



**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ
ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА
АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ТА УПРАВЛІННЯ**

03035, м. Київ-35, вул. Митрополита
Василя Липківського, 35, т./ф. (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

**MINISTRY OF ENVIRONMENTAL
PROTECTION AND NATURAL RESOURCES OF
UKRAINE
STATE ECOLOGICAL ACADEMY OF
POST-GRADUATE EDUCATION AND
MANAGEMENT**

35, Metropolitan Vasil Lypkivskyi str., Kyiv,
03035, Ukraine, tel./fax (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

**Голові спеціалізованої вченої ради Д
26.861.05 у Державному університеті
телекомунікацій**

03110, м. Київ, вул. Солом'янська 7

ВІДГУК

офіційного опонента,

професора кафедри екологічної безпеки

Державної академії післядипломної освіти та управління,

**Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України,
доктора технічних наук, професора *МАШКОВА Олега Альбертовича***

на дисертацію *Коваленко Юлії Борисівні*

**за темою: “Інформаційна підтримка процесу проектування та експлуатації
комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки”,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.06 – «інформаційні технології»**

*«“Чим більше людина медитує над добрими думками,
тим кращим буде її світ і світ в цілому”
– Конфуцій*

Актуальність теми дисертації.

Відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 червня 2021 р. № 656-р. «Про схвалення Державної програми з безпеки польотів» цивільна авіація є важливою частиною економіки, має складну інтеграцію в

транспортну систему України, тому забезпечення безпеки польотів є пріоритетом діяльності авіаційного транспорту і невід'ємною складовою національної безпеки.

Україна та інші держави, що приєдналися до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, несуть відповідальність, що випливає з Конвенції, та зобов'язані впроваджувати заходи Державної програми з безпеки польотів, що є цілісною основою ефективного та результативного управління безпекою польотів.

Повітряний транспорт одна із основних компонентів транспортної інфраструктури сучасної цивілізації, найважливішим ланкою єдиної світової транспортної системи.

Проблема підтримки льотної придатності повітряних суден у сучасних умовах роботи авіаційної галузі перебуває у центрі уваги авіаційної адміністрації, фахівців науково-дослідних організацій, підприємств авіаційної промисловості та цивільної авіації. Ці умови характеризуються відсутністю у частини авіакомпаній достатньої виробничої бази для льотної придатності повітряних суден, експлуатацією «старіючого» парку повітряних суден і обмеженими можливостями його оновлення.

Також, на сьогодні в Україні затверджена «Методологія оцінювання системи управління безпекою польотів», в основі управління якої лежить системний підхід до виявлення і усунення небезпечних факторів та проактивний підхід прогнозування ризиків для забезпечення безпеки польотів з метою зменшення втрат різного характеру, матеріальних, фінансових, екологічних та соціальних збитків.

Реалізація ефективної системи управління безпекою польотів на державному рівні шляхом впровадження положень Європейського регіонального плану з безпеки польотів та відповідно до положень ІКАО неможливо без адекватної оцінки рівня ризику пов'язаного з виконанням авіаційних робіт. Тому для підтримання високого рівня безпеки польотів необхідне дослідження в галузі проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання.

Відомо, що умови експлуатації сучасних повітряних суден характеризуються високими швидкостями, великими висотами та дальністю польоту, дією різноманітних зовнішніх збурень. В таких умовах ймовірність відмов систем зростає. Тому необхідно жорстко контролювати характеристики комплексів бортового обладнання і окремих систем авіоніки. Для цього у теперішній час застосовуються різні системи контролю на різних етапах експлуатації повітряних суден.

Бортове радіоелектронне обладнання, що використовуються на сучасних повітряних судах, виконує безліч різних складних функцій в польоті. Тому їх працездатність потрібно відповідно контролювати. При цьому засоби контролю та діагностики бортового обладнання систем попередніх поколінь не можуть бути використані для контролю та діагностики перспективних бортових систем.

Проведені дослідження свідчать, що важливою задачею систем проектування та експлуатації є інформаційна підтримка високого рівня заданого показника ефективності використання обладнання за призначенням. Комп'ютеризація перспективних повітряних суден має забезпечити необхідну його експлуатаційну надійність і безпеку як екіпажу, так і пасажирів.

Процес виробництва сучасних та перспективних цифрових бортових пристроїв і систем повинен забезпечити їх функціонально стійку роботу в усіх критичних для них умовах польоту, зокрема через зміни тиску і температури навколишнього повітря та виникнення надзвичайних (аварійних, катастрофічних) ситуацій.

Щоб задовольнити суворі вимоги щодо надійності в процесі розробки електронного повітряного обладнання та спеціального програмного забезпечення для авіоніки, спеціалісти склали відповідні стандарти, такі як стандарт DO-178C, що містить вимоги до програмного забезпечення, та стандарт DO-254, що містить апаратне забезпечення. вимоги, підкріплені додатковими документами стандартизації, включаючи ARP 4761 і ARP 4754A.

Практика свідчить, що у системі управління безпекою польотів суб'єкти авіаційної діяльності для відповідності прийнятному рівню ефективності забезпечення безпеки польотів ALoSP (acceptable level of safety performance)

повинні встановлювати процеси виявлення ризиків та загроз, здійснювати процедуру управління ризиками, визначати цілі безпеки та забезпечувати звітування, виконувати процедури для аудиту, здійснення розслідувань, впровадження коригувальних дій та навчання з питань безпеки.

У теперішній час, як свідчить практика, авіація залишається безпечним видом транспорту, але при цьому події все ж мають місце, вісімдесят і більше відсотків яких відбуваються через людський фактор. Так, Згідно «Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959 – 2019» більше 50% випадків відбувається на етапах зльоту і посадки повітряного судна, а саме 12% на етапах зльоту та початкового набору висоти, та 53% – на кінцевому етапі заходження на посадку та посадку. І це з урахуванням того, що в середньому зазначені вище етапи займають всього 6% від загальної тривалості польоту.

Безпека є основною пропозицією швидкого та надійного повітряного сполучення, а міжнародна співпраця урядів і галузевих груп у сфері авіаційної безпеки через ІКАО допомогла зробити комерційні літаки найбезпечнішим способом подорожі. 193 країни, які співпрацюють через ІКАО, наразі працюють над досягненням узгодженої глобальної мети безпеки – нульового рівня смертельних випадків до 2030 року разом із зміцненням своїх регуляторних можливостей, одночасно переслідуючи низку програм і цілей, пов'язаних із поточними ключовими напрямками глобального планування безпеки авіації., нагляду та зменшення ризиків.

Глобальний план авіаційної безпеки (GASP) представляє стратегію, яка підтримує визначення пріоритетів та постійне вдосконалення авіаційної безпеки. GASP разом із Глобальним аеронавігаційним планом (GANP, Doc 9750) забезпечує структуру, у якій розроблятимуться та впроваджуватимуться регіональні та національні плани авіаційної безпеки, таким чином забезпечуючи гармонізацію та координацію зусиль, спрямованих на покращення безпеки міжнародної цивільної авіації, потенціалу і ефективність.

Метою GASP є постійне зниження кількості смертельних випадків і ризику смертельних випадків шляхом керівництва розробкою узгодженої стратегії

безпеки авіації, регіональних планів безпеки авіації та національних планів безпеки авіації.

Таким чином, безпека польотів – це головне завдання, забезпечення якого покладається на технічний персонал із підготовки повітряних суден перед вильотом, на екіпаж повітряного судна, а також на органи обслуговування повітряного руху, отже, не мала кількість часу й коштів виділяється на професійну підготовку згадуваного авіаційного персоналу.

У процесі вирішення наведених задач використані результати робіт у сфері статистичної обробки даних, теорії та практики експлуатації технічних комплексів багатьох вітчизняних і закордонних вчених, перш за все А. Вальда, М. Де Гроота, М.М. Фішмана, Ю.Г. Сосуліна, А.Н. Ширяєва, А. Тартаковського, І.В. Нікіфорова, Г. Дейвіда, І.А. Ібрагімова, Р.З. Хасьминського, Ш. Закса, Є.Ю. Барзіловіча, В.А. Каштанова, Б.Р. Левіна, Ю.К. Беляєва, С.О. Дмитрієва, В.П. Харченка, В.С. Дем'янчука, Г.Ф. Конаховича, І.О. Козлюк, І.О. Мачаліна, В.А. Машкова, О.В. Барабаша, Ю.В. Кравченка, В.В. Коніна, В.О. Ігнатова, В.С. Новікова, О.Л. Петрашевського, О.І. Запорожця, В.В. Уланського, О.Г. Байбуза, В.Г. Мелкумяна та інших.

Особливістю сучасних та перспективних систем авіоніки є децентралізована паралельна обробка інформації, великий рівень складності, здатність навчатися, розпізнавати інформацію та формувати рішення. Створення штучних моделей комплексів авіоніки та дослідження їхньої поведінки можливо на основі системного підходу, який передбачає комплексне використання методів теорії управління, математики, інформатики, законів фізики, і створює умови для розуміння, які чинники визначають характер функціонування комплексів бортового обладнання з метою корегування даного процесу.

У теперішній час перспективним напрямком забезпечення підвищенні ефективності інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації бортового обладнання є розробка та застосування інтегрованої модульної авіоніки. При цьому слід враховувати, що умови функціонування сучасних повітряних суден відрізняються високими швидкостями, великими висотами і дальностями польоту, дією різноманітних і численних зовнішніх чинників.

Разом з тим вимоги до точності і надійності навігаційного обладнання зростають. Умови, в яких використовується комплексне бортове обладнання, накладають жорсткі обмеження на фізичні, технічні та експлуатаційні характеристики систем.

Однією з найважливіших проблем при експлуатації бортового обладнання повітряних суден є оцінка стану апаратури комплексу, діагностика її відмов і управління функціонуванням всієї апаратури як відповідно до її станом, так і відповідно до поточних зовнішніх умов. Для цього застосовуються різні системи підвищення відмовостійкості, завадозахисту і контролю на різних етапах експлуатації бортового обладнання.

Використовуються ієрархічні системи, що добре зарекомендували себе на практиці, в яких оцінюється працездатність і достовірність інформації окремих систем і комплексу бортового обладнання в цілому. Однак при вирішенні проблеми збереження працездатності бортового обладнання доцільно знати не тільки момент відмови бортових систем, але і передбачити момент виникнення аварійної ситуації, а також інтервали недостовірної роботи обладнання.

Вирішення цієї проблеми за допомогою апріорних прогнозують моделей вимагає проведення тривалих дорогих експериментів, не дозволяє враховувати особливості конкретних систем і здійснювати ефективний контроль повітряних суден. Тому для підвищення відмовостійкості і здійснення контролю бортового устаткування повітряних суден доцільно використовувати комплексні системи контролю на базі динамічних експертних систем, які дозволяють враховувати режими польоту повітряних суден, мають базу даних і оціночні критерії. Застосування динамічних експертних систем на борту повітряних суден пов'язане зі складнощами реалізації, вимогами підвищеної продуктивності бортового радіоелектронного обладнання.

Таким чином, актуальною науково-прикладною проблемою є розробка методології інформаційна підтримка процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки

Тому тема дисертаційної роботи *Коваленко Юлії Борисівни* яка присвячена рішення цієї наукової проблеми є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Автор добре розуміє специфіку задачі, що розглядається у дисертації та коректно формулює її постанову. дослідження процесу інформаційної підтримки проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання, класифікація моделей і методів інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації повітряних суден, аналіз сучасних засобів інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання які виконано досить кваліфіковано, склали основу розробки методів і моделей інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегральної модульної авіоніки.

Розробка математичного й алгоритмічного забезпечення інформаційного процесу автоматизованого проектування комплексу бортового обладнання інтегральної модульної авіоніки передбачає системно-технологічний процес розробки, виробництва і випробувань комплексу бортового обладнання на основі галузевої САПР, оцінку відмовостійкості комплексу бортового обладнання інтегральної модульної авіоніки в процесі проектування та експлуатації, проектування та тестування системи керування авіоніки в реальному часі за допомогою застосування інформаційної підтримки.

Оцінка ефективності та підвищення надійності технічної експлуатації інформаційної підтримки автоматичного контролю бортового радіоелектронного обладнання в роботі передбачає розробку системи підвищення відмовостійкості бортового радіоелектронного обладнання на основі теорії функціональних систем, застосування методики прогнозування показників надійності бортового радіоелектронного обладнання за даними експлуатаційної підтримки, розробку редукованої динамічної експертної системи для автоматизованого контролю бортового устаткування.

При проведенні моделювання роботи елементів і пристроїв інтегральної модульної авіоніки автором здійснено оцінку надійності обчислювальних структур інтегрованої модульної авіоніки, запропоновано процес розробки програмного забезпечення та автоматизована інформаційна підтримка

інтегрованої модульної авіоніки, запропоновано уніфіковане автоматизоване робоче місце з перевірки функціонального модуля інтегрованої модульної авіоніки комплексу бортового обладнання.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань використано методи системного аналізу, методи ймовірно-статистичного моделювання. Для побудови практичних реалізацій розроблених моделей, методів та алгоритмів застосовано засоби і технології сучасного прикладного програмування.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апарату методів аналізу, синтезу, проектування та моделювання систем автоматизованого проектування, методів обчислювальної математики, статистики, дискретної математики, математичного аналізу, методів математичного програмування, імовірнісних розрахунків, застосування складних алгоритмів.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по всіх п'яти розділах та загальних висновках зроблено науково обґрунтовано і логічно за результатами аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також застосування розроблених моделей, методів та алгоритмів для створення методології інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність наукових положень, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх відповідністю методології дослідження поставленої проблеми; повнотою розгляду на теоретичному і експериментальному рівнях об'єкту дослідження, що охоплюють його змістовні і процесуальні характеристики; застосуванням комплексу методів, адекватних

предмету дослідження; тривалістю практичної роботи і можливістю її відтворення.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертації ґрунтуються на:

- використанні результатів аналізу процесу інформаційної підтримки проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання;
- коректності застосування системного підходу до вирішення проблеми використання методів і моделей інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегральної модульної авіоніки;
- узгодженістю із наявними результатами інших авторів, які надруковано у вітчизняній та зарубіжній літературі;
- даних про їх успішне практичне застосування при моделюванні роботи елементів і пристроїв інтегральної модульної авіоніки, та порівнянні отриманих результатів з відомими даними незалежних дослідників та результатами моделювання.

Теоретичною базою досліджень є методи системного аналізу та теорії управління для формалізації процесу проектування інтегрованої модульної авіоніки, логіко-імовірнісні та статистичні методи для оцінки безвідмовності й відмовостійкості елементів обчислювальної системи, методи дискретної математики та графової теорії для побудови структурно-функціональних моделей, методи теорії обробки спостережень для аналізу результатів експериментів, методи аналітичного та математичного моделювання для створення моделей процесів, а також методи програмної інженерії для реалізації інформаційної технології підтримки проектування та експлуатації бортового обладнання.

Наукова новизна та важливість результатів, які одержані автором в дисертації, полягають в наступному:

У результаті проведених досліджень вирішена науково-прикладна проблема розробки теоретичних основ, інструментального базису та технології інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Метою дисертаційної роботи визначено підвищення ефективності інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації бортового обладнання гармонізованих з засадами інтегрованої модульної авіоніки.

Для досягнення поставленої мети в роботі було вирішено наступні завдання.

1. Здійснено аналіз сучасних засобів інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання.

2. Розроблено метод підтримки процесу проектування інтегрованої модульної авіоніки для формалізації процесу визначення множини параметрів побудови комплексів бортового обладнання нового покоління.

3. Розроблено модель процесу проектування комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки для побудови математичних методів підвищення надійності та відмовостійкості на етапі проектування.

4. Розроблено графову модель структури функцій комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки вхідних і вихідних параметрів для реалізації обчислювальної потужності, навантаження на мережу передачі даних.

5. Розроблено структурну модель процесу проектування складних автоматизованих систем управління комплексу бортового обладнання для вирішення проблеми виявлення несправностей автоматизованих систем, встановити взаємозв'язок щодо виявлення аналогічностей та появи помилок такого типу, повідомити та сформулювати звіт.

6. Розроблено структурно-логічну модель уніфікованого автоматизованого робочого місця для підвищення достовірності контролю обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки.

7. Розроблено метод оцінки ймовірності безвідмовної роботи структурно-логічної моделі уніфікованого автоматизованого робочого місця для контролю функціональних елементів обчислювальної інтегрованої модульної авіоніки на виробництві.

8. Розроблено інформаційну технологію для підвищення відмовостійкості бортового обладнання.

9. Розроблено алгоритм контролю обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки під час польоту повітряного судна для контролю функціональних елементів та подальшої розробки програмного забезпечення у складі уніфікованого робочого місця обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки.

10. Розроблено, експериментально досліджено та впроваджено в практику алгоритмічне, програмне забезпечення інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки для верифікації створених методів та моделей.

При вирішенні цих завдань в роботі застосовано методи обчислювальної математики, статистики, дискретної математики, математичного аналізу, методів математичного програмування, ймовірнісних розрахунків, застосування складних алгоритмів.

Проведений аналіз інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання (аналіз сучасних інструментів, програмного забезпечення, баз даних, методів аналізу даних, систем моніторингу та інше) який показав їх обмежені можливості відносно функціоналу, що спрямоване на забезпечення доступності, актуальності, цілісності, комплексності, надійності, зручності використання та захищеності інформації, таким чином, дозволив визначити задачі дослідження, які орієнтовані на побудову ефективних систем інформаційних технологій для авіаційної промисловості та засобів інформаційної підтримки для оптимізації процесів проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання.

Розроблено метод підтримки проектування інтегрованої модульної авіоніки який дозволяє вдосконалити процес проектування комплексів бортового обладнання нового покоління, а саме підвищенню якості та ефективності процесу проектування, скороченню часу розробки та впровадженню нових технологій у виробництво авіаційної техніки, сприяючи покращенню конкурентоспроможності та інновації авіаційної промисловості.

Розроблена графова модель структури функцій комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки для реалізації обчислювальної

потужності та навантаження на мережу передачі даних є важливим інструментом для аналізу та оптимізації роботи авіонічних систем. Ця модель дозволяє систематизувати та візуалізувати взаємозв'язки між різними функціями та параметрами системи, що допомагає зрозуміти їх вплив на обчислювальні та комунікаційні процеси.

Результати застосування цієї моделі можуть бути корисними для планування та оптимізації роботи бортових систем з урахуванням обмежень обчислювальної потужності та мережі передачі даних.

Виділення та відокремлення процесу проектування структури функцій в загальному процесі проектування комплексу бортового обладнання дозволяє вирішувати це завдання як оптимізаційне, сформулювати вимоги щодо застосування методів підвищення надійності та відмовобезпечності виконання функцій на ранніх стадіях проектування і подальшу розробку комплексів бортового обладнання здійснювати з урахуванням даних вимог. Виділення і відокремлення процесу проектування структури функцій не призводить до погіршення адаптивності процесу проектування комплексів бортового обладнання.

Функціональні засади розробки та експлуатації програмного забезпечення у сфері авіації мають власну специфіку, яка базується на відповідних стандартах.

Для розробки, налагодження і виготовлення важливо забезпечити пошук дефекту з глибиною пошуку до елемента або до функційного блоку. Тому елементами графа є ланцюги і відповідні їм контакти. При цьому побудована діагностичної моделі на основі списків з'єднань і з застосуванням технології граничного сканування. Це дозволяє збільшити глибину пошуку структурних дефектів (таких як обриви, короткі замикання або змішування ланцюгів), що знижує ризики втрат різного виду.

Для етапу експлуатації бортових систем важливим є забезпечення відмовостійкості при впливі несприятливих факторів (кліматичних, механічних, випромінювань і перешкод різного роду). В цьому випадку діагностична модель не вимагає високої деталізації. Необхідно встановити факт правильного функціонування, а в разі порушення роботи виконати реконфігурацію системи.

Тому елементами графа в цьому випадку є модулі обробки. При цьому як витрати на апаратну надмірність, так і витрати часу на відновлення повинні бути мінімальні. В роботі це досягається для систем, структура яких описується певною алгебраїчною моделлю.

В роботі розроблено загальний алгоритм побудови структури функцій комплексу бортового обладнання, який дозволяє автоматизувати даний процес при проектуванні комплексів бортового обладнання в форматі інтегрованої модульної авіоніки і вирішити оптимізаційну задачу структуризації та приватні алгоритми мінімізації кількості функцій в структурі і формування груп функцій.

Проведено математичний опис структури функцій, алгоритми її побудови та оптимізації є основою для побудови засобів САПР комплексів бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки на етапі проектування даної структури.

В роботі обґрунтовано, що тести апаратури бортового обладнання 4-го покоління не підходять для контролю обчислювальних машин 5-го покоління у зв'язку з істотною відмінністю в організації архітектури обчислювальних систем і збільшення вимог по надійності і відмовостійкості. Тому тестування апаратури бортового обладнання 5-го покоління слід організовувати з урахуванням нових підходів до архітектури обчислювальної системи. Конструктивно-функціональні модулі, об'єднані в єдину локальну мережу, слід тестувати шляхом зовнішнього функціонального контролю з введенням процедури мажорювання. Причому, проведення тесту ініціюється стороннім модулем, що входять до складу обчислювальної системи.

Модульна побудови тестів конструктивно-функціональних модулів дозволяє скласти набір тестів, з яких можна скласти функціональний тест для будь-якого з типів обчислювальних модулів.

Для безпеки критично важливих систем необхідно використовувати відмовостійкість, щоб допускати помилки проектування, які переважно пов'язані з програмним забезпеченням і синхронізацією. Недостатньо усунути майже всі несправності, які виникли на пізніх стадіях життєвого циклу; потрібна впевненість, що вони були усунені або є вкрай малоймовірними.

Розроблена модель процесу проектування комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки для побудови математичних методів підвищення надійності та відмовостійкості, забезпечення якості та безпеки авіаційних систем. Ця модель дозволяє систематизувати та формалізувати процес врахування аспектів надійності та відмовостійкості на ранніх етапах проектування, що дозволяє виявляти та усувати потенційні проблеми ще до виробництва та експлуатації. Результати застосування цієї моделі можуть бути корисними для розробників, інженерів та дослідників, що працюють у сфері авіаційних технологій, сприяючи підвищенню якості та надійності авіаційних систем, а також забезпеченню безпеки польотів.

Розроблено структурна модель процесу проектування складних автоматизованих систем управління комплексу бортового обладнання є важливим інструментом для вирішення проблеми виявлення несправностей автоматизованих систем. Ця модель дозволяє систематизувати та візуалізувати взаємозв'язок між етапами проектування, аналізувати ситуації виявлення аналогій та помилок, а також ефективно повідомляти та формулювати звіти щодо виявлених проблем.

Розроблено структурно-логічна модель уніфікованого автоматизованого робочого місця для підвищення достовірності контролю обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки є важливим кроком у напрямку забезпечення безпеки та надійності авіаційних систем. Ця модель дозволяє систематизувати та візуалізувати робоче місце, забезпечуючи операторам зручний інтерфейс для контролю та аналізу обчислювальної системи. Вона також дозволяє виявляти та усувати потенційні проблеми ще до виробництва та експлуатації, що покращує якість та надійність авіаційних систем.

Результати застосування цієї моделі можуть бути корисними для планування та оптимізації роботи бортових систем з урахуванням обмежень обчислювальної потужності та мережі передачі даних.

Розроблені методи оцінки ймовірності безвідмовної роботи структурно-логічної моделі уніфікованого автоматизованого робочого місця для контролю функціональних елементів обчислювальної інтегрованої модульної авіоніки на

виробництві є важливим інструментом для забезпечення надійності та безпеки авіаційних систем. Ці методи дозволяють оцінити ймовірність виявлення та усунення потенційних проблем у роботі функціональних елементів ще до виробництва та експлуатації, сприяючи підвищенню якості та надійності авіаційних систем.

Таким чином, на основі виконаних досліджень в дисертаційній роботі розроблено концепцію інформаційної підтримки процесу проектування й експлуатації комплексу бортового обладнання та отримано такі нові результати.

Вперше:

- розроблено графову модель структури функцій комплексу бортового обладнання, в якій за допомогою теорії графів, пов'язуються множини вхідних і вихідних параметрів функцій модулів бортового обладнання та їх груп, що дозволяє визначати необхідну кількість обчислювальних модулів; рівні гарантії проектування кожного модуля; кількість переданих по мережі даних параметрів відповідно переліку функцій визначених стандартом IEEE 1149.1;

- розроблена структурна модель процесу проектування складних автоматизованих систем управління комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки, в якій за рахунок модернізації спеціалізованих контролерів універсальними модулями забезпечення незалежної роботи різних авіаційних систем, та інтеграції підсистеми віртуальних з'єднань внутрішньої комутованої мережевої інфраструктури, при підтримці технологій, AFDX (Avionics Full Duplex Switched Ethernet) і CAN (Controller area network), на основі теорії ймовірності, дозволило обґрунтувати основні етапи проектування так експлуатації та компоненти автоматизованих систем управління бортового обладнання, підвищити ймовірність виявлення несправностей автоматизованих систем;

- розроблена структурно-логічну модель уніфікованого автоматизованого робочого місця, в якій за рахунок застосування модульного принципу розділення модулів-тестів за функціональною залежністю кожного тестуючого елемента, та процедури мажорювання результатів контролю кожного функціонального

елемента обчислювальної системи, дозволяє підвищувати достовірність контролю обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки;

- розроблено метод оцінки ймовірності безвідмовної роботи структурно-логічної моделі уніфікованого автоматизованого робочого місця обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки, в якій за рахунок аналітичних процедур реалізації процесів резервування на рівні однотипних функціональних модулів та окремої процедури ковзного резервування на рівні ідентичних функціональних модулів контролю функціональних елементів обчислювальної інтегрованої модульної авіоніки, дозволило підвищити у сукупності достовірність контролю обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки;

- розроблено інформаційну технологію, в якій за рахунок методу підтримки процесу проектування інтегрованої модульної авіоніки, моделей процесу проектування та графової моделі структури функцій комплексу бортового обладнання, та враховуючи структурну модель процесу проектування складних автоматизованих систем управління комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки, з врахуванням методів прогнозування, апріорно-математичної моделі редукованої динамічної експертної системи, дозволила підвищити відмовостійкість та надійність бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Удосконалено:

- метод підтримки процесу проектування інтегрованої модульної авіоніки, в якому за рахунок виокремлення етапів: ескізного проектування, формуванні вимог процесу оцінки безпеки, верифікації процесу оцінки безпеки та виділення окремої проектної процедури генерування структури функцій комплексу бортового обладнання, дозволило формалізувати процес визначення множини параметрів для побудови комплексів бортового обладнання нового покоління;

- модель процесу проектування комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки, в якій за рахунок узагальнених функцій верхнього рівня та первинних даних про їх структуру, окремої процедури процесу проектування формалізації та типізації структури функцій, на основі

Марківських процесів дозволяє підвищити відмовостійкість на ранніх стадіях проектування.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень.

Проведений аналіз свідчить, що на сучасному етапі розвитку вітчизняна авіаційна промисловість підходить до створення повітряних суден нового покоління. Ключова роль у створенні повітряних суден нового покоління відводиться створенню нової універсальної обчислювальної системи. Універсальна ОС входить до складу ряду авіаційних комплексів (пілотажний, навігаційний та ін.), які керують рухом повітряних суден в польоті, і розробляється відповідно до концепції, що отримала назву «інтегрована модульна авіоніка» (ІМА), докладно викладеної в групі стандартів ARINC 651-655.

Відомо, що Стандарти ARINC 651-655 регламентують порядок розробки компонентів апаратного і програмного забезпечення, з яких в подальшому будується універсальна обчислювальна система для авіаційного застосування. Реалізація запропонованих в стандартах ідей передбачає надання обчислювальної системи ІМА: якісно нових експлуатаційних властивостей; підвищених значень техніко-економічних показників в порівнянні з існуючими сьогодні обчислювальними системами четвертого покоління, що знаходяться в експлуатації.

При цьому практичний досвід розробки обчислювальної системи четвертого покоління і перспективних обчислювальних систем ІМА показав суттєві відмінності в принципах їх структурної організації та виявив об'єктивну потребу сучасного виробництва в створенні нових методів та засобів автоматичного та автоматизованого контролю, спеціалізованих під обчислювальні системи ІМА і забезпечують властивість реконфігурації ОС при виникненні відмов у польоті.

Прийняті в обчислювальних системах четвертого покоління технічні рішення в області організації засобів контролю виявляються непридатними для створення засобів контролю перспективних обчислювальних систем, в зв'язку з

чим актуальною є задача створення і дослідження методів і засобів контролю обчислювальних систем, спеціалізованих під ІМА.

На тлі успіхів перспективних зарубіжних досліджень компаній Astronautics Corporation of America, Aerospace Display Systems Inc., Display and Technologies interface Product, Planar Advance be, Systran Corporation, Thales, Honeywell, Rockwell Collins, Allied Signal та інших, що проводяться під егідою об'єднаного комітету по стандартизації архітектури авіаційних комплексів ASAAC (Allied Stand Avionics Architecture Council) в рамках програм створення в США нових концепцій побудови БРЕО – DAIS, Pave Pillar / F22 (Raptor), Pave Pace / JSF (Joint Strike Fighter – F35), MASA (Module Avionics System Architecture), інтегрованих систем чіпів – ISS (Integrated Sensor System), стандартних конструкцій електронних модулів-SEM (Standard Electronic Module), і AAAP (Advanced Avionics Architecture And Packaging) у Великій Британії.

У теперішній час в Україні ведеться пошук нових наукових напрямів розвитку бортового радіоелектронного обладнання, дослідження наукових основ проектування та управління якістю проектних робіт, методології побудови і функціонування електронного обладнання, здатних забезпечити якісний і довготривалий пріоритет вітчизняних розробок в цільовій ефективності та конкурентоспроможної боротьбі.

Детальне опрацювання методів і засобів проектування, розробка інтеграція функціональних систем в єдиний комплекс вимагають створення наскрізної технології автоматизованого синтезу, що забезпечує зниження невизначеності в оцінці основних властивостей розроблюваних систем до рівня, що дозволяє здійснити обґрунтований вибір найкращого варіанту структури і параметрів бортового радіоелектронного обладнання, а також окремих видів його підсистем вже на початковому етапі – етапі ескізного проектування.

Зазначена проблема обумовлюється об'єктивним протиріччям між існуючими засобами інформаційної підтримки, які обмежені у своїй функціональності та можливістю створення цільової інформаційної підтримки інформаційних систем нового покоління, оскільки існуючі системи не можуть задовольнити нові вимоги, які потребують використання сучасних технологій та

стандартів для забезпечення високої гнучкості, масштабованості та автоматизації. Це ускладнює реалізацію ефективної та сучасної системи інформаційної підтримки для бортового радіоелектронного обладнання також, гармонізація базових засобів інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації бортового радіоелектронного обладнання з засадами інтегрованої модульної авіоніки. При цьому забезпечення високої модульності та гнучкості системи призводить до збільшення складності, вартості та часу на сертифікацію, що негативно впливає на її надійність та продуктивність.

Вітчизняні та закордонні вчені приділяють велику увагу проблемам проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Значна кількість робіт присвячена науковому обґрунтовуванню процесам проектування інтегрованої модульної авіоніки. При цьому процес проектування розглядається як складний ітераційний процес послідовного характеру, який тісно пов'язаний з процесом оцінки безпеки. Весь процес розділений на етапи і рівні. Етапи проектування зазначені в моделі загальними формулюваннями і не суперечать ДЕСТ 34.601-90. У моделі поділ на рівні передбачає розмежування процесів проектування повітряних суден, комплексів бортового обладнання, систем і модулів один від одного і визначає механізми взаємозв'язків між ними. Між рівнями проектування існують жорсткі ієрархічні зв'язки. Це забезпечує єдність концепцій проектування модулів у рамках системи, систем у рамках комплексів бортового обладнання. Вимоги до будь-якої складової частини виробу формуються поєднанням вимог верхнього рівня і приватних вимог.

Інформаційна підтримка IMA (Integrated Modular Avionics) уніфікованої мережі взаємозв'язку з резервною топологією ARINC 664 (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet) включає в себе ряд функцій та характеристик, що забезпечують надійну та ефективну роботу системи. Основні аспекти цієї підтримки включають:

1. Діагностика та моніторинг: система забезпечує можливість виявлення та діагностику несправностей в мережі ARINC 664, щоб забезпечити швидке виявлення та виправлення проблем.

2. Автоматичне переключення на резервну топологію: в разі виявлення несправностей або втрати зв'язку система автоматично переключатися на резервну топологію ARINC 664, щоб забезпечити безперервність обміну даними.

3. Конфігурування та керування мережею: забезпечує зручний інтерфейс для конфігурування та керування параметрами мережі, такими як швидкість передачі даних, призначення портів та інші.

4. Захист від несанкціонованого доступу: забезпечення безпеки мережі шляхом встановлення заходів захисту від несанкціонованого доступу до даних та контролю за доступом до системи.

5. Підтримка резервування ресурсів: система забезпечує можливість резервування ресурсів мережі (наприклад, багатоканальний обмін даними) для забезпечення надійності та безперервності роботи.

Алгоритм роботи інтегрованої модульної авіоніки (ІМА) може бути поділений на кілька етапів:

ініціалізація системи: під час запуску системи виконується ініціалізація всіх модулів, перевірка їх працездатності та встановлення зв'язків між ними;

виконання основних функцій : ІМА виконує основні функції, для яких вона призначена, наприклад, управління авіонікою, обробка даних від датчиків, навігація тощо;

моніторинг та діагностика: ІМА постійно моніторити стан своїх модулів та системи в цілому, виявляючи можливі проблеми або відхилення в роботі;

управління відмовами: у разі виявлення відмови в одному з модулів або підсистем, ІМА може виконати переналаштування або перенаправлення завдань на інші модулі або резервні системи, щоб забезпечити продовження роботи;

відновлення після відмови: після усунення проблеми ІМА може відновити роботу та перейти в нормальний режим роботи;

завершення роботи: при завершенні роботи або вимкненні системи ІМА може виконати процедури завершення роботи, зберегти дані та відключити модулі від живлення.

Розрахунок якості та надійності комплексу бортового обладнання протягом всього циклу (проектування з урахуванням експлуатації) включає етапи:

1. Визначення вимог до якості та надійності: на початковому етапі необхідно чітко визначити вимоги до якості та надійності комплексу. Це може включати вимоги до безвідмовної роботи протягом певного часу, вимоги до часу відновлення в разі виникнення несправностей, вимоги до міжремонтного часу та інші.

2. Аналіз ризиків і відмов: проведення аналізу можливих ризиків та відмов, що можуть виникнути в процесі експлуатації обладнання. Це допоможе визначити потенційні проблемні місця та розробити стратегії їх уникнення чи мінімізації впливу.

3. Проектування з урахуванням надійності: під час проектування комплексу необхідно враховувати принципи надійності, такі як вибір надійних компонентів, резервування систем, розробка систем діагностики та управління несправностями.

4. Випробування та валідація: проведення випробувань для перевірки відповідності розробленого комплексу вимогам до якості та надійності. Це включає в себе випробування на витривалість, стійкість до зовнішніх впливів, перевірку на роботу в екстремальних умовах тощо.

5. Експлуатація та моніторинг: після введення в експлуатацію важливо проводити моніторинг роботи комплексу для виявлення можливих проблем та їх вирішення. Це допоможе забезпечити постійну високу якість та надійність в роботі обладнання.

6. Аналіз після експлуатації: після закінчення експлуатації проводиться аналіз її результатів для визначення можливих покращень в процесі розробки та експлуатації наступних комплексів.

Процедура розрахунку виглядає наступним чином:

1. Визначення параметрів методу і надійності: вибір відповідної моделі надійності та визначення параметрів цієї моделі (середній час до відмови МТТФ).

2. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи: за допомогою обраного методу можна розрахувати ймовірність того, що комплекс не вийде з ладу протягом певного періоду часу.

3. Оцінка MTTR та часу відновлення: оцінка середнього часу до відновлення роботи комплексу після виникнення несправності.

4. Аналіз чутливості: проведення аналізу чутливості параметрів моделі для визначення впливу різних факторів на надійність та якість системи.

Використання еталонних моделей на даний момент, в основному, розглядається під час розробки інтелектуальних систем загального дидактичного навчання та являють собою набір референтних значень, так званих еталонних множин [Добрица В. П., Локтионова Н. Н. Применение теории нечетких множеств для оценки качества образованности обучающихся. Вестник РУДН. Серия: Информатизация образования. 2010. № 1. С. 66-71.] для визначення компетентності того, хто навчається.

В роботах Сироти С.В., Тарана Т.А. еталонна модель системи будується на отриманих знаннях від експерта в процесі взаємодії з нею, тим самим формуючи й перебираючи безліч рішень.

Еталонні моделі, що формуються для автоматизованих систем навчання операторів, висвітлені в роботах Мигранової Е.А., Дозорцева В.М., Назіна В.А., Бауліна Е.С., в основному являють собою набір / перелік алгоритмів дій у конкретних штатних та позаштатних ситуаціях, описаних у виробничій документації. Застосування зазначених вище підходів до вилучення знань та, як наслідок, формування еталонних моделей, є прийнятним і можливим лише для добре документованих та структурованих предметних областей.

Формування еталонної моделі з використанням метода аналізу діяльності оператора при обробці інформації про стан об'єкта управління й формування рішень в автоматизованій системі інформаційного забезпечення управління повітряним рухом передбачає проведення дослідження діяльності оператора за рахунок проведення імітаційного моделювання його діяльності. Згідно з результатами роботи, імітаційна модель дозволяє враховувати груповий характер діяльності при оцінці повітряної обстановки, властивості оператора з обробки й декодування інформації, відображати особливості його роботи з різними пристроями відображення інформації, враховувати необхідні витрати часу на виконання дій щодо перетворення інформаційної моделі в концептуальну

модель. Такій підхід передбачає, що модель діяльності оператора при оцінці повітряної обстановки на робочому місці представляється графом. У графі вершини відповідають подіям, наприклад, "інформація, представлена на великому екрані, сприймається", "введення команд в електронно-обчислювальну машину здійснене", в той час як ребра відповідають ймовірності переходу від однієї події до іншої, і містять інформацію про час, що витрачається на перехід. Дана модель дозволяє здійснити імітаційне моделювання сприйняття оператором інформації, представленої на робочому місці, визначити витрати часу на виконання окремих операцій і комплекс операцій, але при цьому встановити порядок і послідовність виконуваних дій не представляється можливим.

Шевчук А. зазначає, що інформаційні технології можуть реалізовуватися в неавтоматизованому і в автоматизованому виглядах. Основними компонентами комп'ютерних інформаційних технологій є комплекс технічних засобів, комплекс програмних засобів та організаційно-методичне забезпечення. Проте існує й інший підхід до структури автоматизованих інформаційних технологій, в якому складовими основи інформаційних технологій є: апаратне забезпечення (hardware), програмне забезпечення (software), алгоритмічне (інтелектуальне) забезпечення (brainware), мережа підтримки інформаційних технологій, інфраструктура (infrastructure) – необхідні адміністративні й організаційні структури, культурні схеми, стандарти й критерії тощо (Шевчук, А. В. (2007). Інформаційні технології в забезпеченні соціально-економічного розвитку регіону. <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/14186/1/maket.pdf>).

Питання створення та застосування біоінформаційних баз даних розглянуто в працях С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, Т.А. Хоменко. М.О. Булаєвська (С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, Т.А. Хоменко. Основи біоінформатики [Електронний ресурс]: підручник для студентів напряму підготовки 6.051401 «Промислова біотехнологія» факультету біотехнології і біотехніки; НТУУ «КПІ». - Електронні текстові дані (1 файл: 2,72 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2010 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/774> ; С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, М.О. Булаєвська. Біоінформатичні бази даних [Електронний ресурс],

.
Приставка О.П., Байбуз О.Г. розробили концепції, методи та моделі обробки статистичних даних, що базуються на сучасній методології обробки інформації, побудові автоматизованих систем та програмних технологій оперативного аналізу та відповідають сучасному світовому рівню в галузі обробки інформації. В їх працях запропоновано методологію побудови локальних геоінформаційних систем, основою якої є комплексне застосування методів статистичного аналізу, теорії марківських процесів, методів прогнозування, класифікації, кластерного та регресійного аналізу, сплайн-перетворень, нечіткої логіки. Створено програмний комплекс аналізу даних екологічного моніторингу та оцінки забруднення локальних територій техногенно-навантажених регіонів; інтелектуальну систему аналізу, що дозволяє автоматизовано проводити обробку гідрохімічних спостережень водних об'єктів у районах з підвищеним техногенним навантаженням, районування, виявлення основних тенденцій формування хімічного складу та комплексну водно-екологічну оцінку поверхневих вод. Розроблено статистично-ймовірнісну модель оцінки стану наддинамічного процесу, заснована на відтвореній щільності розподілу розладнань часового ряду та обчислювальні схему розрахунку функцій ризику, засновані на байєсівській оцінці параметру функції умовного розподілу. Розроблена інформаційна технологія аналізу часових рядів екологічного моніторингу, призначена для надання користувачу інформації щодо значень функцій ризику розладнання нестационарного процесу з множинними розладнаннями.

В Україні у розвиток теоретичних і прикладних аспектів системноаналітичних досліджень і інформаційних технологій для обробки складних даних зробили десятки видатних дослідників, серед яких варто назвати таких учених, як: В.М. Глушков, О.Г. Івахненко, П.І. Бідюк, Є.В. Бодянський, В.С. Степашко, Ю.П. Кондратенко, О.І. Міхальов, С.Г. Антощук, В.Н. Крилов, О.В. Тимченко, В.І. Литвиненко, О.І. Корнелюк, М.Ю. Оболенська та інші.

В працях Говорущенко Т. О. розглянуто теоретичні та прикладні засади інформаційної технології оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до програмного забезпечення.

Лисенко С.М. розробив методологічні основи та інформаційну технологію забезпечення резильєнтності комп'ютерних систем в умовах кіберзагроз.

В працях Гордєєва О.О. запропоновано методологічні основи та інформаційну технологію профіле-орієнтованого оцінювання якості програмного забезпечення людино-комп'ютерних систем.

В працях Комар М.П. розроблено методологічні основи інформаційної технології інтелектуального аналізу та обробки великих даних

Досин Д.Г. запропонував методологічні засади розроблення інтелектуальних інформаційно-пошукових систем на основі визначення корисності знань.

В працях Поліщук В.В. розроблено методологічні основи інформаційної технології оцінювання рівня керованості процесами складних систем.

Сьогодні ми є свідками активного розвитку технологій інтелектуального аналізу даних (Data Mining), поява яких пов'язана, в першу чергу, з необхідністю аналітичної обробки великих об'ємів інформації, що нагромаджуються в сучасних базах даних. Більшість компаній накопичують під час своєї діяльності величезні об'єми даних, але головне, що вони хочуть від них отримати - це корисну інформацію. Як можна дізнатися з даних про те, що є вигіднішим для клієнтів компанії, як розмістити ресурси ефективним чином або як мінімізувати втрати? Для вирішення цих проблем і призначені новітні технології інтелектуального аналізу, які використовуються для знаходження моделей і відносин, прихованих в середовищі даних, - моделей, які не можуть бути знайдені звичайними методами.

Суть і мету технологій Data Mining можна охарактеризувати так: це технології, які призначені для пошуку у великих об'ємах даних неочевидних, об'єктивних і корисних на практиці закономірностей. Сфера застосування Data Mining нічим не обмежена - вона скрізь, де є які-небудь дані. Але в першу чергу методи Data Mining сьогодні заінтригували компанії, що розгортають проекти на

основі сучасних інформаційних технологій. Досвід багатьох таких компаній показує, що віддача від використання Data Mining може досягати 1000%.

Технології інтелектуального аналізу даних потрібні в першу чергу спеціалістам, що ухвалюють важливі рішення, - керівникам, аналітикам, експертам, консультантам. Дохід компанії більшою мірою визначається якістю цих рішень - точністю прогнозів, оптимальністю вибраних стратегій. І від якості цих рішень залежить розвиток компанії. Слід також зазначити, що для реальних задач бізнесу і виробництва не існує чітких алгоритмів рішення. Тому керівники і експерти вирішують такі задачі тільки на основі особистого досвіду. Часто класичні методики виявляються малоефективними для багатьох практичних завдань, оскільки неможливо точно описати реальність за допомогою невеликого числа параметрів моделі, або розрахунок моделі займає дуже багато часу і обчислювальних ресурсів. Аналітичні технології дозволяють створювати моделі, що істотним чином підвищують ефективність рішень.

Еволюційна теорія довела свою ефективність як при вирішенні складно формалізованих задач кластеризації, асоціативного пошуку, так і при вирішенні трудомістких задач оптимізації, апроксимації, інтелектуальної обробки даних. Концепції еволюційних обчислень включає генетичні алгоритми, генетичне програмування, еволюційні стратегії і еволюційне програмування. Еволюційні технології інтелектуального аналізу сьогодні успішно застосовуються для вирішення ряду великих і економічно значущих задач в бізнесі та інших важливих проектах. В п'ятому розділі подані матеріали про концептуальні засади еволюційної теорії, основні положення теорії генетичних алгоритмів та їх моделі, а також інформація про програмне забезпечення та сфері застосування генетичних алгоритмів. Мурашині алгоритми та генетичне програмування є самими сучасними напрямками еволюційної технології і майже не розглядалися раніше в підручниках по технологіям інтелектуального аналізу даних.

Важливим напрямком розвитку інтелектуального аналізу даних є широке застосування теорії нечітких обчислень, яка в сучасному світі розглядається як консорціум обчислювальних методологій, що колективно забезпечують основи

для розуміння, конструювання і розвитку інтелектуальних систем, зокрема, систем інтелектуального аналізу даних.

Таким чином навіть неповний літературний огляд показує, що у теперішній час застосовуються досить велика кількість методів оцінки працездатності та ступеня працездатності об'єктів і систем управління. Однак практичне втілення цих методів стикається з такими труднощами, як значне число непрямих вимірювань з обробкою для визначення поточних значень параметрів системи. При великому числі контрольованих параметрів обсяг обчислень надзвичайно великий, а процес обробки громіздкий і непридатний для реалізації за прийнятний час. Зменшення числа контрольованих параметрів і використання наближених залежностей дає лише наближене уявлення про працездатність системи.

Перспективною розглядається задача перевірки правильності функціонування безперервних динамічних об'єктів в робочому режимі, забезпечення функціональної стійкості бортового обладнання.

Дослідження проблеми побудови галузевих систем автоматизованого проектування авіаційного приладобудування проводяться сьогодні як у нашій країні, так і за кордоном. Зокрема, відомі роботи в області розробки технологій наскрізного проектування авіаційного обладнання в США, які отримали назву АТІР (Avionics Technology Integrated and Prototyping). Технологія АТІР була вперше використана в якості елемента САПР дослідних стадій проектування компаніями Boeing і Lockheed Martin в процесі виконання науково-дослідної роботи AVSEP (Avionics Virtual Systems Engineering and Prototyping) при розробці архітектури бортового радіоелектронного обладнання багатоцільового ударного винищувача-бомбардувальника F35 за програмою Joint Strike Fighter. Проведення роботи AVSEP дозволило американським розробникам бортового радіоелектронного обладнання визначити основні процедури ітераційного процесу проектування, за допомогою якого проектні організації повинні здійснювати перехід від затвердженої концепції побудови бортового радіоелектронного обладнання до конкретного складу блоків (модулів), що є матеріалізацією технічного вигляду комплексу.

У нашій країні, в сучасних ринкових умовах проблема автоматизації рішення проектних завдань має ключове значення для успішного функціонування підприємства приладобудівного профілю. Створення галузевої САПР авіаційного приладобудування має стратегічну спрямованість і сприяє технічному і програмному переоснащенню проектного та виробничого обладнання промислових підприємств. Застосування галузевої системи автоматизованого проектування авіаційного приладобудування жорстко не пов'язано зі структурою підприємства і можливо практично на будь-якому підприємстві авіаційної галузі.

Проведений аналіз свідчить, що теорія та методологія надійності розвивалися в кілька етапів і в процесі цього розвитку виникли три основні області:

- 1) проектування надійності, що складається з аналізу надійності системи, аналізу проектів та пов'язаних із цим завдань;
- 2) аналіз роботи, що складається з дослідження відмов та коригувальних дій;
- 3) математика надійності, що складається зі статистики та пов'язаних з нею математичних знань.

Людський фактор при технічному обслуговуванні авіаційної техніки розглядали С.О. Дмитрієв, В.І. Бурлаков, Р.М. Салімов, Ю.П. Пучков, О.В. Попов. (Людський фактор при технічному обслуговуванні авіаційної техніки: навч. посіб. / С.О. Дмитрієв, В.І. Бурлаков, Р.М. Салімов, Ю.П. Пучков, О.В. Попов. – К.: НАУ, 2011. – 184 с. (Гриф МОН України. Лист № 1/11-944 від 02.02.2011 р).

Збереження льотної придатності повітряних суден та авіадвигунів розглядали С.О. Дмитриев, А. С. Тугаринов, А. В. Попов (Сохранение летной годности воздушных судов и авиадвигателей: учебн. пособ. / С. А. Дмитриев, А. С. Тугаринов, А. В. Попов и др. – К.: НАУ, 2011. – 148 с.

Питання корегування періодичності регламентних робіт при технічному обслуговуванні повітряних суден розглядали Бурлаков В.І., Пучков Ю.П., Попов Д.В. (Бурлаков В.І., Пучков Ю.П., Попов Д.В. Корегування періодичності регламентних робіт ТО ПС з урахуванням людського чинника. // Вісник НАУ.– К.:–2009. – № 1(38). –С. 20-23.

Метод формування регламентів технічного обслуговування повітряних суден розроблено Поповим Д.В. (Попов Д.В. Метод формування регламентів технічного обслуговування повітряних суден // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – Херсон. – №1(23). – 2009. – №1. – С. 105-110).

Питання оцінки безпеки польотів повітряних суден з використанням імовірнісних критеріїв розглядали Пучков Ю.П., Молодцов Н.Ф., Попов Д.В. (Пучков Ю.П., Молодцов Н.Ф., Попов Д.В. Оцінка безпеки польотів повітряних суден з використанням імовірнісних критеріїв. Науково-технічний журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія» №1/(58). Харків «ХАІ». – 2009. с.67-71.

Питання оптимізації режимів технічного обслуговування авіаційної техніки, управління технічним станом виробів авіаційної техніки, формування програм технічного обслуговування виробів авіаційної техніки розглянуто в працях Попова Д.В. (Попов Д.В. Оптимізація режимів технічного обслуговування авіаційної техніки // VI Международная НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ конференция «Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок»: Збірник наукових праць ВАК. – Запоріжжя.: ЗНТУ, 2009; Попов Д.В. Управління технічним станом виробів авіаційної техніки // Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2009, 18-22 травня, Херсон: ХНТУ, 2009. – С. 553 – 554.; Попов Д.В. Формування програм технічного обслуговування виробів авіаційної техніки//IX Міжнародна наукова конференція студентів та молодих учених „ПОЛІТ- 2009”. – К.:2009.– С.10.).

Многокритеріальное диагностирование проточной части авиационного газотурбинного двигателя розглянуто в працях Кучер А.Г., Дмитриев С.А., Попов А.В., Якушенко А.С. (Кучер А.Г., Дмитриев С.А., Попов А.В., Якушенко А.С. Многокритеріальное диагностирование проточной части авиационного газотурбинного двигателя // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Х.: – 2009. – № 8/65. – С.153-158).

Методологічні основи формування логістичної підтримки процесів технічної експлуатації авіаційної техніки розглядали Бурлаков В.І., Попов О.В., Попов Д.В. (Бурлаков В.І., Попов О.В., Попов Д.В. Методологічні основи формування логістичної підтримки процесів технічної експлуатації авіаційної техніки // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-11». Т.2. – К.: НАУ, 2011. – С. 15.5-15.8.).

Питання управління технічним обслуговуванням складного об'єкта експлуатації за умов нечіткої вихідної інформації розглянуто в працях Попова А.В., Попова Д.В. (Попов А.В., Попов Д.В. Управление техническим обслуживанием сложного объекта эксплуатации в условиях нечеткой исходной информации // Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2011, 16-20 травня, Т. 1. – Херсон: ХНТУ, 2011. – С. 102-103.).

Інформаційні технології забезпечення конструктивно – експлуатаційних властивостей повітряних суден та авіаційних двигунів розглянуто в працях С.О. Дмитрієв, О.В. Попов, Д.В. Попов, Г.О. Арістов. Було обґрунтовано, що метою створення автоматизованих систем є оптимізації процесів технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, на основі розробки економічно обґрунтованих цілеспрямованих рекомендацій з удосконалення виробів авіаційної техніки, що забезпечують впровадження ефективних стратегій і режимів технічного обслуговування. Розглянуто питання оптимізації конструктивно-експлуатаційних властивостей та програм технічного обслуговування виробів авіаційної техніки за умови впливу багатфакторності при невизначеності вихідної інформації, та управління якістю обслуговування повітряних суден та авіаційних двигунів з метою підтримання їх льотної придатності.

Математичні методи оптимізації процесів технічного обслуговування розглянуто Гончаренко А.В. Математичні методи оптимізації процесів технічного обслуговування авіаційної техніки розглядаються у частині теоретичних аспектів оптимізації. А саме, найпростіших методів, що стосуються проблем оптимізації функцій, а також, більш складних методів пов'язаних із оптимізацією функціоналів. Оптимізація розглядається як знаходження

розв'язку найкращого у сенсі висунутих вимог. Виділено два основні аспекти оптимізації, це: по-перше, розв'язання конкретних практичних задач, наприклад, знаходження оптимальних умов проведення технологічного процесу технічного обслуговування авіаційної техніки, та; по-друге, знаходження теоретичних закономірностей, що отримуються як оптимальні розв'язки за заданих умов або передумов. Природно, в обох випадках використовуються єдині методи побудови обчислювальних алгоритмів та математичний апарат, вивчення яких і являє собою предмет даної дисципліни.

Управління процесами технічного обслуговування авіаційної техніки в системі підтримання льотної придатності повітряних суден також розглянуто в працях Жабровець А.С.

Забезпечення безпеки польотів є пріоритетом діяльності авіаційного транспорту і невід'ємною складовою національної безпеки. Цивільна авіація активно просуває свою продукцію на ринок міжнародних перевезень пасажирів, вантажів та інших авіаційних послуг. Відповідно до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, Україна як член Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) повинна дотримуватись встановлених цією організацією стандартів (SARP's – standard and recommended practices (станданти та рекомендовані практики)), згідно з якими кожна держава — член ICAO зобов'язана розробити і виконати національну програму безпеки польотів, а суб'єкти авіаційної діяльності — впровадити систему управління безпекою польотів. Система управління безпекою польотів — це сукупність заходів із застосування єдиного підходу до управління безпекою польотів, що передбачає оптимізацію організаційної структури, розподіл відповідальності між органами державної влади та суб'єктами авіаційної діяльності, визначення політики та експлуатаційних процедур щодо забезпечення безпеки польотів. В основі управління безпекою польотів лежить системний підхід до виявлення і усунення джерел небезпеки та здійснення контролю за ризиками для забезпечення безпеки польотів з метою мінімізації людських втрат, матеріальних, фінансових, екологічних та соціальних збитків.

Управління технологічними процесами технічного обслуговування авіаційної техніки розглянуто в працях Р. М. Салімов, О. І. Юрченко, М. В. Корсуненко (Матеріали НПК «Современные информационные и электронные технологии». (17-21 травня). -Одеса. -2004. -с. 130).

На основі проведеного наукового дослідження встановлено, що сучасні моделі, які використовуються для оптимізації процесів технічного обслуговування, дозволяють досліджувати системи невеликої складності без урахування усіх факторів, які впливають на надійність виробів авіаційної техніки в реальних умовах експлуатації повітряних суден. Виявлено, що на даний час відсутні методи оцінки збалансованості експлуатаційних властивостей виробів авіаційної техніки, які дозволяють реалізувати на практиці оптимальні стратегії й режими технічного обслуговування.

Розроблений методологічний підхід до формування режимів технічного обслуговування (періодичності та обсягу робіт) авіаційної техніки на основі інтервального аналізу дозволяє проводити їх багатофакторну оптимізацію при вихідній невизначеності інформації. Даний метод може бути використаний для вирішення теоретичних проблем з оптимізації складних систем за умов впливу багатофакторності і невизначеності вхідних параметрів.

Результати досліджень можуть використовувати також при розробці програм технічного обслуговування нових виробів авіаційної техніки та при коригуванні програм технічного обслуговування під час експлуатації повітряних суден. В залежності від стадії життєвого циклу виробів може використовуватися різна інформаційна забезпеченість програм технічного обслуговування, що потребує розв'язання задач в умовах неповної і невизначеної інформації, які вирішуються за допомогою такого підходу.

Відомий метод «предписуючих рішень» застосовується для забезпечення збалансованих характеристик і властивостей виробів авіаційної техніки по сукупності визначальних ознак, що сприяє найбільш ефективній їх реалізації в умовах експлуатації. Принциповою цінністю даного методу є можливість задання множини характеристик елементів складних систем, що дозволяє

вирішувати задачі оптимізації та збалансованості експлуатаційних властивостей виробів авіаційної техніки.

Це стало основою для розробки і використання нової інформаційної технології при моніторингу технічної експлуатації повітряних суден, за якої приймаються оптимальні рішення щодо оцінки технічного стану повітряних суден та авіадвигунів й можливості подальшої їх експлуатації.

Тому потрібне створення та постійне оновлення інформаційної бази даних щодо відмов та несправностей агрегатів і систем повітряних суден. Інформаційна база буде використовуватися для аналізу динаміки змінювання технічного стану авіаційної техніки, що дозволяє вести облік стану повітряних суден та проводити аналіз якості робіт експлуатантами з технічного обслуговування авіаційної техніки.

Формалізація процедур забезпечення якості робіт авіаційних спеціалістів при технічному обслуговуванні авіаційної техніки надає можливість проводити порівнянне управління якістю трудових процесів.

Розроблена структура властивостей технологічних процесів технічного обслуговування дозволяє визначити якість функціонування ергатичних систем.

На основі нової методології забезпечення процесів технічної експлуатації та формування програм технічного обслуговування в системі збереження льотної придатності повітряних суден, вирішуються задачі опису властивостей і характеристик для забезпечення їх збалансованості.

Ресурсозберігаюча технологія формування регламентів технічного обслуговування повітряних суден дає можливість оптимізувати режими та керувати процесами технічного обслуговування й дозволяє забезпечити збереження льотної придатності повітряних суден за мінімальних витрат.

Моніторинг технічної експлуатації повітряних суден та опрацювання експлуатаційної інформації з надійності авіаційної техніки дозволяють визначити системи авіаційної техніки, які надають можливість здійснювати контроль якості технічного обслуговування кожного експлуатанта, проводити аналіз динаміки показників надійності старіючого парку повітряних суден та розробляти рекомендації щодо удосконалення технологічних процесів

технічного обслуговування. Це дозволяє створити основу формалізації процедур забезпечення якості робіт авіаційних спеціалістів при технічному обслуговуванні авіаційної техніки.

Результатами проведених досліджень є побудова та оптимізація моделей технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, які беруть до уваги стан технічного забезпечення процесів технічного обслуговування, оснащення організацій з технічного обслуговування, змінювання характеристик об'єктів в процесі експлуатації, а також розробка рекомендацій по збереженню льотної придатності повітряних суден і попередженню відмов виробів авіаційної техніки в польоті, інцидентів та авіаційних подій.

Результати досліджень можуть бути впроваджені при формуванні програм технічного обслуговування в умовах неповної і невизначеної експлуатаційної інформації.

Удосконалення методики опрацювання експлуатаційної інформації з надійності авіаційної техніки при моніторингу технічної експлуатації повітряних суден та аналіз інцидентів повітряних суден з технічних причин дозволяють визначити системи авіаційної техніки, які надають можливість здійснювати контроль якості технічного обслуговування кожного експлуатанта, проводити аналіз динаміки показників надійності старіючого парку повітряних суден та розробляти рекомендації щодо удосконалення технологічних процесів технічного обслуговування.

Основа формалізації процедур забезпечення якості робіт авіаційних спеціалістів при технічному обслуговуванні авіаційної техніки та принципи, які покладені в основу, дозволяють проводити порівнєве управління якістю трудових процесів.

Метод аналізу та прогнозування надійності складних систем авіаційної техніки на основі результатів експлуатації повітряних суден може бути впроваджено в усіх авіакомпаніях. Такій підхід може бути запропоновано для впровадження в конструкторські бюро повітряних суден для вдосконалення виробів авіаційної техніки і збалансованості їх експлуатаційних властивостей та

експлуатантів авіаційної техніки для здійснення вибору оптимальних режимів умовах експлуатації.

Аналіз літератури показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики, інформаційні технології підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Це підтверджується проведеними дослідженнями та працями в галузі проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Відсутність аналогічних рішень у нашій країні та за кордоном робить результати досліджень пріоритетними.

Усі вище визначені чинники визначають аргументування та критичне оцінювання запропонованих автором нових рішень порівняно з відомими рішеннями. В дисертаційній роботі обґрунтовано засоби інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання.

Порівняльний аналіз з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень дозволяє визначити нові підходи до створення та застосування інформаційна технологія підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки..

Практична значимість та важливість для галузі полягає в тому, що результати дисертаційного дослідження становлять наукову основу для розробки й удосконалення інформаційно-алгоритмічного забезпечення процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Тематика розглянутих у роботі завдань лежить у площині загальнодержавних науково-технічних програм, що сформульовані в Законах України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про національну програму інформатизації», а також відповідають планам найважливіших науково-технічних програм Міністерства освіти та науки України (зокрема: 6 – інформатика, автоматизація та приладобудування; 6.2.1 – інтелектуалізація

процесів прийняття рішень; 6.2.2 – перспективні інформаційні технології і системи).

Дисертаційну роботу виконано в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України. Тематика дисертаційної роботи та одержані результати безпосередньо пов'язані з «Основними науковими напрямками та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2019-2023 роки» (затверджена Кабінетом Міністрів України 11.01.2018 № 13), Стратегією розвитку вітчизняної авіаційної промисловості на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 р. № 1656. Кабінет Міністрів схвалив Державну цільову науково-технічну програму розвитку авіаційної промисловості на 2021—2030 роки, від 1 вересня 2021 р. № 951. (у цій програмі здобувач бере активну участь у якості виконавця).

Отримані результати дисертаційної роботи надають наступні можливості:

- отримані в дисертаційній роботі результати можуть бути використані для побудови та оптимізації структури комплексу бортового обладнання та дозволяють ефективно провести роботи по формуванню структури комплексу на ранніх стадіях процесу проектування, що в результаті призводить до: зниження кількості помилок на ранніх стадіях проектування; зниження трудовитрат на усунення помилок; зниження часових витрат на усунення помилок; підвищення ефективності виконання робіт в рамках ескізного етапу проектування; скорочення загального часу проектування комплексу бортового обладнання; зниження вартості процесу проектування;

- розроблений комплекс алгоритмів на основі запропонованої інформаційної технології дозволяє обчислювати прогнозовані значення похибок систем авіоніки обладнання та запобігає виходу з діапазону стійкої роботи, а також забезпечують працездатність і відмовостійкість обладнання повітряних суден;

- розроблений апаратно-програмний комплекс на основі запропонованої структурно-логічної моделі уніфікованого автоматизованого робочого місця

дозволяє здійснювати контроль функціональних елементів операційної системи інтегрованої модульної авіоніки⁴

- розроблений апаратно-програмний комплекс для контролю і діагностики функціональних елементів обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки надає можливість реалізувати програмне забезпечення, інформаційно-вимірювальне та алгоритмічне забезпечення.

В цілому, результати дисертаційного дослідження є підґрунтям для формування та реалізації своєчасних та вірних запобіжних та корегувальних дій персоналом експлуатаційних підрозділів НЗА та органами державного регулювання у сфері транспорту. Результати досліджень упроваджені в Державному підприємстві “Антонов”, Державному підприємстві “Науково-дослідний інститут “Квант”, Комунальному підприємстві “Міжнародний аеропорт “Київ” (Жуляни), навчальному та науковому процесах Національного авіаційного університету, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, визначено мету і завдання дослідження, розглянуто об'єкт і предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, які були використані для досягнення поставленої мети. Сформульовано наукову новизну отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача в їх досягнення. Висвітлено питання апробації та публікації результатів дисертації.

У *першому розділі* «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПЛЕКСУ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ» наведено класифікацію моделей і методів інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації повітряних суден, здійснено аналіз сучасних засобів інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання.

У *другому розділі* «МЕТОДИ І МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПЛЕКСУ

БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ МОДУЛЬНОЇ АВІОНІКИ» обґрунтовано нормативну документацію процесу проектування комплексу бортового обладнання та розглянуто методи процесу проектування та оцінка безпеки комплексу бортового обладнання. На основі розробки засобів реалізації систем підвищення відмовостійкості, контролю і діагностики бортового обладнання запропоновано діагностичні моделі комплексів бортового обладнання для етапів проектування та експлуатації.

Для досягнення поставленої мети в цьому розділі були розглянуті такі задачі: розробили метод підтримки процесу проектування інтегрованої модульної авіоніки для формалізації процесу визначення множини параметрів побудови комплексів бортового обладнання нового покоління; розробили модель процесу проектування комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки для побудови математичних методів підвищення надійності та відмовостійкості на етапі проектування; розробити графову модель структури функцій комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки вхідних і вихідних параметрів для реалізації обчислювальної потужності, навантаження на мережу передачі даних; розробити структурну модель процесу проектування складних автоматизованих систем управління комплексу бортового обладнання для вирішення проблеми виявлення несправностей автоматизованих систем, встановити взаємозв'язок щодо виявлення аналогічностей та появи помилок такого типу, повідомити та сформулювати звіт.

У *третьому розділі* «РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО Й АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ МОДУЛЬНОЇ АВІОНІКИ» обґрунтовано системно-технологічний процес розробки, виробництва і випробувань комплексів бортового обладнання на основі галузевої САПР. Розглянуто відмовостійкість комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки в процесі проектування та експлуатації. Здійснено проектування та тестування системи керування авіоніки в реальному часі за допомогою застосунків інформаційної підтримки. Розроблено модель процесу проектування

комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки для побудови математичних методів підвищення надійності та відмовостійкості на етапі проектування. Запропоновано підхід до проектування додатків з використанням модельно-орієнтованого проектування в Simulink та їх перенесення на ARINC 653-сумісну виконавчу платформу на основі XtratuM. Цей підхід базується на правильному відображенні абстракцій Simulink на абстракції та сутності ARINC 653, що дозволяє досягти інтеграції різних компонентів і платформ. Для вирішення цієї задачі використовуються інструменти Simulink для автоматизації процесу відображення, а також спеціальні інструменти, розроблені для цієї задачі. Використання архітектур Model-Based Design і Integrated Modular Avionics (IMA) з Simulink і XtratuM підтверджує, що XtratuM може бути використана як платформа для додатків авіоніки. Для досягнення поставленої мети були вирішені такі задачі: досліджено взаємодію основних функціональних компонентів, що автоматизують проектні процедури створення апаратури комплексів бортового обладнання; визначено відмовостійкість комплексу бортового обладнання інтегральної модульної авіоніки для процесів проектування та експлуатації.

Четвертий розділ «ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ БРЕО» присвячено розробки системи підвищення відмовостійкості бортового радіоелектронного обладнання на основі теорії функціональних систем. Запропонована методика прогнозування показників надійності бортового радіоелектронного обладнання за даними експлуатаційної підтримки. Запропонована та обґрунтована редукована динамічна експертна системи для автоматизованого контролю бортового устаткування. Надійність технічної експлуатації інформаційної підтримки автоматичного контролю бортового радіоелектронного обладнання є одним з визначальних чинників забезпечення безпеки та регулярності польотів у цивільній та військовій авіації. У процесі експлуатації радіоелектронного обладнання його надійність неминуче погіршуються з плином часу. Погіршення надійності пов'язане зі збільшення кількості відмов, а отже, зі зменшенням

середнього напрацювання на відмову та коефіцієнта готовності. Тому в цьому розділі проаналізовані моделі зміни показників надійності у випадку погіршення технічного стану обладнання на прикладі інтенсивності відмов. Своєчасне виявлення змін у трендах реалізацій оцінок показників надійності є основою для визначення залишкового ресурсу. Тому метою цього розділу є синтез та аналіз методів та процедур виявлення погіршення технічного стану на основі статистичного оброблення даних щодо показників надійності, що є складовою частиною запропонованої методології оброблення даних. Для досягнення поставленої мети в цьому розділі були вирішені такі задачі: розробка системи підвищення відмовостійкості БРЕО на основі теорії функціональних систем; виконано синтез та аналіз евристичної процедури виявлення погіршення технічного стану на основі оцінювання параметрів моделі змін показників надійності; виконано синтез та аналіз евристичної процедури виявлення погіршення технічного стану на основі апроксимації емпіричних даних для стрибкоподібної моделі; виконано синтез та аналіз послідовної процедури виявлення погіршення технічного стану; отримано оцінки параметрів погіршення технічного стану на основі методу максимальної правдоподібності для стрибкоподібної, лінійної та квадратичної моделей.

У п'ятому розділі «МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ І ПРИСТРОЇВ ІНТЕГРАЛЬНОЇ МОДУЛЬНОЇ АВІОНІКИ» здійснено оцінку надійності обчислювальних структур інтегрованої модульної авіоніки. Розроблено програмне забезпечення та автоматизованої інформаційної підтримки інтегрованої модульної авіоніки. Обґрунтовано та запропоновано уніфіковане автоматизоване робоче місце з перевірки конструктивно-функціонального модуля інтегрованої модульної авіоніки комплексу бортового обладнання.

Перевірка достовірності отриманих результатів розглянута як процес статистичного моделювання згідно з методом Монте-Карло. При цьому розробка прикладного програмного продукту для аналізу процедур оброблення експлуатаційних даних є першим етапом для пошуку шляхів використання отриманих результатів дисертаційного дослідження. Програма для моделювання

процедур оброблення проектування та експлуатаційних даних та процесів прийняття рішення для цього оброблення також може бути використана для пошуку оптимальних параметрів інформаційної підтримки засобів проектування та експлуатації та вдосконалення. Проведений аналіз авіаційно-транспортної системи України показав, що в її організаційній структурі відсутні центри, основною діяльністю яких є оброблення експлуатаційних даних щодо визначальних параметрів та показників надійності засобів інформаційної підтримки, а також характеристик систем їх експлуатації. Наявність інформаційної підтримки є запорукою покращення ефективності систем на всіх етапах життєвого циклу повітряного судна. Тому метою цього розділу є аналіз можливостей впровадження та шляхів використання отриманих результатів дисертаційного дослідження. Для досягнення поставленої мети в цьому розділі були вирішені такі задачі: розглянута інформаційна технологія для підвищення відмовостійкості бортового обладнання; розробили алгоритм контролю обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки під час польоту повітряного судна для контролю функціональних елементів та подальшої розробки програмного забезпечення у складі уніфікованого робочого місця обчислювальної системи інтегрованої модульної авіоніки; розробили, експериментально дослідили та впровадити в практику алгоритмічне, програмне забезпечення інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки для верифікації створених методів та моделей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 130 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг роботи становить 336 сторінки, з яких 58 рисунків, 28 таблиць за текстом.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та, у цілому, відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та

рекомендації викладені у логічній послідовності та доказовій формі, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому, дисертаційна робота сприймається як кваліфікаційна закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації у 50 наукових працях, 31 наукових статей у наукових журналах та збірниках наукових праць, з яких 5 наукові статі у виданнях, що входять до міжнародної бази даних Scopus [8, 12, 24, 30, 31], 31 наукових статей у наукових виданнях, що входять до інших міжнародних наукометричних баз даних.

Основні положення дисертації стали предметом наукових обговорень та отримали позитивну оцінку на 21 міжнародних та всеукраїнських конференціях, симпозіумах та семінарах і опубліковані у матеріалах і тезах цих конференцій (2013-2021 рр.).

Інформація про отримані результати у кандидатській дисертації здобувача не використовувалась при підготовці докторської дисертації.

Відповідність змісту реферату основним положенням дисертації. Зміст реферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

Відмічаю в цілому науково-коректний стиль викладення матеріалів дисертації. Назва роботи відповідає суті роботи, яка відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Недоліки

У якості недоліків у роботі потрібно відмітити наступні.

1. Метою роботи визначено “підвищенні ефективності інформаційної підтримки процесів проектування та експлуатації бортового обладнання гармонізованих з засадами інтегрованої модульної авіоніки”. На мій погляд, незважаючи на те що робота цілком відповідає назві, бажано було при цьому визначити запланований результат, на досягнення якого спрямоване дослідження, - на скільки можливо підвищити ефективність інформаційної підтримки процесів що розглядаються як складового технологічного фактору в системі управління безпекою польотів сучасних та перспективних повітряних суден. Наведений висновок, що “впровадження САПР дозволяє скоротити час процесу проектування приблизно на 20%, а впровадження принципів уніфікації та стандартизації апаратно-програмних розробок підприємства на засадах принципів інтегрованого середовища САПР дозволяє пришвидшити процес проектування десь на 50%” (стор.59) потребує обґрунтування та аргументації щодо комплексів бортового обладнання. Це пов'язано з тим, що мета будь-якої наукової роботи, отже, і дисертації, полягає у виявленні нових фактів, висновків, рекомендацій, закономірностей або в уточненні відомих раніше, але недостатньо досліджених.

2. В розділі 1 «Дослідження процесу інформаційної підтримки проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання» здійснено постановку мети та завдань дослідження підрозділі. Однак математичної формалізації задачі дослідження в роботі не наведено. Вважаю було доцільне при вирішенні системного завдання, яке має різні методичні підходи, надати математичну постановку інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки на рівні кортежей, множин, фазового простоту, критеріїв прийняття відповідних рішень в системі управління функціональним станом персоналу. Це дозволить визначити місце інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки в загальній методології управління безпекою польотів, врахувати як специфіку бортового

обладнання самих літальних апаратів (наприклад, пасажирські, транспортні, військові, дистанційно пілотовані тощо), так й інтенсивність повітряного руху.

3. В розділі 1 (стор. 47) стверджується, що «... основним методом підвищення відмовобезпеки і надійності на сьогоднішній день є резервування». Відомо, що забезпечення резервування передбачає використання додаткового обладнання (вага, габарити, система перемикань, вартість). Це вже застарілий підхід. Перспективне бортове обладнання повітряних суден передбачає забезпечення функціональної стійкості повітряних суден шляхом здійснення самоконтролю та реконфігурації бортових систем з метою збереження функціональних можливостей літальних апаратів в умовах відмов та нештатних, аварійних ситуацій.

4. В розділу 2 «Методи і моделі інформаційної підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегральної модульної авіоніки» бажано було надати математичну формалізацію розглядаємого поняття “безпека проектування комплексів бортового обладнання”. При цьому доцільне було для поняття “безпека проектування” надати визначення, формалізувати критерії, показники тощо.

5. При розгляді взаємозв'язку надійності, яка залежить від уникнення та вирішення несправностей, та відмовостійкості, в роботі запропоновано алгоритм, який надає план дій для забезпечення надійності та безпеки системи авіоніки шляхом уникнення та вирішення несправностей та підвищення відмовостійкості. На мій погляд, більш коректно при цьому вести мову не про відмовостійкість та живучість, а про функціональну стійкість як здатність підтримувати функціональність системи в широкому діапазоні потенційних випадків несправностей. При цьому застосування Марківській ланцюга, як моделі процесу технічної експлуатації, потребує обґрунтування та пояснень формалізації для системи, що розглядається.

6. У розділі 3 «Розробка математичного й алгоритмічного забезпечення інформаційного процесу автоматизованого проектування комплексу бортового

обладнання інтегральної модульної авіоніки» визначається, що автоматизація основних процедур проектування, виготовлення і випробувань апаратури може бути здійснена на основі інтеграції спеціалізованих компонентів САПР, взаємодіючих між собою за допомогою стандартизованих протоколів передачі інформації. При цьому “ефект від автоматизації проектних процедур виражається в скороченні тривалості етапів проектування БРЕО на 2-5 років (стор. 146). Однак не менше важливі фактори, як ефективність, вартість, ергономічність в роботі не розглядаються та не визначаються.

7. В розділу 4 «Ефективність та підвищення надійності технічної експлуатації інформаційної підтримки автоматичного контролю БРЕО» надано опис синтезу системи діагностики працездатності вимірювальних приладів повітряних суден. При цьому визначається, що синтез системи діагностики доцільно здійснювати з використанням підходу алгоритмічного конструювання, що дозволяє досягти необхідного результату за короткий час з мінімальними фінансовими витратами. Ця двокритеріальна задача оптимізації в роботі зведена до оцінки і прогнозування похибок БРЕО на борту ПС. Для оцінювання та прогнозування стану приладів використовуються апріорні моделі, алгоритми ідентифікації та еволюційні алгоритми побудови прогнозуючих моделей. При цьому бажано було оцінити ефективність використання модифікацій алгоритму самоорганізації, визначити на скільки підвищено точність прогнозу, а отже, і точність діагностики приладового комплексу повітряного судна. Згідно з теорії автоматичного керування така задача може розглядатися або як однокритеріальна з ваговими коефіцієнтами, або як Парето-оптимальні рішення, що в даному випадку також може дати ефективні технологічні рішення.

8. У представленій “моделі функціональної схеми системи контролю з урахуванням моделей зовнішнього середовища” (рис.4.3, стор. 214) бажано було надати пояснення (визначення) фізичних параметрів та інформаційних сигналів та фізичних параметрів в системі. При цьому бажано було обґрунтувати так звані “ключові змінні стану БРЕО ПС з урахуванням різних моделей зовнішнього середовища”. При цьому в роботі розглядається декілько різних окремих систем

бортового обладнання (система керування, інерціальна система навігації, гіростабілізована платформа, бортове радіоелектронне обладнання, динамічна експертна система з інтелектуальною компонентою програмне забезпечення: фільтр Калмана, алгоритм прогнозу, мінімізація маси для периферійних проводів тощо). Тому бажано було передбачати математичну уніфікацію цієї процедури. Представлені результати математичного моделювання (підрозділ 4.4) стосуються розгляду інерціальної навігаційної системи у складі комплексу бортового обладнання. Представлені також результати математичного моделювання помилок ІНС. Однак, вважаю, бажано було розглядати питання реконфігурації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки, наприклад у випадку відмов обчислювача у одній з систем здійснювати перерозподіл функціональних можливостей між іншими працездатними блоками інтегрованого комплексу.

9. При розробці редукованої динамічної експертної системи для автоматизованого контролю бортового устаткування (підрозділ 4.3) ” роблено висновок, що “результати аналізу ДЕС збігаються з результатами досліджень, проведених в ході стендових випробувань ІНС” (стор.251) бажано було навести більш детально.

10. В підрозділі “5.3. Уніфіковане автоматизоване робоче місце з перевірки конструктивно-функціонального модуля ІМА КБО” бажано було для розробленої інформаційної технології надати вимоги до операторів як елемента автоматизованої системи.

11. В роботі мають місце окремі методичні та стилістичні похибки, наприклад:

методичні похибки:

- загальну структуру програми для обробки відмови у реальному часі бажано було надати у додатку;
- математично не коректно наведено вираз (4.65, стор.219).

- не всі інформаційні потоки наведено на рис. 4.12 Модель циклу управління якістю бортового обладнання відповідно до стандартів – алгоритм роботи процесу контролю (стор. 238);

- порушено нумерацію рисунків.

Стилістичні похибки:

Розвиток апаратури призводить до ускладнення вирішуваних завдань (стор.39);

Архітектура ІМА дозволяє значною мірою знизити кількість резервного обладнання (стор. 48);

інтервали недостовірної роботи обладнання (стор. 59);

виділений комплекс проблем (стор. 59);

Основний кадр представляє основну періодичну послідовність виконання розділу (стор.66);

з'єднують зв'язок між різними форматами та структурою даних (стор.74);

обробники винятків (стор.97);

достатньо серйозної активної несправності (стор. 99);

обґрунтовуючим аналізом (стор.102);

всеохоплюючу відмовостійку архітектуру (стор. 148);

Безпека надійність плюс ймовірність того, що виборець стверджує про небезпечний сигнал (стор 150-151);

досягнення чудової відмовостійкості (стор. 152);

виявити тонкі зміни в характеристиках (стор.161);

залученість людського фактору збільшує складність динамічної реконфігурації (стор. 231);

Методи ідентифікації спрощуються (стор. 234);

Функціональне діагностування динамічних об'єктів в просторі сигналів точніше відповідає змістовній меті (стор.234);

найбільш істотний вплив на досягнення позитивного результату (стор. 238);

система І починає істотно втрачати надійність (стор.273);

визначають один або багато рівнів системних вимог (стор. 275);

Спілкування в рамках сертифікації є важливим процесом (стор.278);

Метод управління вимогами (стор. 278).

Вказані недоліки, вважаю, не знижують науковий рівень дисертації *«Інформаційна підтримка процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки»* та не впливають на позитивне враження від дисертації, як кваліфікаційної роботи, в цілому, завершеність якої не викликає сумніву. Робота містить висунуті автором науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, особистий внесок здобувача в науку.

Висновок.

Дисертаційна робота **Коваленко Юлії Борисівни** на тему *«Інформаційна підтримка процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки»* є науковою працею, в якій одержані нові науково обґрунтовані результати в галузі інформаційних технологій підтримки процесів проектування та експлуатації бортового обладнання гармонізованих з засадами інтегрованої модульної авіоніки, що в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему розробки теоретичних основ, інструментального базису та технології системи керування авіоніки в реальному часі, які спрямовані покращенню якості та надійності бортового обладнання .

Сформульована в дисертації мета досліджень досягнута. Дисертація виконана на високому науковому рівні, а результати досліджень є значним внеском в подальший розвиток теорії і практики розробки інформаційно-алгоритмічного забезпечення підтримки процесу проектування та експлуатації комплексу бортового обладнання інтегрованої модульної авіоніки.

Дисертаційна робота має зазначену наукову новизну та практичну значимість, є власним науковим дослідженням, яке за структурою, обсягом і характером викладення матеріалу відповідає «Вимогам до оформлення дисертації» Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 року №40 (зі змінами і доповненнями) та п.п. 7 і 9 «Порядку присудження та позбавлення

наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року №1197 (зі змінами і доповненнями) щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор **Коваленко Юлія Борисівна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – Системи та процеси керування.

**Офіційний опонент -
професор кафедри екологічної безпеки
Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління
доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки**

О.А.Машков