UR-15006	22.12.01	2311	1663	—	—	2328	1658	
UR-15007	18.07.02	879	589	—	—	879	589	
UR-15008	27.06.01	2435	1704	—	—	2259	1580	
UR-15009	03.04.02	1575	1132	—	—	1575	1132	
UR-15010	28.05.02	1214	837	—	—	1214	837	

Характеристики парку ПС

Вартість продовження експлуатаційних ресурсів	ЗНАЧЕННЯ	
	НАЙМЕНУВАННЯ	НА 1000 ПОСАДОК
Календарне продовження мікрремонтного ресурсу	на 1 рік	10 000 USD
Продовження мікрремонтного ресурсу в годинах	на 1000 годин	12 000 USD
Продовження мікрремонтного ресурсу по посадам	на 1000 посадок	15 000 USD

Програма ТО Ан-140

Вид наробітку	Значення
Призначений ресурс в годинах	50 000
Міжремонтний ресурс в годинах	5 000
Призначений термін служби в роках	25
Міжремонтний термін служби в роках	5
Призначений ресурс в посадах	50 000
Міжремонтний ресурс в посадах	5 000

Програма продовження мікрремонтного ресурсу

Програма продовження	Значення
Календарне продовження	на 1 рік
Продовження по годинах	на 1 000 годин
Продовження по посадах	на 1 000 посадок

Регламент технічного обслуговування

Вид регламентних робіт	Вартість виконання регламентних робіт
Ф1 кожні 300 год	5 000 USD
Ф2 кожні 900 год	5 500 USD
Ф3 кожні 1800 год	5 700 USD
Перехід на ОЗН або ВЛН	600 USD

Рисунок 4.7 – Вихідні дані для моделювання

Висновки до розділу 4

1. Розглянуто етапи побудови імітаційних моделей формування програм технічного обслуговування авіаційної техніки.
2. Досліджено метод групування робіт з ТО та закладено основи створення імітаційної моделі формування програм робіт з ТО та запропоновано схему вибору робіт з ТО та вимоги щодо їхнього вибору.
3. Розроблено алгоритми етапів формування адаптивного регламенту ТО ПС та прийняття рішення при виборі видів робіт з контролю стану конструктивних елементів планеру ПС.
5. Досліджено імітаційні аналітичні моделі формування поступових відмов виробів АТ та контролю їх стану та режимів контролю резервованих елементів.
6. Розроблено імітаційну модель функціонування парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень.
7. Запропоновано структуру імітаційної моделі функціонування парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час технічного обслуговування повітряного судна (ДНАОП 5.130-1.06.98, ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)

При технічному обслуговуванні повітряного судна, можливе проявлення шкідливих і небезпечних факторів, які можуть привести до одержання травм, повної чи часткової втрати працездатності обслуговуючого персоналу [23].

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 ємкостей 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 м до 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 [33,34];

- хімічні речовини, що входять до складу FH-51 чи НГЖ-4У і мінеральних мастил, проникаючі 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 (ДНАОП 5.1.30-1.06-98)

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 [24]:

- 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 однобічні 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 авіаційно технічного цеху 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 стоянці ПС встановлені колодязі для заземлення ПС;
- з метою зменшення впливу шуму від працюючих двигунів при необхідності перевірки систем передбачене застосування протишумних навушників;
- з метою зменшення токсичних парів палива при роботі в паливних баках-кесонах передбачене обов'язкове використання засобів індивідуального захисту органів дихання;
- при роботі на високо-розташованих частинах установки систем, інструменти і устаткування розташовується на драбинах у сортувальних кишенях, 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 від 1 м до 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 (ДНАОП 5.1.30-1.06-98, НАПБ А.01.001-2014)

Згідно з правилами пожежної безпеки України, пожежна безпека забезпечується:

- 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:

- 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, замащеного дроття і т.п.

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 [34].

Організаційно-технічні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки [24]:

- 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 від 30 см до 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 [29,30].

Для ліквідації окремих вогнищ пожежі можуть бути використані:

- 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.

Основні характеристики УП-1М:

- число балонів.....1;
- обсяг балона.....0,027 м³;
- робочий тиск.....13,7 МПа;
- час дії.....60 с;
- дальність струменя.....2,5 м;
- довжина шланга.....4 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 заземлювання 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, $l = 2,8 \text{ м}$.

Діаметр, $d = 0,025 \text{ м}$.

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

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

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

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

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 т.д.

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 від 38 мм до 50 мм, довжиною від 2 м до 3 м, що забиваються в землю вертикально на глибину від 0,5 м до 0,8 м від верха стрижня до поверхні землі.

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

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

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

де ρ - питомий опір ґрунту, Ом·м;

K_c - коефіцієнт сезонності;

l - довжина стрижня, м;

d - діаметр стрижня (труби), для куточка;

H - глибина закладення стрижня, м.

Питомий опір ґрунту розраховується за формулою:

$$\rho = \rho_{izm} \cdot K_c [\text{Ом/см}], \quad (5.2)$$

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

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

$$R_{нол} = 0,366 \frac{\rho}{l_1} \lg \frac{2l_1^2}{\epsilon \cdot H_0} [\text{Ом}], \quad (5.3)$$

$$R_{нол} = 0,366 \frac{770}{8,4} \lg \frac{2 \cdot 8,4^2}{0,04 \cdot 0,8} = 122,271 \text{ (Ом)}.$$

де l_1 - довжина між стрижнями;

e - ширина смугової сталі, м;

H_0 - відстань від поверхні землі до половини довгі стрижня, м.

Довжина між стрижнями розраховується за формулою:

$$l_1 = n \cdot a \text{ [м]}, \quad (5.4)$$

$$l_1 = 3 \cdot 2,8 = 8,4 \text{ (м)}.$$

де n - кількість стрижнів;

a – відстань між стрижнями.

Відстань від поверхні землі до половини довжини стрижня розраховується за формулою:

$$H_0 = H - 0,5 \cdot l \text{ [м]}, \quad (5.5)$$

$$H_0 = 2,2 - 0,5 \cdot 2,8 = 0,8 \text{ (м)}.$$

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 n визначається за формулою:

$$n = \frac{R_{cm}}{r_n \cdot \eta_{cm}}, \quad (5.6)$$

$$n = \frac{250,961}{100 \cdot 0,85} = 2,952 \approx 3,$$

де R_n - нормований опір пристрою, що заземлює, Ом;

η_{cm} - коефіцієнт використання одиночного стрижневого заземлювача.

Опір прямокутного контурного пристрою що заземлює:

$$r_{кз} = \frac{R_{cm} \cdot R_{пол}}{R_{cm} \cdot \eta_{пол} + n \cdot R_{пол} \cdot \eta_{cm}} [\text{Ом}], \quad (5.7)$$

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

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 колісьми автомобіля колодок;
- цілісність і надійність заземлення установки

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

- наявність і пломбування вогнегасників установки;

- цілісність і надійність заземлення ПС.

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

- напругу аеродромного джерела живлення;

- чистоту електричних з'єднань джерела аеродромного 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.

Примітка - за відсутності аеродромного джерела живлення робота насосної станції установки виконується від генератора постійного струму 24 В встановленого в двигуні на автомобілі 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 чи Skydrol установки;

- відключити живлення установки на пульті керування;

- відключити електроживлення установки від наземного джерела живлення;

- роз'єднати від установки електричні роз'єми наземного джерела живлення.

Забороняється - від'єднувати електричні рознімання від установки при включених джерелах живлення.

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 заправлення і перевірки величини тиску в зарядженому агрегаті закрити роздавальний кран, стравити тиск зі шланга.

- забороняється підігрів двигунів, агрегатів, систем, а також повітря у кабінах;
- не підключати або виключати від ПС джерело живлення;
- не розміщати проводи електроживлення на шляху руху засобів наземного обслуговування.

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

- надійне заземлення ПС та паливозаправника;
- справна металізація засобів заправки;
- заборона перевірки рівня палива у баках в нічний час освітленням відкритим вогнем.

В процесі підготовки ПС до вильоту виконується також заправка (зарядка) спеціальними рідинами, водою і газами, які використовуються в системах ПС в якості робочого тіла, до потрібного об'єму (маси), тиску згідно з технічною документацією даного типу ПС.

Об'єм рідини в баках гідравлічних систем нормується для кожного типу ПС і контролюється при ТО з урахуванням температури зовнішнього повітря і 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.

Висновки до розділу 5

В частині «Охорона праці» 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 та виконано розрахунок заземлювача.

Значну роль в охороні праці відіграє пожежна і вибухова безпека при ТО систем ПС.

Вся робота пожежної та вибухової безпеки підприємств виконуються відповідно до постанов з пожежної охорони підприємств, організацій та установ цивільної авіації, що передбачає попередження умов утворення пожежних та вибухонебезпечних ситуацій.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Небезпечні фактори при обслуговуванні та експлуатації повітряного судна цивільної авіації

В експлуатаційних підприємствах цивільної авіації найбільш актуальним направленням діяльності по зменшенню впливу на навколишнє середовище є наступне [27, 28, 31]:

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

Загальний вплив повітряного транспорту на забруднення навколишнього середовища відносно невелике.

Однак динаміка росту повітряних перевезень у світі, що супроводжується збільшенням кількості ПС, вимагає самого серйозного відношення до питання зв'язаного з охороною навколишнього середовища.

Шкідливими продуктами згорання авіаційних палив в двигуні ПС та спецавтотранспорту є: окис вуглецю, не згорівший вуглець, окис азоту та сірки, сажа та кіптява [37].

Для запобігання забрудненню ґрунту при технічному обслуговуванні паливної системи на місцях стоянки ПС передбачаються резервуари для збирання відстою палива і спеціальних піддонів для виключення протікання палива при заміні агрегатів паливної системи.

На площадках періодичного ТО ПС передбачаються стічні канавки зі стоком у резервуари, куди разом з паливом, хімічними рідинами стікають опади, змиті з поверхні площадки.

Суворе виконання правил зберігання, транспортування та використання паливо-мастильних матеріалів (ПММ) може попередити потрапляння в атмосферу та ґрунтові води тяжких вуглецевих фракцій, двоокису азоту, сірководню.

Збір відпрацьованого ПММ в спеціальні ємкості та наступна їх переробка дозволить раціонально використовувати природні ресурси землі.

Загальний вплив повітряного транспорту на забруднення навколишнього середовища відносно невелике [37].

Однак, динаміка росту повітряних перевезень у світі, що супроводжується збільшенням кількості ПС вимагає самого серйозного відношення до питання зв'язаного з охороною навколишнього середовища.

Негативний вплив авіаційного транспорту на навколишнє середовище можна розділити на дві групи [32, 37, 38]:

1. Фактори хімічного впливу:

- викиди шкідливих речовин авіаційних двигунів і їхній вплив на дану атмосферу, що перешкоджає проникненню ультрафіолетової радіації;
- поява на території авіаційного підприємства (складів паливо - мастильних матеріалів, площадки для миття), які зберігають нафтопродукти, хімічні розчини, мінеральні масла.

2. Фактори фізичного впливу в зоні аеропортів [35, 36, 38]:

- шум авіаційних двигунів;
- електромагнітні спалахи наземних систем керування повітряним рухом.

Прогнозований ріст повітряного транспорту у світі викликав необхідність своєчасного обмеження шкідливих викидів авіаційними двигунами.

Міжнародна організація цивільної авіації (ІСАО) розробила в зв'язку з цим більш жорсткі норми на емісію авіаційних двигунів [39].

Авіаційні двигуни (АД) викидають шкідливі речовини з відпрацьованими газами в зоні аеропорту і на трасах літака. До складу відпрацьованих газів

газотурбінних двигунів входять наступні 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), бензапирен [32, 37].

При роботі турбореактивного і турбогвинтового двигунів в продовж 1 хв. в атмосферне повітря викидається 2-4 мг канцерогенних речовин, в основному, бензопирена.

Викид дренажного палива в атмосферу АД нормами ІСАО не допускається і повинен виключатися в процесі конструювання нових авіадвигунів і ПС.

Кількісною характеристикою викидів шкідливих речовин АД є індекс емісії, що показує, скільки грамів речовини викидається в повітря при спалюванні 1 кг палива.

Зміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах АД обумовлюється неповним згорянням палива. Максимальний викид С і незгорілого палива СН 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 мінімальна на режимах малого газу і досягає максимуму при злітних режимах роботи двигунів, коли температура в камері згоряння максимальна.

Шумова обстановка 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 [31, 35, 36, 38].

Шум, створюваний авіаційними силовими установками на території авіапідприємства, усередині більшості виробничих приміщень і у прилеглих

районах, виявляється домінуючою, 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 привів до того, що на організм людини негативно впливають штучно їм же створені електромагнітні поля, джерелами яких є передавачі радіолокаційних, радіонавігаційних і радіомовних станцій. Рівень випромінювання електромагнітної енергії цими пристроями в багато разів перевищує природне поле, викликаючи вплив на здоров'я людини [35, 37].

Найбільш уразлива для електромагнітних полів (ЕМП) виявилася нервова система, у якій спостерігаються виражені зміни. Зміни характеризуються розладом умовно рефлекторної діяльності, зрушенням в електроенцефалограмі, патоморфологічними порушеннями в головному і спинному мозку.

ЕМП радіочастот роблять безпосередню дію на структури лобової частки і проміжного мозку, умовно рефлекторну діяльність, характер змін деяких біомеханічних перетворень, що формують протікання нервових процесів.

Господарська діяльність авіапідприємств пов'язана з обслуговуванням ПС теж вносить вклад у погіршення екологічної обстановки.

У результаті такої діяльності великих аеропортів у районі перонів, місць стоянки, а так само в місцях розташування ангарів і майстерень щорічно в ґрунт надходить до 40 тонн вуглеводнів, хімічних складів для мийки ПК, противокрижаних засобів, органічних і мінеральних масел, фенолів. Причина такого впливу на ґрунт не що інше, як витік ПММ при заправленні ПК. Але не тільки ґрунт страждає при протоці ПММ, але і повітря [35, 36, 38].

Для зниження шкоди нанесеному ґрунту і атмосфері необхідно зменшити кількість витоків і проток ПММ. У випадку ж протоки ПММ необхідно усунути рідину найбільше ефективно з обліком мір протипожежної безпеки.

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

На сьогоднішній день використання персонального комп'ютеру під час ТО ПС є не від'ємна частина процесу технічного обслуговування. Для цього відводять спеціальне, доступне місце в ангарі в результаті чого технічний персонал завжди має доступ до бази даних обслуговуємого повітряного судна і комунікації з відділом підтримання льотної придатності. Ця можливість дає змогу зменшити час на пошук інформації, швидку комунікацію між працівниками і підвищити якість ТО. Але використання комп'ютера має шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Інформаційні та телекомунікаційні технології, включивши в себе екологію в якості гуманних підвалин розвитку, перетворились на ідею інформаційного суспільства, стали способом життя людства, запорукою нового циклу розвитку цивілізації та планети.

Інформаційні технології сьогодні є більш екологічні за більшість інших видів активної людської діяльності, проте їх ще не можна назвати справді екологічними. Скажімо, ефективність інформаційних мереж напряму залежить від кількості користувачів, тобто, від кількості комп'ютерів, включених до мережі. Але для виготовлення одного звичайного персонального комп'ютера потрібно від 15 до 19 тон матеріалів. Це порівнювано з 25 тонами, потрібними для виготовлення автомобіля. На кожен функціонуючий комп'ютер (використовуваний в середньому протягом 4 років) припадає 1,5 комп'ютери вироблених. А близько третини комп'ютерів ніколи не буває продано взагалі – через швидкість, з якою вони втрачають технологічну актуальність. Це означає, що затрачені ресурси справді наближаються до рівня автомобіля.

Електронні пристрої містять дуже токсичні з'єднання, які, потрапляючи в навколишнє середовище, створюють серйозну небезпеку для життя людей. Так, наприклад, 22% ртуті, що видобувається щороку в усьому світі, йде саме на потреби електронної промисловості і, зокрема, міститься в мобільних телефонах.

Кадмій, який є канцерогеном, використовується практично в усіх напівпровідникових пристроях. Свинець, особливо токсичний для нервової системи, міститься в акумуляторах і екранах моніторів. У міру розкладання захисних покриттів з електронних пристроїв у навколишнє середовище виділяється діоксин та інші високотоксичні з'єднання.

Стурбованість громадськості проблемами екології, а також нові, більш жорсткі закони по захисту навколишнього середовища змушують великих виробників устаткування створювати мережі по збору, що вийшли з обігу техніку і заводи з її утилізації. Крім того, в конструкції обладнання максимально збільшується частка матеріалів, придатних для переробки. Розміри мережі з утилізації "електронного брухту" залежать від регіону і місцевого законодавства.

Вся оргтехніка включає в свій склад як органічні складові (пластик різних видів, матеріали на основі полівінілхлориду, фенолформальдегіда), так і майже повний набір металів [40,42].

Згідно з довідкових даних і на підставі лабораторних хімічних аналізів 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

Найменування	Дорогоцінні метали		Кольорові і чорні метали			Полімери і скло	
	Au, г	Ag, г	Al, кг	Cu, кг	Fe, кг	Пластик, кг	Скло, кг
Персональний комп'ютер (монітор, системний блок, клавіатура, маніпулятор)	0,053-0,072	0,8-1,1	0,1-0,4	0,1-0,2	3-4	3-3,5	10-20

Отже, звичайний комп'ютер містить як цінні метали, такі як золото, срібло, алюміній, мідь, так і небезпечні, такі як кадмій, свинець, цинк, нікель, а тому при списанні та утилізації обладнання керівнику необхідно керуватися і законодавством в області охорони навколишнього середовища.

Одним з способів зменшення забруднення це утилізація техніки.

Утилізація оргтехніки та комп'ютерів це процес, який проводиться в кілька етапів. Найперше дію це списання обладнання безпосередньо з підприємства. Етап другий це розбір техніки і сортування отриманих матеріалів. Якщо деталі здатні служити вихідною сировиною, наприклад, кінескоп, деталі, в складі яких є дорогоцінні метали, то їх відправляють на очищення.

Як нам відомо до складу комп'ютера входить безліч металів таких як золото, срібло, алюміній, мідь та інших. Ще етапом по утилізації персональних комп'ютерів можна досягнути завдяки вторинній переробці.

Сутність даного процесу полягає в тому, що можна витягти з цієї сировини частку корисних та рідких матеріалів таких як іридію, міді та інших. Цей процес відтворити набагато легше аніж наприклад видобути тонну міді, яка міститься в тисячотонних гірських породах.

Одне з нововведень для утилізації друкованих плат придумали Співробітники з Національної фізичної лабораторії Великобританії, продемонстрували можливість спеціального розчину який розчинюють у гарячій воді. Дія якого зумовлює відшарування електронних компонентів.

Таким чином 90% компонентів нових друкованих плат можна використовувати знову, тоді як у випадку звичайним методам - тільки 2%.

6.3 Електромагнітне забруднення навколишнього середовища і шляхи захисту від нього

В нашому оточуючому середовищі, окрім природних джерел електромагнітних променів, небезпеку для людини створюють і штучні джерела військового, промислового і побутового призначення. Електромагнітні джерела

при технічному обслуговуванні ПС включають в себе промислове обладнання, авіонічне обладнання ПС, засоби зв'язку, компоненти літальних апаратів, комп'ютери, мобільні телефони, інтерференція від хвиль яких досягає великих значень. Вони, наче електромагнітна павутина, обкутують середовище роботи людини, відбираючи у неї здоров'я.

Всесвітня організація охорони здоров'я, вчені усіх розвинених країн світу в останній час зайнялися ретельним вивченням впливу ЕМП на людину. Результати таких досліджень невтішні: ми живемо в умовах електромагнітного забруднення середовища. В останній час з'явився навіть такий термін - "електромагнітний смог". В 1990 році Управління з охорони навколишнього середовища США оприлюднило доповідь, в якій говорилося про причинний зв'язок між низькочастотними ЕМП і лейкемією, лімфомою і раком головного мозку у людей.

Мобільні телефони, комп'ютери і обладнання літака, побутова електронна техніка – користуючись ними, люди не замислюються про невидимі оком ЕМП. Люди звикли недооцінювати небезпеку, особливо коли вона відразу не помітна, а вплив її проявляється через якийсь час. Однак 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 таке поняття "біорезонансні частоти". Наприклад більшість мобільних телефонів працюють на частоті 1800 МГц. Як відомо, люба хвиля має так звані «модуляції», тобто коливання в одну та іншу сторони відносно основної хвилі. Велика кількість модуляцій ЕМП потрапляє в резонанс з частотами живого організму людини. Незважаючи на те, що потужність мобільного телефону невелика, за рахунок резонансу в живих організмах все рівно буде проявлятися несприятливий ефект. 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 і т.д. А

оскільки нормальна робота клітини порушена, то це призведе до тієї чи іншої хвороби [40,41].

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 (45 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 починає відбуватися реакція на рівні 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 електромагнітних полів 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 санітарні 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 [37,40].

Вимоги цих 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 розміщуються установки, які 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 випромінення 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

Інженерно-технічні заходи включають раціональне розміщення обладнання, використання засобів, які обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглинальні матеріали, екранування).

До засобів індивідуального захисту належать 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 частині «Охорона навколишнього середовища» наведено перелік шкідливих факторів для навколишнього середовища і людини при ТО та експлуатації систем ПС. Наведені приклади шкідливих наслідків впливу ЕМП на людину при певному часі перебування в полі.

Перелічено організаційні і санітарно-гігієнічні заходи щодо зменшення впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів при ТО.

Значну роль в охороні праці відіграє дотримання організаційних вимог роботи в ЕМП та дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Наведено безпечні часові періоди знаходження людини в зоні ЕМП.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз даних щодо відмов та несправностей, виявлених при технічному обслуговуванні і ремонті виробів авіаційної техніки, на основі яких було оцінено обсяг та види робіт з технічного обслуговування.

2. Проведено аналіз існуючих сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій для створення імітаційної моделі.

3. Визначено мету, задачі досліджень, об'єкт, предмет та методи досліджень. На основі цього розроблено схему досліджень.

4. Виконано аналіз підходів та методик формування комплексу робіт по технічному обслуговуванню авіаційної техніки для формування робіт та операцій з технічного обслуговування авіаційної техніки, що дало можливість сформулювати вимоги та етапи створення імітаційної моделі.

5. Досліджено автоматизовані системи функціонування парку повітряних суден та формування робіт з технічного обслуговування, які дозволяють ефективно управляти системою підтримання льотної придатності виробів авіаційної техніки.

6. Досліджено, що головною відмінністю моделювання від інших методів дослідження об'єктів та систем є можливість їх оптимізації перед їх реалізацією, що дозволяє прийняти оптимальне вирішення у більшості випадків лише на основі аналізу результатів моделювання та оцінки ефективності дій ІАС авіаційного підрозділу або її складових.

7. Розроблено методологію формування комплексу робіт з технічного обслуговування авіаційної техніки, на основі якої створено імітаційну модель прогностичного ТО парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень.

Наукова новизна в наступному:

– доопрацьовано принципи формування комплексу робіт з технічного обслуговування повітряних суден з урахуванням нових інструментарії імітаційного моделювання.

- доопрацьовано методологічні принципи формування і оптимізації керуючих впливів на процеси підтримання льотної придатності авіаційної техніки.
- доопрацьовано імітаційну модель прогностичного ТО парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень.

Практична значимість:

Результати магістерської роботи дозволяють підвищення ефективності використання авіаційної техніки та підтримання льотної придатності повітряних суден за допомоги імітаційної моделі формування прогностичного технічного обслуговування.

Створена імітаційна модель формування прогностичного ТО парку повітряних суден для прогнозування віддалених наслідків прийнятих рішень дозволить розробляти практичні рекомендації з модернізації парку повітряних суден авіакомпаній та швидко і ефективно провести аналіз стану й прогноз використання їхнього парку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Томашевський В.Н. Імітаційне моделювання систем та процесів / В.Н. Томашевський. – К.: ІСДО, "ВІПОЛ", 1994. – 124 с. 4.
2. Ситник В.Ф. Імітаційне моделювання: навч. посіб. / В.Ф. Ситник, Н.С. Орленко. – К: КНЕУ, 1998. – 230 с.
3. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. / І.В. Стеценко [Електронний ресурс]. – Черкаси: ЧДТУ, 2010. – 399 с. – Режим доступу до ресурсу: http://web.kpi.kharkov.ua/auts/wp-content/uploads/sites/67/2017/02/MOCS_Kachanov_posobie.pdf
4. Далецкий, С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. – М.: Воздушный транспорт, 2005. 416 с.
5. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. Под ред. Смирнова Н.Н. – М.: Транспорт, 1990. 423 с.
6. Смирнов, Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – М.: Транспорт, 1987. 272 с.
7. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності.
8. Повітряний Кодекс України, Наказ №3393-VI від 19.05.2011.
9. ICAO. Safety Management Manual (SMM). Doc. 9859 AN/474. 2009. – 318p.
10. Советов Б.Я. Моделирование систем: учебник / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 1985. – 271 с.
11. Вакуров А.В. Информационное и алгоритмическое обеспечение задач управления ИАС: учебн. пособ. / А.В. Вакуров. – М: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1991. – 108 с.
12. Дудорин В.И. Дудорин Моделирование в задачах управления производством / В.И. Дудорин. – М.: Статистика, 1980. – 232 с.

13. Неруш В.Б. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій [Електронний ресурс] / В.Б. Неруш, В.В. Курдеча. – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с. – Режим доступу до ресурсу: http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15598/1/Konspekt_lekciy_Imit_modelyr_syst_process%28CHANGED%29.pdf.
14. Гужва В.М. Інформаційні системи і технології на підприємствах: навч. посіб. [Електронний ресурс] / В.М. Гужва. – К.: КНЕУ, 2001. – 400 с. – Режим доступу до ресурсу: <http://studbase.com/books/13>.
15. Система моделювання бизнес процессов ARIS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://bourabai.kz/cm/aris.htm>.
16. Перспективы применения имитационного моделирования в задачах автоматизации и управления технологическими системами [Електронний ресурс] / Р.Ю. Лопаткин, С.А. Петров, С.Н. Игнатенко, В.А. Иващенко // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – № 17(1189). – С. 61-71. – Режим доступу до ресурсу: <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/75376/70928>.
17. Губинский А.И. Информационно-управляющие человеко-машинные системы. Исследование, проектирование, испытание: Справочник. –М.: Машиностроение, 1993. 528 с.
18. Керівництво з організації робіт в сфері льотної придатності. ІКАО Doc. 9389-AN/919-1983.
19. Керівництво зі збереження льотної придатності. ІКАО, Doc. 9642-AN/941-1995.
20. Савенков М. В. Автоматизация управления технической эксплуатацией систем. -М.; Транспорт, 1992. - 285 с.

21. Сикорский Е.А., Салимов Р.М. Методология создания компьютерной системы информационного обеспечения технической эксплуатации авиационной техники // Сб. науч. тр. “Проблемы информатизации и управления” -К.:КМУГА, 1999, 218-221 с.
22. Салимов Р.М., Масюк И.И., Зыков О.С. Концепция построения информационной системы управления технической эксплуатацией авиационной техники. // Весник КМУГА №2.Сб. науч. тр. -К.:КМУГА, 1999, 380 с.
23. Аналіз надійності парку ПС України - К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2003-2015 рр.
24. Емелин Н.М. Определение периодичности диагностирования сложных систем при их техническом обслуживании по фактическому техническому состоянию.//Надежность и контроль качества. 1990. N8. С.57-60.
25. Емелин И. М. Марковские модели технического обслуживания сложных систем. // Надежность и контроль качества 1988.-№ 3.-с. 21-24.
26. Фанаржи Г.И. Интегральные методы оценки надежности сложных систем.-Л.: ЛДНТП, 1983. – 36 с.
27. ДНАОП 5.1.30-1.06-98 «Правила безпеки праці при ТО і поточному ремонті»/
28. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
29. ГОСТ 12.1004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования».
30. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ «Взрывоопасность. Общие требования».
31. ДСТУ 3273-95 «Безпечність промислових підприємств».
32. ДСТУ ІСО 14001-97 «Системи управління навколишнім середовищем».
33. Закон України «Про охорону праці» від 21.11.2002 р.
34. Закон України «Про пожежну безпеку» від 17.12.1993 р.

35. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: ДСН 3.3.6.037-99 [Чинний від 1990-01-12]. – К.: МОЗ України, 1999. – 29 с. (Державні санітарні норми України).
36. Токарев В.И. Снижение шума при эксплуатации пассажирских самолетов / В.И.Токарев, А.И.Запорожец, В.А. Страхолес. – К.: Техніка, 1990. – 127 с.
37. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів (Затверджений наказом МОЗ України від 19.06.1996 р. №173). – К.: Укрархбудінформ, 2002. – 59 с. (Державні санітарні правила України).
38. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження: ДСТУ 2887-94 [Чинний від 1995-01-05]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 15 с. (Національний стандарт України).
39. Додаток 14 до Конвенції Міжнародної організації цивільної авіації. Повітряні судна – Монреаль, 2009. – 350 с. – [ІКАО. Міжнародні стандарти та рекомендована практика]. – Режим доступу: http://www.aviadocs.net/icaodocs/Annexes/an14_v1_5ed_cons_ru.pdf.
40. Франчук Г.М. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля [Текст] / Г.М. Франчук, А.М. Антонов, С.М. Маджд, Я.В. Загоруй // Вісник НАУ. – 2006. – № 1. – С. 184–190.
41. Франчук Г.М. Екологія, авіація і космос: підручник [Текст] / Г.М. Франчук, В.М. Ісаєнко. – К.: НАУ, 2010. – 456 с.
42. Франчук Г.М., Методика оцінки хімічного забруднення атмосферного повітря на основі аналізу стану атмосферних опадів в зоні аеропорту [Текст] / Г.М. Франчук, Л.С. Кіпніс, С.М. Маджд // Наука і молодь. Приклад. сер.: Міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених «Політ-2007». – К.: НАУ, 2007. – С. 258–261.