


Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет

Башинська Ольга Олександрівна



УДК 004.93:658.5:63.74(043)

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ БЕЗПЛОТНИХ
АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА ДАНИМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Чернігів – 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інформаційних та комп'ютерних систем Чернігівського національного технологічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Казимир Володимир Вікторович,
Чернігівський національний технологічний
університет,
професор кафедри інформаційних та комп'ютерних
систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дрозд Олександр Валентинович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри комп'ютерних інтелектуальних
систем та мереж

доктор технічних наук, доцент
Вавіленкова Анастасія Ігорівна,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри комп'ютеризованих систем
управління

Захист відбудеться 4 березня 2020 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 79.051.03 в Чернігівському національному технологічному університеті за адресою: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Чернігівського національного технологічного університету за адресою: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Автореферат розіслано « 31 » січня 2020 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради



В.П.Войтенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безпілотні авіаційні комплекси (БПАК) останнім часом швидко розвиваються як концептуально, так і технічно. Причина цього полягає в тому, що вони виявилися ефективною альтернативою традиційним засобам і технічним системам у ряді сфер використання, таких, як повітряне спостереження, розвідка, комунікаційна підтримка, а останнім часом і доставка цільового навантаження до місця призначення.

При виборі тих чи інших БПАК відповідно до цілей використання проводиться оцінка їх якості шляхом проведення визначальних відомчих випробувань (ВВВ), які є важливим етапом життєвого циклу БПАК. Мета ВВВ полягає у експериментальному визначенні фактичних (досягнутих) властивостей зразку БПАК, який тестується, і прийнятті остаточного рішення про його відповідність технічним умовам, заявленим виробником. Як правило, тестові випробування БПАК є трудомісткою витратною процедурою з заздалегідь непрогнозованим результатом, який може по-різному оцінюватись його учасниками. Це вносить додаткові складності, які вимагають шукати шляхи підвищення як ефективності випробувань БПАК, так і достовірності їх результатів.

Темам, пов'язаним з дослідженням методів оцінювання якості та надійності складних технічних систем, до класу яких відноситься і БПАК, присвячено багато публікацій відомих вчених: Біргера І.А., Харченка В.С., Дрозда О.В., Антошук С.Г., Одарущенко О.Н., Руденка А.А., Машошина О.Ф., Урьєва Е.В., Бочарова В.С., Волкова Д.П., Єфимова В.В., Камака Ю. О., Бзота В.Б., Жиліна Е.И., Катуніна О.М., Czichos H., Akaninwor G.I., Schmitt R, Pfeifer T. та ін. Одержані ними наукові результати призвели до появи надійних підходів для вирішення завдань в цій сфері. В їх роботах описані, в тому числі, основні поняття надійності, відмовостійкості, методологія побудови та оцінки моделей якості технічних систем різного призначення.

Аналіз існуючих наукових робіт показав, що на сьогодні при оцінюванні якості технічних систем найбільш часто використовують статистичні методи та марковські моделі, які спираються на дані технічної діагностики (ТД). Водночас, існуючі методи оцінки якості БПАК стосуються переважно функціональної придатності БПАК (льотні характеристики, корисне навантаження, вплив зовнішнього оточення, в тому числі в умовах радіоелектронної боротьби), мають труднощі щодо оперативної оцінки параметрів роботи окремих елементів обладнання та не враховують оцінки експертів. Окрім того, процес ВВВ не формалізований відносно оцінки ризику в процесі прийняття рішень та тривалості проведення випробувань. Таким чином, питання щодо оцінки якості БПАК за даними ТД на стадіях випробування та сертифікації залишається до кінця не вирішеним і потребує подальшого дослідження.

Зважаючи на це, актуальним є наукове завдання розробки нової інформаційної технології оцінки якості БПАК в процесі проведення визначальних відомчих випробувань, яка спирається на дані технічної діагностики, враховує попередні оцінки експертів та забезпечує вибір оптимальних стратегій проведення випробувань й прийняття рішень за інтегральним показником якості з урахуванням ризику.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Представлені у дисертації дослідження проводилися у Чернігівському національному технологічному університеті у співпраці з Державним науково-дослідним інститутом випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки (ДНДІ) в рамках виконання науково-дослідних робіт «Розробка інтелектуальної діагностичної системи безпілотних авіаційних комплексів» (робота № 0101U001998, шифр «Інтеграл», 2015-2016 рр.), «Визначення показників ефективності комп'ютерних систем керування безпілотних авіаційних комплексів» (робота № 0101U002226, шифр «Азимут», 2016-2017 рр.) та «Удосконалення технологій обробки, аналізу та візуалізації телеметричних даних безпілотних авіаційних комплексів» (робота №0101U00254, шифр «Біном», 2018-2019 рр.)

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в підвищенні ефективності випробувань БПАК за рахунок вибору найбільш ефективних стратегій їх виконання, що досягається шляхом динамічної оцінки значень інтегрального показника якості БПАК за даними технічної діагностики.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі завдання дослідження:

1. Проаналізувати існуючі підходи до оцінювання якості технічних систем, в тому числі за допомогою технічної діагностики, та оцінити їх можливості відносно оцінки якості БПАК в умовах обмежень щодо процедур визначальних відомчих випробувань.
2. Розробити модель системи показників якості БПАК, яка об'єднує в собі як функціональні, так і експлуатаційні властивості БПАК.
3. Розробити ймовірно-логічну модель оцінки якості БПАК на основі байєсівської мережі довіри, яка враховує дані технічної діагностики та накопичений експертний досвід проведення ВВВ.
4. Розробити метод оперативного оцінювання якості БПАК при динамічному одержанні результатів технічної діагностики в процесі проведення випробувань.
5. Розробити програмне забезпечення для моніторингу параметрів технічної діагностики в процесі випробування БПАК на основі запропонованого методу та з використанням розроблених моделей.
6. Оцінити ефективність розробленого методу та програмних засобів в реальних умовах проведення випробувань БПАК.

Об'єкт дослідження – процес визначення якості безпілотного авіаційного комплексу в ході проведення визначальних відомчих випробувань.

Предмет дослідження – методи, моделі та програмні засоби оцінювання показників якості БПАК.

Методи дослідження. В дослідженні були використані: методи системного аналізу та методи теорії множин для розробки системи показників якості БПАК, теорії статистичних ігор – для розробки методу оцінювання показників якості БПАК, теорії графів та теорії ймовірностей – для розробки моделі оцінювання показників якості БПАК з використанням байєсівської мережі довіри, методи об'єктно-орієнтованого аналізу та графічні нотації UML при проектуванні та розробці програмного засобу, який реалізує запропоновану інформаційну технологію.

Наукова новизна одержаних результатів.

1) **Вперше** розроблено ймовірнісну графову модель оцінювання показників якості БПАК, в якій використовується байєсівська мережа довіри, що враховує дані технічної діагностики разом із експертними оцінками та забезпечує аналітичне обчислення інтегрального показника якості БПАК в процесі проведення випробувань.

2) **Удосконалено** математичну модель системи показників якості БПАК, яка, на відміну від існуючих, формалізує вплив як функціональних, так і експлуатаційних властивостей обладнання та програмного забезпечення, пов'язаних між собою відношенням ієрархії, та дозволяє сформулювати інтегральний показник якості, що використовується як критерій при прийнятті рішень під час проведення випробувань.

3) **Набув подальшого розвитку** метод оцінки якості БПАК, в якому, на відміну від існуючих підходів, використовується розроблена ймовірнісна графова модель за схемою статистичних випробувань з послідовними вибірками, що забезпечує вибір оптимальної стратегії проведення визначальних відомчих випробувань з урахуванням ризику.

Практичне значення одержаних результатів.

Наведені вище наукові результати у своїй сукупності утворюють нову інформаційну технологію оцінки якості безпілотних авіаційних комплексів за даними технічної діагностики, яка використовує байєсівську мережу довіри для обчислення значень сформованого інтегрального показника якості в динаміці проведення серії випробувань для отримання даних технічної діагностики.

Дана технологія має практичне втілення у вигляді програмного комплексу, до складу якого входять два розроблених програмних засоби:

- програмний засіб ExMon, який призначений для моніторингу процесу випробувань БПАК та підтримки прийняття рішення щодо продовження експерименту шляхом обчислення характеристик якості та інтегрального показника якості БПАК та визначення на його основі ризику прийняття остаточного рішення;

- програмний засіб tLOG, який призначений для обчислення атрибутів якості за даними технічної діагностики, які накопичуються у телеметричному лог-файлі під час випробувального польоту безпілотного літального апарату.

Розроблені інформаційна технологія та програмний комплекс перевірені в умовах практичного проведення визначальних відомчих випробувань БПАК на базі Державного науково-дослідного інституту випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки. Проведені тести підтвердили здатність запропонованої інформаційної технології підвищувати ефективність випробувань шляхом скорочення часу їх проведення до 50% за рахунок виконання меншого числа тестових польотів БПЛА (2-х замість 4-х планових) та одночасним обчислюванням ризику прийняття остаточного рішення.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені:

- при виконанні науково-дослідних робіт «Удосконалення технологій обробки, аналізу та візуалізації телеметричних даних безпілотних авіаційних комплексів» (номер державної реєстрації №0101U00254), «Розробка інтелектуальної діагностичної системи безпілотних авіаційних комплексів» (номер державної реєстрації №0101U001198), «Визначення показників ефективності комп'ютерних систем керування безпілотних авіаційних комплексів» (номер державної реєстрації №0101U002226) та в процесі проведення дослідних випробувань БПАК «Цикада», «Кобра» та «БПАК-3» в березні-квітні 2019 р. на базі Державного науково-дослідного інституту випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки;

- при проведенні визначальних відомчих випробувань зразка БПАК виробництва ВО «ЧеЗаРа» (м. Чернігів) та в процесі прийняття рішень щодо якості даного БПАК;

- у навчальному процесі Чернігівського національного технологічного університету при проведенні лекцій та лабораторних робіт з дисциплін «Теорія ймовірності та математична статистика» і «Методи досліджень» – в процесі навчання бакалаврів та магістрів спеціальності 123 – комп'ютерна інженерія та з дисципліни «Статистичні методи обробки інформації» в процесі навчання аспірантів спеціальності 122 – комп'ютерні науки на кафедрі інформаційних та комп'ютерних систем.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які виносяться до захисту, отримані особисто. У роботах [1,2,3] здобувачу належать всі теоретичні та практичні результати, крім постановки задачі. У роботах [4,7,8,9] здобувачем обґрунтовано використання байесівських мереж довіри для оперативного оцінювання показників якості БПАК, описані розроблені здобувачем моделі та результати експериментів з ними. У роботах [5,6,8,9,10] описана розроблена здобувачем інформаційна технологія обробки телеметричних даних БПАК, отриманих в процесі ТД, процедура оцінки показників якості БПАК та відповідна програмна реалізація запропонованої технології.

Апробація результатів роботи. Основні наукові результати та практичні розробки дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях:

– Всеукраїнська науково-практична конференція «Комп'ютерна інженерія і кібербезпека: досягнення та інновації» (м. Кропивницький, 27–29 листопада 2018 р.);

– IX International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018, Kyiv, 24-27May, 2018;

– XIII Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем», MODS-2018 – Київ – Чернігів – Жукин, 25-29 червня, 2018;

– XV International Conference on Information and Communication Technologies in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI-2019), Kherson, June 12-15, 2019;

– XIV International Conference on the Mathematical and Simulation Modeling of Systems (MODS-2019), Chernigiv, June 24-26 2019.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 10 наукових праць: 7 статей у фахових наукових виданнях, з яких 3 статті у виданнях, що включені до міжнародної науково-метричної бази даних Scopus, в тому числі 1 стаття у періодичному науковому виданні інших держав, та 3 публікації тез доповідей у матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 5 додатків. Повний обсяг дисертації становить 181 сторінку, у тому числі: 126 сторінок основного тексту, 49 рисунків, 19 таблиць, список використаних джерел із 152 найменувань та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, формулюються мета та завдання дисертаційного дослідження, розкривається наукова новизна, теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

У **першому** розділі досліджено БПАК як складну технічну систему, яка включає у своєму складі три основні компоненти: безпілотний літальний апарат (БПЛА), наземну станцію керування та засоби зв'язку. Структура БПАК наведена на рис. 1.

Встановлено, що для структурних компонентів БПАК характерна інтегральна взаємодія електромеханічних елементів БПЛА, робота програмного забезпечення наземної станції керування та підтримка каналу зв'язку для передачі даних про зовнішню обстановку та сигналів управління. З точки зору особливостей процесу функціонування для БПАК характерно суттєва залежність від стану зовнішнього оточення, яке має вплив на

функціональні та експлуатаційні характеристики БПАК та є основною причиною невизначеності щодо факторів впливу.

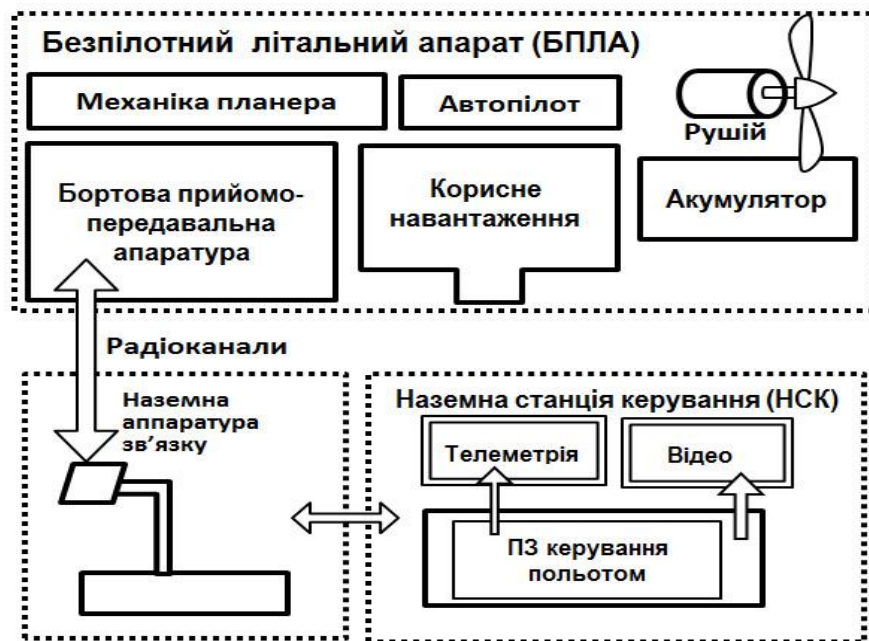


Рисунок 1 – Безпілотний авіаційний комплекс

Проаналізовано життєвий цикл БПАК та визначені роль і місце визначальних відомчих випробувань (ВВВ) в ньому (рис. 2), в тому числі з точки зору подальшого удосконалення БПАК.

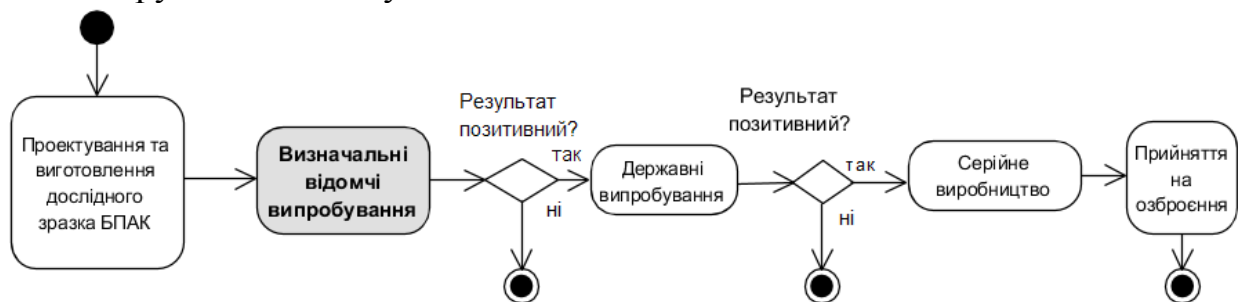


Рисунок 2 – Місце ВВВ у життєвому циклі БПАК

Визначені особливості процесу проведення випробувань та вимоги щодо оцінювання якості БПАК. Визначена роль особи, яка приймає рішення відносно остаточного оцінювання результатів випробувань, та встановлено, що рішення здебільшого приймаються суб'єктивно, на основі окремих показників, без оцінки ризику та врахування знань експертів.

Оскільки ВВВ характеризуються як організаційно складна та вартісна процедура, яка потребує ресурсних витрат, зроблено висновок про необхідність впровадження інтегрального показника якості БПАК шляхом узгодження вимог щодо його складових, представлених програмним забезпеченням, системою керування та БПЛА. Останні можуть бути виміряні методами технічної діагностики та використані при обчисленні інтегрального показника. В той же час, проведений аналіз існуючих методів технічної діагностики показав відсутність можливості оперативного врахування її

результатів безпосередньо в процесі випробувань та, до того ж, у поєднанні з іншими показниками якості.

За результатами проведеного аналізу обґрунтовано задачі дослідження та сформульовано основне науково-прикладне завдання роботи, яке полягає у розробці нової інформаційної технології оцінки якості БПАК в процесі проведення ВВВ, яка спирається на дані технічної діагностики, враховує попередні оцінки експертів та забезпечує вибір оптимальних стратегій проведення випробувань й прийняття рішень за інтегральним показником якості з урахуванням ризику

В розділі 2 описані розроблені модель системи показників якості БПАК, ймовірнісна графова модель та метод оцінки якості БПАК.

При розробці системи показників якості був використаний системний підхід, коли БПАК представляється у вигляді ієрархічної структури, наведеної на рис. 3.

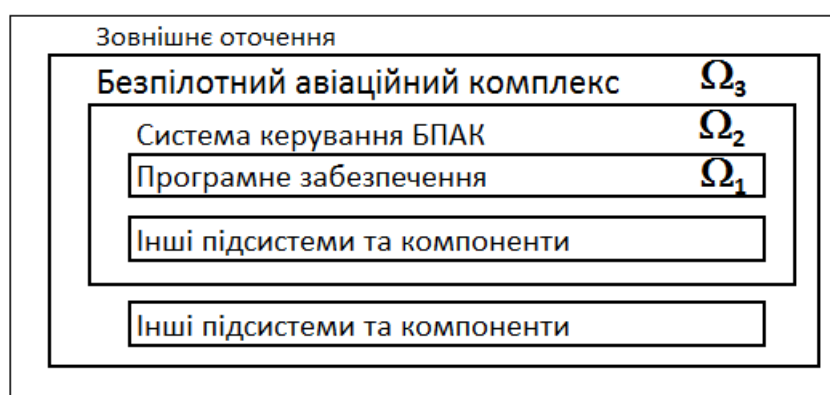


Рисунок 3 – Ієрархічна структура БПАК

Виходячи із ієрархії складових частин БПАК, які в даному випадку представляються його підсистемами, спостерігається ієрархія множин (номенклатур) показників якості.

Позначимо алгебраїчну систему (АС) характеристик якості на j -му рівні ієрархічної структури, як двійку

$$N_j = \langle \Omega_j, \varphi_j \rangle, \quad (1)$$

де Ω_j – множина характеристик якості на j -му рівні, а φ_j – відношення класифікації таке, що

$$\varphi_j: \Omega_j \rightarrow E. \quad (2)$$

Тут E – множина класів еквівалентностей, які уособлюють у собі подібні для різних рівнів ієрархії характеристики (підхарактеристики) якості, до яких відносяться стабільність, відмовостійкість, оперативність, точність, витривалість, керованість, ефективність тощо.

З урахуванням прийнятих позначень $N_1 = \langle \Omega_1, \varphi_1 \rangle$ – АС характеристик якості програмного забезпечення, $N_2 = \langle \Omega_2, \varphi_2 \rangle$ – АС характеристик якості системи керування (СК), $N_3 = \langle \Omega_3, \varphi_3 \rangle$ – АС характеристик якості БПАК.

Ієрархія АС характеристик якості встановлює гомоморфізм множин-носіїв. Отже з того, що

$$\Gamma_1: N_1 \rightarrow N_2, \Gamma_2: N_2 \rightarrow N_3 \quad (3)$$

витає

$$C_1: \Omega_1 \rightarrow \Omega_2, C_2: \Omega_2 \rightarrow \Omega_3, \quad (4)$$

де C_1 та C_2 – функції гомоморфізмів для рівнів 1 та 2 ієрархії БПАК. Визначення множини Ω_3 можна одержати, застосувавши згортку функцій гомоморфізмів

$$B = C_1 * C_2. \quad (5)$$

Таким чином, характеристики якості у сукупності з відношеннями класифікації утворюють ієрархію класів еквівалентності, яка на завершальному рівні ієрархії формує інтегральний показник якості (ПЯ) БПАК, релевантний групам відповідностей тестів ВВВ.

Загальна схема процесу формування системи показників якості БПАК представлена на рис.4.

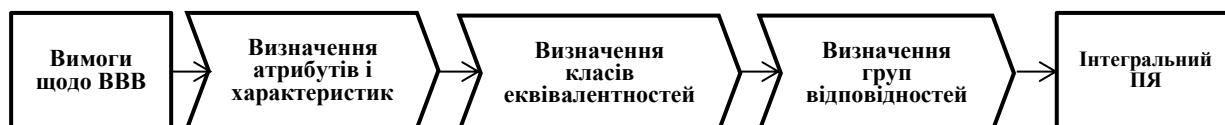


Рисунок 4 – Загальна схема процесу формування системи показників якості БПАК

Для оцінювання показників якості БПАК за даними технічної діагностики в роботі запропонована математична модель, яка представляється п'ятіркою:

$$Q = \langle D, M, A, \Omega, B \rangle, \quad (6)$$

де $D = \{D_k\}$ – множина даних ТД;

$M = \{M_i\}$ – множина метрик атрибутів якості;

$A = \{a_j\}$ – множина атрибутів якості, за якими розраховуються характеристики якості;

$\Omega = \{\omega_l\}$ – множина характеристик якості.

B – згортка функцій гомоморфізмів множин характеристик якості.

Для кількісної оцінки атрибутів якості пропонується застосовувати метрики, введені в стандарті ISO/IEC 25020:2016. При цьому повнота реалізації i -го атрибуту може бути оцінена як $M_i = |X_i|/|Y_i|$, де X_i – множина значень атрибутів, для яких виконуються певні умови, а Y_i – множина значень атрибутів, які вимірюються. У свою чергу, коректність k -го атрибуту визначається за умови $d_k \in D_k$, де d_k – значення k -го атрибуту, а D_k – діапазон його допустимих значень.

Значення атрибутів якості отримуються шляхом застосування метрик до даних технічної діагностики, а інтегральний ПЯ Ω^* формується в результаті послідовності згорток функцій гомоморфізму, представлених у вигляді матриць інцидентності, як це показано на рис. 5.

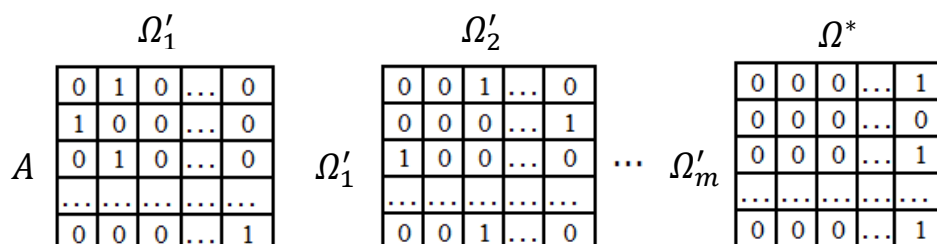


Рисунок 5 – Послідовність згорток функцій гомоморфізму

На рис. 5 представлений загальний випадок, коли мається на увазі, що класи еквівалентності можуть утворювати свою ієрархію характеристик (підхарактеристик) якості, так що $\Omega'_i \subseteq \Omega, \Omega = \{\Omega_j\}, i = \overline{1, m}$.

Для реалізації згортки функцій гомоморфізмів в роботі запропоновано використовувати байєсівську мережу довіри (БМД), за якою обраховуються розподіли ймовірностей атрибутів і характеристик якості. На рис. 6 наведена розроблена ймовірнісна графова модель оцінювання показників якості БПАК у вигляді БМД.

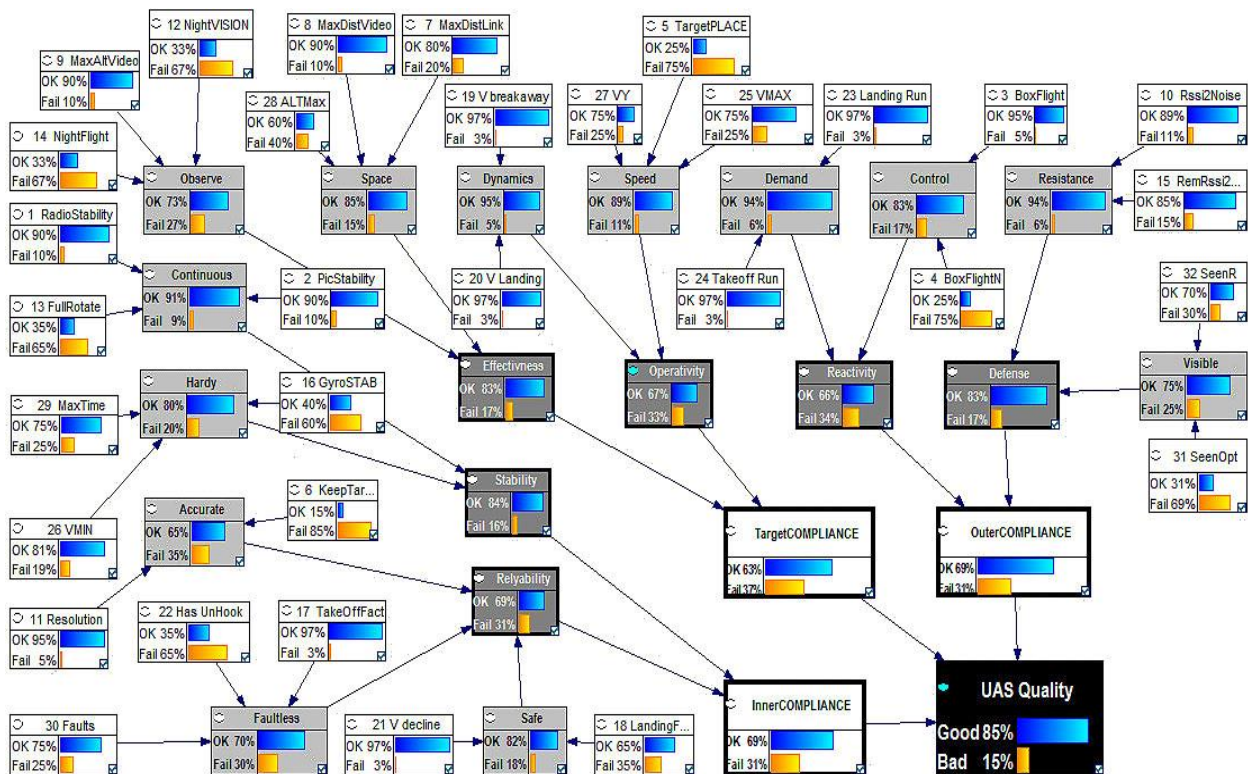


Рисунок 6 – Ймовірнісна графова модель оцінювання показників якості БПАК у вигляді БМД

Модель була створена у середовищі BayesFusion Genie Academic 2.3, яке призначене для моделювання БМД великої складності. Дана модель включає 32 вузли, які описують атрибути, та три шари характеристик якості, які у сукупності налічують 31 вузол. Кожен вузол містить параметри розподілу ймовірностей значень «позитивно» (OK) та «негативно» (Fail), які утворюють повну групу подій з відповідними ймовірностями $P_1 = \theta$ та $P_2 = 1 - \theta$. Окрім того, для розрахунку повної ймовірності задаються таблиці локальних умовних ймовірностей для усіх вузлів. Всі ці дані як апіорна інформація вносяться експертами перед початком випробувань.

Після проведення чергового випробування атрибут отримує означення OK або Fail, за яким відбувається обрахунок ймовірностей характеристик, включаючи інтегральний показник, за формулою повної ймовірності

$$P(\omega_i|A) = \sum_{\omega, i \neq k} \prod_{\omega} P[\omega_k | pa(\omega_k), A] ; i, k = 1 \dots m, \omega_m = \Omega^*, \quad (7)$$

та апостеріорних ймовірностей значень атрибутів та характеристик за формулою Байєса

$$P(a_j|\Omega) = \frac{P(a_j, \Omega)}{P(\Omega)} = \frac{\prod_{\omega} P[\omega_k | pa(\omega_k), A]}{\sum_A \prod_{\omega} P[\omega_k | pa(\omega_k), A]} ; j = 1 \dots n, \quad (8)$$

де $pa(\omega_k)$ – стани всіх предків для характеристики ω_k .

В основу розробленого методу оцінки якості БПАК покладена схема статистичних випробувань з послідовними вибірками. Кожне випробування розглядається як одиничний експеримент, за результатами якого ітеративно обчислюються по формулі Байєса апостеріорні ймовірності характеристик. Прийняття рішення за інтегральним показником зводиться до вирішення двохальтернативної задачі за принципом максимальної правдоподібності.

На основі розподілу ймовірностей інтегрального показника якості Ω^* розраховується ризик прийняття рішення за формулою

$$R = 1 - \Delta; \quad (9)$$

де $\Delta = |\theta - (1 - \theta)| = |2\theta - 1|$.

Значення ризику є критерієм зупинки при проведенні послідовних експериментів під час ВВВ. ОПР в цьому разі може прийняти одну з трьох стратегій, в залежності від того, чи попадає значення ризику в області зупинки, які визначаються з урахуванням начального значення R_0 :

- якщо $R \leq \gamma$ - остаточне рішення прийнятне,
- якщо $R \geq \delta$ - остаточне рішення неприйнятне,
- якщо $\gamma < R < \delta$; - продовження випробувань.

Значення верхньої та нижньої границь областей зупинки $\gamma, \delta \in [0,1]$ встановлюються вимогами до ВВВ.

Процедура проведення випробувань за схемою статистичної гри з послідовними вибірками пояснюється графіками, наведеними на рис.7.

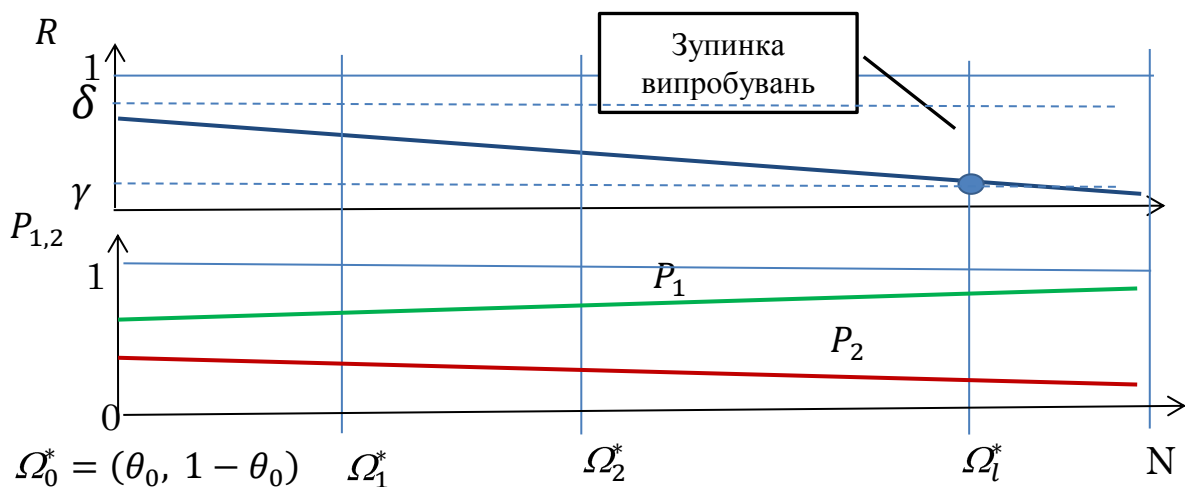


Рисунок 7 – Процедура проведення випробувань за схемою статистичної гри з послідовними вибірками

При виконанні серії експериментів значення інтегрального показника якості Ω^* оновлюються після проведення кожного наступного випробування на основі даних ТД за формулою

$$\Omega^*_{j+1}(\theta) = \frac{\Omega^*_j(\theta) \cdot \eta_{j+1}(A)}{\sum_H \Omega^*_j(\theta) \cdot \eta_{j+1}(A)} \quad (10)$$

де $\eta_{j+1}(A)$ – апостеріорний розподіл ймовірностей значень атрибутів за даними ТД.

В розділі 3 описана розроблена інформаційна технологія оцінки якості БПАК та її практична реалізація шляхом розробки відповідних програмних засобів. На рис. 8 наведений алгоритм функціонування розробленої інформаційної технології оцінки якості БПАК.

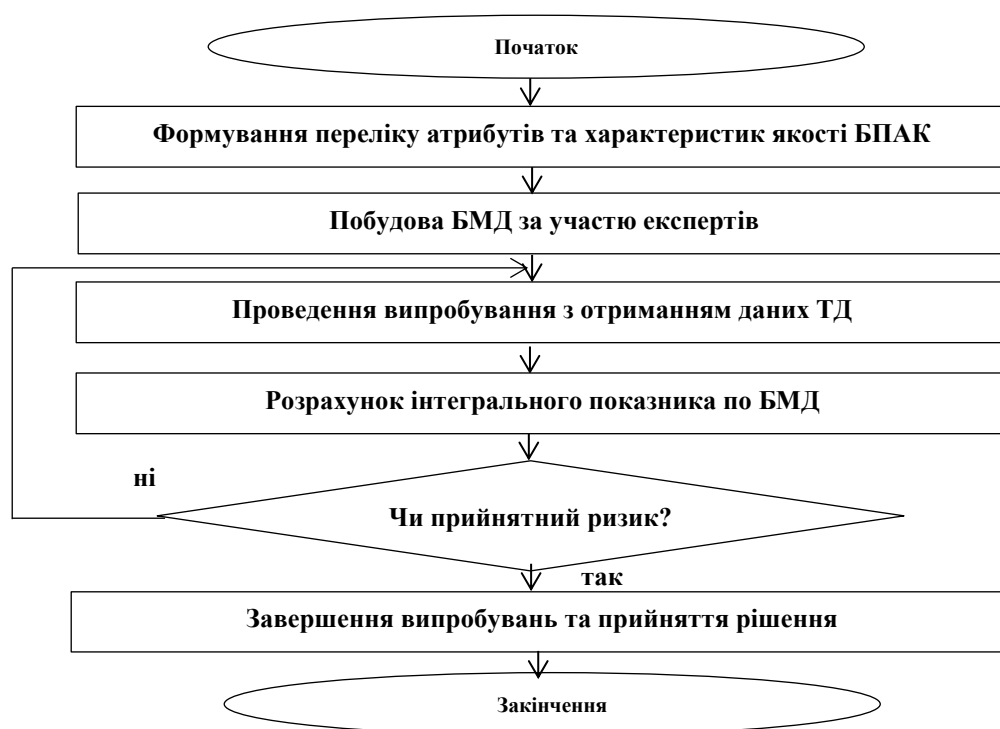


Рисунок 8 – Блок-схема алгоритму інформаційної технології оцінки якості БПАК

Під час кожного випробування здійснюється обрахунок інтегрального показника якості по моделі БМД та значення ризику прийняття рішення. У разі необхідності проведення повторного експерименту обчислюються апостеріорні ймовірності атрибутів якості по формулі Байеса, які використовуються при наступному експерименті як апіорні ймовірності. При досягненні області зупинки випробування припиняються і приймається остаточне рішення щодо якості БПАК з урахуванням ризику.

Програмний комплекс, який реалізує запропоновану інформаційну технологію, включає:

1. Програмний засіб ExMon, призначений для моніторингу процесу ВВВ та обчислення інтегрального показника якості БПАК і ризику прийняття рішення для вибору відповідної стратегії проведення випробувань.

2. Програмний засіб tLOG, призначений для обробки даних ТД з телеметричного лог-файлу, який створюється на комп'ютері наземної станції керування в процесі проведення випробувального польоту БПЛА.

Схема функціонування та взаємодії розроблених програмних засобів в процесі обрахунку параметрів БМД наведена на рис. 9.

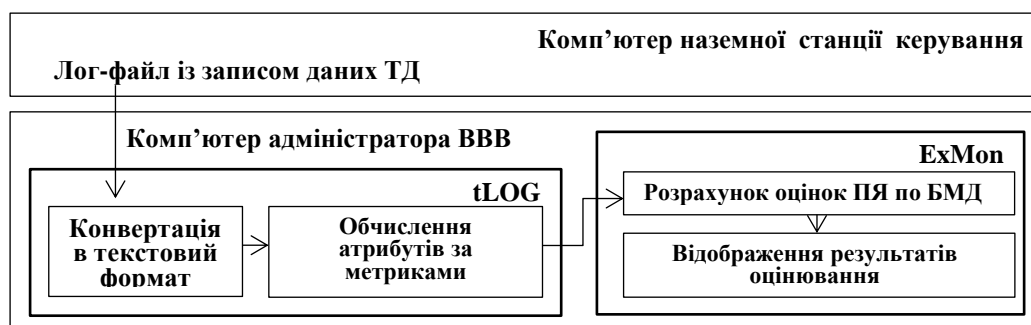


Рисунок 9 – Схема функціонування та взаємодії розроблених програмних засобів

Програмна реалізація розроблених програмних засобів здійснена на мові С#. В розділі наводяться схеми алгоритмів окремих підпрограм розроблених програмних засобів, а в додатку Г містяться відповідні UML-діаграми.

Після завершення чергового випробувального польоту лог-файл, який формується на наземній станції керування в процесі радіообміну з БПЛА за протоколом MAVLink, передається в ПЗ tLOG для обробки даних ТД. Далі ці дані використовуються ExMon для обчислення параметрів вузлів БМД.

Графова модель БМД створюється експертом за допомогою застосування BayesFusion Genie Academic 2.3 з використанням діалогового графічного інтерфейсу SMILE і передається в розроблений програмний засіб ExMon у форматі XML. Оптимальна стратегія проведення випробувань вибирається особою, яка приймає рішення, на основі розрахованого по БМД значення ризику відповідно до запропонованого методу.

У **четвертому розділі** описані приклади практичного застосування запропонованої інформаційної технології при виконанні ВВВ БПАК.

В практиці виконання ВВВ БПАК на базі Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки Збройних Сил України (ДНДІ ВС ОВТ) використовувались такі параметри областей зупинки повторних експериментів $\delta = 0,15$ та $\gamma = 0,4$. Дані значення були визначені шляхом аналізу гранично можливих найкращого та найгіршого випадків з урахуванням експертної інформації.

Експериментальна перевірка ефективності розробленої інформаційної технології проводилась під час випробувань БПАК «Цикада» та «Кобра» у квітні 2019 р. на базі ДНДІ ВС ОВТ.

Початкові значення розподілів ймовірностей атрибутів якості визначались групою експертів. На основі цих даних було розраховане значення ризику прийняття рішення, яке становило 0,3. Згідно плану проведення ВВВ після розгортання БПАК спочатку було виконано його

наземне тестування та оновлені значення характеристик якості, які в подальшому використовувались як апріорна інформація.

Результати оцінки якості БПАК при виконанні випробувальних польотів наведені на рис.10.

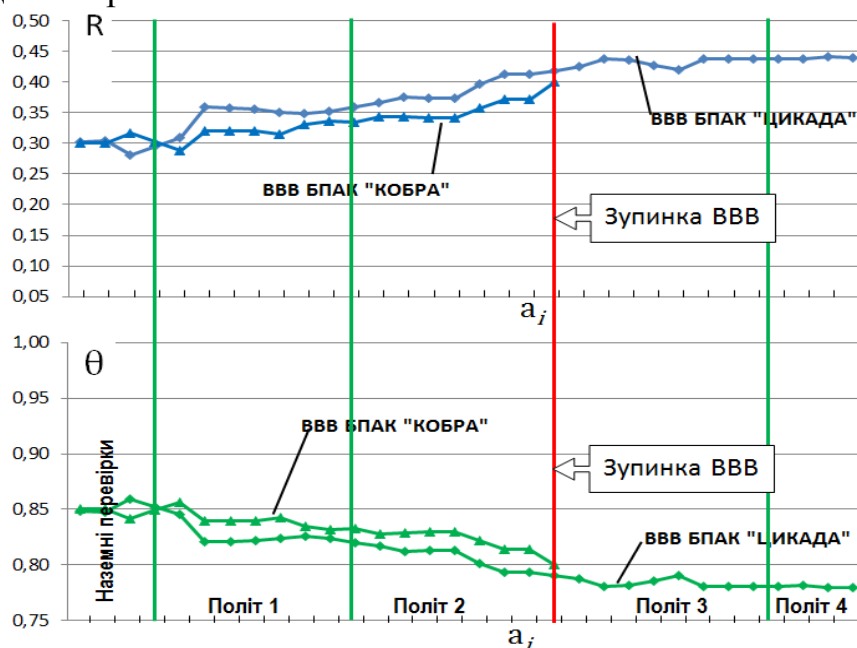


Рисунок 10 – Результати оцінки якості БПАК в процесі ВВВ

При значенні ризику $R = 0.4$, згідно встановлених меж областей зупинки, випробування були припинені, оскільки подальше їх продовження при встановленій тенденції збільшення ризику означало немотивовану витрату ресурсів в умовах, коли результат ВВВ доказово визначений. Остаточне рішення відносно вказаних комплексів було негативним.

Підсумкові результати випробування БПАК «Цикада» та «Кобра» наведені в таблиці.

Таблиця – Результати випробувань БПАК «Цикада» та «Кобра»

Вимір випробувань	ВВВ БПАК «Цикада» за стандартною методикою	ВВВ БПАК «Кобра» за розробленою ІТ	Зменшення, %
Тестів	32	21	34%
Польотів	4	2	50%

Для перевірки чутливості розробленої технології до позитивних результатів оцінки якості БПАК були використані дані випробувань БПАК «БПАК-3» у 2017 р. Результати оцінювання якості БПАК по даним ВВВ наведені на рис. 11.

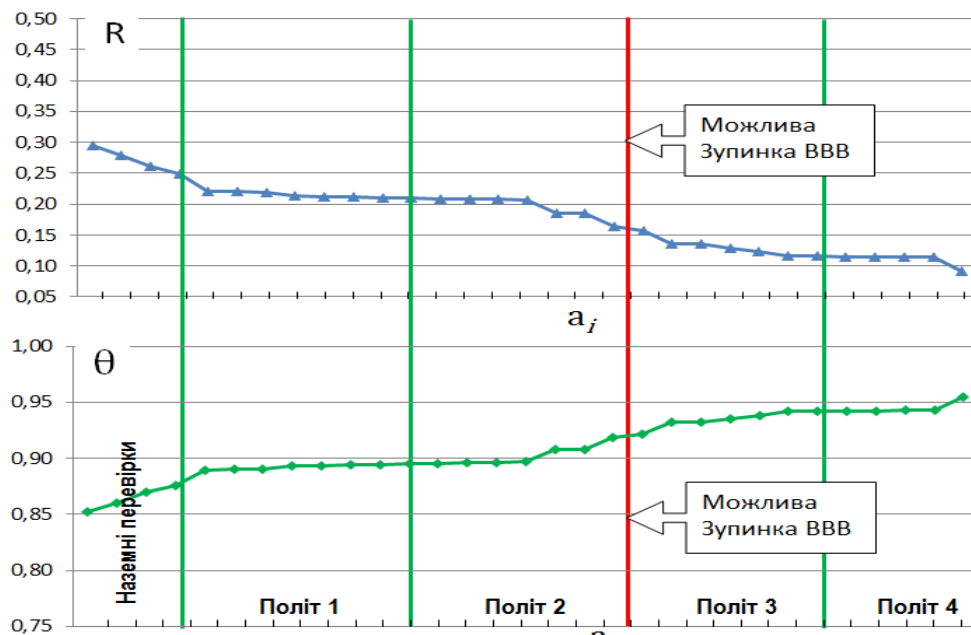


Рисунок 11 – Результати оцінювання якості БПАК по даним ВВВ

Аналіз отриманих результатів показує, що ВВВ можна було припинити після другого польоту, оскільки на той момент вже було отримане значення інтегрального показника якості БПАК-3 на рівні $\theta = 0,922$ з ризиком $R = 0,156$, що могло також забезпечити скорочення кількості випробувань до 2-х замість 4-х і скорочення часу випробувань на 50%.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі сформульовано та вирішене актуальне науково-практичне завдання розробки інформаційної технології оцінки якості БПАК за даними технічної діагностики.

Для досягнення поставленої мети, яка полягає в підвищенні ефективності випробувань БПАК за рахунок вибору найбільш ефективних стратегій їх виконання шляхом оцінювання значень інтегрального показника якості БПАК при динамічному надходженні даних технічної діагностики, були отримані такі результати:

1. Досліджено сучасні технології оцінювання якості складних технічних систем за допомогою логічних, статистичних та ймовірнісних методів, виходячи з того, що в умовах обмеженого часу випробувань окремих зразків БПАК одержати релевантні статистичні дані не є можливим. В зв'язку з цим сформульовано задачі щодо розробки методу оцінювання показника якості БПАК, який спирається на байєсівські мережі довіри, програмної реалізації запропонованого методу та подальшої перевірки його ефективності на практиці.

2. Розроблено модель системи показників якості БПАК та запропоновано спосіб її узагальнення, який базується на ієрархічній моделі БПАК та передбачає згортання окремих атрибутів та характеристик якості до виділених класів еквівалентності та інтегрального показника якості за правилами гомоморфізму.

3. Розроблено математичну модель оцінки якості БПАК за даними технічної діагностики, яка дозволяє оцінювати значення атрибутів та характеристик якості за вибраними стандартними метриками та отримувати значення інтегрального показника якості.

4. Розроблено ймовірнісну графову модель у вигляді байєсівської мережі довіри, яка задає функцію правдоподібності для запропонованого методу оцінки якості БПАК та дозволяє обрахувати апостеріорні розподіли ймовірностей втрибутів та характеристик якості, включаючи інтегрований показник, з урахуванням даних технічної діагностики, одержаних в результаті проведення випробувального експерименту.

5. Розроблено метод оцінювання показників якості БПАК в процесі виконання програми випробувань за схемою статистичної гри з послідовними вибірками, визначено правило задання областей зупинки випробувань, стратегії та критерій прийняття оптимального рішення відносно якості БПАК, який базується на понятті ризику.

6. Розроблено загальну схему функціонування запропонованої інформаційної технології при проведенні випробувань БПАК та технологічні засади її реалізації.

7. Здійснена практична реалізація запропонованої інформаційної технології шляхом розробки програмного комплексу у складі двох програмних засобів, які забезпечують підтримку процесу моніторингу параметрів роботи БПАК, обробку даних технічної діагностики та оцінювання якості БПАК динамічно в процесі проведення випробувань.

8. Розроблена інформаційна технологія перевірена в умовах практичного проведення визначальних відомчих випробувань БПАК на базі Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, та під час випробувань БПАК на Чернігівському ВО «Чезара».

9. Проведені експериментальні перевірки підтвердили ефективність запропонованої інформаційної технології, яка забезпечила прийняття обґрунтованого рішення щодо якості БПАК з урахуванням ризику при скороченні часу проведення випробувань за рахунок зменшення числа випробувальних польотів БПЛА до 50% та зменшення числа перевірочних тестів до 34%.

10. Результати дослідження можуть бути застосовані для підвищення ефективності випробувань та сертифікації інших видів озброєння та військової техніки, а також створення відповідних експертних систем, здатних накопичувати і зберігати експертний досвід спеціалістів дослідницьких та сертифікаційних установ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Bashins'ka O, Kazymyr V., Nesterenko S., Prila O. Dynamic Assessment of the UAS Quality Indicators by Technical Diagnostics Data // Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1019. Springer, Cham, 2019 – ISSN 2194-5357 – p.154-163.

2. Akymenko A., Bashyns'ka O., Nesterenko S. Probabilistic Evaluating the Reliability of the Control System of the Unmanned Aviation Complex // Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018. – Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018. – p. 368-371.
3. Bashyns'ka O., Kazymyr M., Nesterenko S. Quality Assessment of Unmanned Aerial Systems Using Bayesian Trust Networks Processing of Testing Data – Proceedings of 15th Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI-2019). Volume II: Workshops, Kherson, Ukraine, June 12-15 – CEUR-WS.org, Vol. 2393 online, 2019 – p. 822-832. – http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper_435.pdf.
4. Зайцев С., Башинська О., Камак Ю., Горлинський Б. Дослідження методів підвищення достовірності інформації сучасних безпілотних авіаційних комплексів. – Технічні науки та технології: науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – № 4 (6), с.97-106.
5. Акименко А., Башинська О., Казимир В., Камак Ю., Нестеренко С. Обґрунтування номенклатури показників якості систем керування безпілотними авіаційними комплексами. – Технічні науки та технології: наук. журнал/ Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – № 1 (11), с.97-105.
6. Башинська О., Камак Ю., Нестеренко С. Метод діагностики компонентів системи керування безпілотного авіаційного комплексу. – Технічні науки та технології: науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – № 2 (12). – с. 142-149.
7. Башинська О., Казимир В., Нестеренко С. Формування телеметричних лог-файлів для оперативної технічної діагностики безпілотних авіаційних комплексів – Технічні науки та технології: науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – № 3 (12). – с. 132-138.
8. Akimenko A., Bashins'ka O., Kazymyr V. Construction of a probabilistic model of a complex software-hardware system based on UML diagrams // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем» (МОДС 2018). Тези доповідей. – Київ – Чернігів - Жукин, 25-29 червня, 2018 – с. 264-265.
9. Башинська О. Особливості розшифровки телеметричних логів безпілотних авіаційних комплексів в умовах неповноти інформації про перелік типів повідомлень. Тези доповідей. // Всеукраїнська науково-практична конференція «Комп'ютерна інженерія і кібербезпека: досягнення та інновації», 27–29 листопада 2018 р.– Кропивницький: Центрально-український національний технічний університет. – с.28-31.
10. Bashyns'ka O., Kazymyr M., Nesterenko S. Method of UAS quality assessment by the technical diagnostic data. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем» (МОДС 2019). Тези доповідей – Чернігів, 24 - 26 червня 2019 р. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – с. 334-337.

АНОТАЦІЯ

Башинська О.О. Інформаційна технологія оцінки якості безпілотних авіаційних комплексів за даними технічної діагностики. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Чернігівський національний технологічний університет, МОН України, Чернігів, 2019.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання по розробці інформаційної технології оцінки якості безпілотних авіаційних комплексів (БПАК) в процесі проведення визначальних відомчих випробувань (ВВВ), яка спирається на дані технічної діагностики, враховує апіорні оцінки експертів та забезпечує вибір оптимальних стратегій проведення випробувань і прийняття рішень за інтегральним показником якості з урахуванням ризику. Вперше розроблено ймовірнісну графову модель оцінювання показників якості БПАК, в якій використовується байєсівська мережа довіри, яка враховує дані технічної діагностики разом із експертними оцінками та забезпечує аналітичне обчислення інтегрального показника якості БПАК в процесі проведення випробувань. Удосконалено математичну модель системи показників якості БПАК, яка, на відміну від існуючих, формалізує вплив як функціональних, так і експлуатаційних властивостей обладнання та програмного забезпечення, пов'язаних між собою відношенням ієрархії, та дозволяє сформуванню інтегральний показник якості, що використовується як критерій при прийнятті рішень під час проведення випробувань. Набув подальшого розвитку метод оцінки якості БПАК, в якому, на відміну від існуючих підходів, використовується розроблена ймовірнісна графова модель за схемою статистичних випробувань з послідовними вибірками, що забезпечує вибір оптимальної стратегії проведення ВВВ з урахуванням ризику. Розроблена інформаційна технологія має практичне втілення у вигляді програмного комплексу, до складу якого входять два програмних засоби, реалізовані на мові С#. Дана технологія пройшла практичну перевірку в реальних умовах на базі Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки Збройних Сил України. Проведені ВВВ продемонстрували здатність запропонованої інформаційної технології підвищувати ефективність випробувань за рахунок їх виконання за коротший проміжок часу (скорочення до 50%) та з використанням меншого числа тестів (зменшення до 34%).

Ключові слова: безпілотний авіаційний комплекс, інтегральний показник якості, визначальні відомчі випробування, байєсівська мережа довіри, ризик прийняття рішення.

АННОТАЦИЯ

Башинская О.А. Информационная технология оценки качества беспилотных авиационных комплексов по данным технической диагностики. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Черниговский национальный технологический университет, МОН Украины, Чернигов, 2019.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача по разработке информационной технологии оценки качества беспилотных авиационных комплексов (БПАК) в процессе проведения определяющих ведомственных испытаний (ОВИ), которая опирается на данные технической диагностики, учитывает априорные оценки экспертов и обеспечивает выбор оптимальных стратегий проведения испытаний и принятия решений по интегрированному показателю качества с учетом риска. Впервые разработана вероятностная графовая модель оценки показателей качества БПАК, в которой используется байесовская сеть доверия, учитывающая данные технической диагностики вместе с экспертными оценками и обеспечивающая аналитическое вычисление интегрированного показателя качества БПАК в процессе проведения испытаний. Усовершенствована математическая модель системы показателей качества БПАК, которая, в отличие от существующих, формализует влияние как функциональных, так и эксплуатационных свойств оборудования и программного обеспечения, связанных между собой отношением иерархии, и позволяет сформировать интегрированный показатель качества для использования в виде критерия при принятии решений во время проведения испытаний. Получил дальнейшее развитие метод оценки качества БПАК, в котором, в отличие от существующих подходов, используется разработанная вероятностная графовая модель по схеме статистических испытаний с последовательными выборками, что обеспечивает выбор оптимальной стратегии проведения ОВИ с учетом риска. Разработанная информационная технология имеет практическое воплощение в виде программного комплекса, в состав которого входят два программных средства, реализованные на языке C#. Данная технология прошла практическую проверку в реальных условиях на базе Государственного научно-исследовательского института испытаний и сертификации вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины. Проведенные ОВИ продемонстрировали способность предложенной информационной технологии повышать эффективность испытаний за счет их выполнения за меньший промежуток времени (сокращение до 50%) и с использованием меньшего числа тестов (уменьшение до 34%).

Ключевые слова: беспилотный авиационный комплекс, интегрированный показатель качества, определяющие ведомственные испытания, байесовская сеть доверия, риск принятия решения.

ANNOTATION

Bashinska O.A. Information Technology for Assessing the Quality of Unmanned Aerial Systems according to Technical Diagnostics. – Manuscript copyright.

Thesis on competition of scientific degree of Candidate of Technical Sciences by specialty 05.13.06 – information technologies. –Chernihiv National University of Technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Chernihiv, 2019.

The dissertation deals with the actual scientific task of developing information technology of quality assessment of unmanned aviation complexes (UAS) in the process of determining departmental tests (DDT), which based on technical diagnostics data, takes into account the a priori evaluations of experts and provides the choice of optimal testing strategies and decision making by integrated risk-based quality indicator. For the first time, a probabilistic graphical model for assessing the quality of UAS has been developed, which uses a Bayesian trust network that takes into account technical diagnostics data together with expert assessments and provides analytical calculation of the integrated quality indicator of UAS during testing. The mathematical model of the UAS quality indicators system, which, unlike the existing ones, formalizes the influence of both functional and operational properties of the equipment and software related to the hierarchy relationship, and allows for the formation of an integrated quality indicator used as a criterion during a testing. The method of assessing the quality of UAS has been further developed, in which, unlike the existing approaches, a probabilistic graphical model with a series of statistical tests is used, which provides the choice of the optimal risk-taking strategy of the DDT. The developed information technology has a practical embodiment in the form of a software complex, which consists of two software tools implemented in C#. This technology has been practically tested on the basis of the State Research Institute of Testing and Certification of Arms and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine. The conducted DDT demonstrated the ability of the proposed information technology to increase the efficiency of tests by performing them in pain in a short period of time (reduced to 50%) and using fewer tests (reduced to 34%).

Key words: unmanned aircraft system, integrated quality indicator, determining departmental test, Bayesian trust network, risk of decision making.