

67 - 72 - 12 / 2
25.01.16

Вченому секретарю
спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10
у Національному університеті
«Львівська політехніка»
проф. Бондареву А.П.

79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Мащака Андрія Володимировича «Моделі для оцінки ризику експлуатації системи радіоуправління безпілотним літальним апаратом», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Актуальність дисертаційної роботи. Експлуатація безпілотних літальних апаратів (БпЛА) супроводжується виникненням на їх борту відмов та несправностей. Виникнення несправностей (відмов) може призводити до повної або часткової втрати функціональних властивостей БпЛА. Як наслідок, для БпЛА існує ризик виникнення аварійної ситуації – апарат може розбитися або зіткнутись з іншим об'єктом.

Для попередження та мінімізації наслідків аварійних ситуацій, які можуть виникнути при експлуатації БпЛА, необхідно усунути «слабкі» місця БпЛА шляхом проведення моделювання надійності та функціональної поведінки його системи для прогнозування ймовірностей виникнення відмов, як окремих компонентів так і їх комбінацій, та оцінювання міри важкості наслідків цих відмов. Розроблені моделі повинні забезпечувати можливість визначення критичних відмов, які можуть призводити до падіння БпЛА та врахувати критичність кожної відмови з точки зору ризику експлуатації. Визначення «слабких» місць системи дасть змогу зменшити загальний ризик експлуатації БпЛА за допомогою підвищення надійності найбільш критичних елементів бортової системи, наприклад, використати для їх реалізації відмовостійкі конфігурації.

Для розв'язання задачі знаходження критичних елементів системи необхідно здійснити розробку моделі бортових систем БпЛА, в якій необхідно врахувати всі її елементи і особливості їх взаємодії. Розробка таких моделей потребує використання методики побудови моделей з високим рівнем

формалізації, оскільки така задача має велику працеемність. Разом з цим слід відзначити необхідність проектування бортової системи БпЛА та мати проводити багатоваріантний аналіз її реалізації. Недосконалість існуючих методик задала напрям роботи здобувачу.

Загальна характеристика дисертаційної роботи. В дисертаційній роботі Мащака А.В. розв'язано актуальну науково-прикладну задачу зниження ризику експлуатації бортової навігаційно-обчислювальної системи БпЛА шляхом визначення найбільш «слабких» з точки зору функціональної безпечності підсистем і реалізації їх у вигляді відмовостійких конфігурацій. Розв'язання цієї задачі полягало у розробці нових та удосконаленні існуючих моделей навігаційно-обчислювальної системи БпЛА, що дозволило провести кількісну оцінку ризику її експлуатації. Крім цього, процес побудови моделей був формалізованим, що дозволило мінімізувати ймовірність внесення помилки у модель, а відтак і автоматизувати його. Автоматизація процесу побудови моделей дала можливість проводити багатоваріантний аналіз різних реалізацій навігаційно-обчислювальної системи БпЛА, що в свою чергу дало можливість обґрунтувати вибрані реалізації системи.

У *вступі* здійснено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, сформовано мету і задачі дослідження, представлено зв'язок роботи з науковими темами та програмами. Описано основні наукові результати, показано їх практичне значення, наведено відомості про публікації та апробацію матеріалів дисертаційної роботи та особистий внесок здобувача.

У *першому розділі* проведено огляд літературних джерел та здійснено аналіз існуючих на сьогоднішній день моделей радіотехнічних систем відповідального призначення до яких відноситься навігаційно-обчислювальна система БпЛА. Проведено аналіз методик побудови та аналізу моделей радіотехнічних систем відповідального призначення для оцінки ризику експлуатації. Враховано всі позитивні властивості існуючих методик, їх недоліки та обмеження і вибір математичного апарату, який дозволить здійснити розробку моделей навігаційно-обчислювальної системи БпЛА. Результати огляду представлено у вигляді узагальненої таблиця порівняння можливостей існуючих технологій, які дозволяють проводити оцінку ризику експлуатації радіотехнічних систем відповідального призначення.

У висновках розділу перелічено задачі, які на сьогоднішній день залишаються невирішеними, чим підтверджено актуальність напрямку дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* проведено аналіз структури навігаційно-обчислювальної системи БпЛА щодо вибору елементів та підсистем, для яких необхідно провести оцінку ризику експлуатації.

На основі результатів огляду, наведених в першому розділі обґрунтовано вибір технології моделювання, яка відповідає заданим вимогам, а саме дає змогу здійснювати розробку моделей навігаційно-обчислювальної системи БпЛА для оцінки ризику її експлуатації, має високий рівень формалізації та дозволяє при малих затратах часу швидко перебудовувати моделі при зміні вхідних параметрів. Однак, для розв'язання поставленої науково-прикладної задачі, вибрана технологія потребувала суттєвого адаптування. Адаптування вибраної технології моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем полягало у розщепленні стану критичної відмови системи. Розщеплений стан критичної відмови системи являє собою масив непрацездатних станів, на основі яких, стає можливим аналіз появи аварійних ситуацій. Автором запропонована процедура групування непрацездатних станів у сукупність, яка представляє аварійну ситуацію (мінімальне січення). Після розраховуються ймовірності виникнення отриманих мінімальних січень. Таким чином автор ілюструє розроблену методику отримання ймовірностей виникнення аварійних ситуацій. Результат представлено у вигляді звітної таблиці.

Слід відзначити, що запропонована методика дозволяє також отримувати графічне представлення розвитку аварійних ситуацій – дерева відмов – оскільки в результаті виконання запропонованої методики розробник отримує логічне представлення дерева відмов.

Також в другому розділі розроблено дві моделі обчислюваної підсистеми БпЛА з використанням мажоритарної структури, яка працює за правилом "2 з 3" та з двократним холодним резервуванням мікропроцесорів. На основі розроблених моделей отримано мінімальні січення для двох відмовостійких конфігурацій та проведено порівняльний аналіз. Порівняння безнадлишкової та відмовостійкої реалізацій обчислювальної підсистеми показало, що ризик виникнення аварійної ситуації експлуатації БпЛА при переході від нерезервованої обчислювальної підсистеми до мажоритарної структури зменшується на 33%.

Результати представлені в таблицях 1 і 2 свідчать про те, що використання для ОП двохкратного холодного резервування зменшує ризик експлуатації в порівнянні з використанням для ОП мажоритарної структури "2 з 3". Слушним є зауваження автора, що у випадку використання двохкратного резервування втрачаються позитивні якості мажоритарної структури "2 з 3". Очевидним є результат аналізу який полягає у тому, що найбільш вразливим місцем у двох варіантах реалізації обчислювальної підсистеми є система електроживлення. Але цей очевидний в даному випадку висновок підтверджує правильність запропонованої методики.

У *третьому розділі* автором розроблено модель навігаційної підсистеми, яка складається з трьох акселерометрів, трьох гіроскопів, магнітометра та

вимірювачів висотно-швидкісних параметрів. На основі отриманої моделі навігаційної підсистеми отримано мінімальні січення. Аналіз отриманих мінімальних січень показав, що найбільш вразливим місцем у системі є приймач супутникової навігаційної системи.

Однак слід відзначити, що такі результати були отримані для конкретного набору вхідних параметрів. В даному розділі відсутні порівняння результатів отриманої навігаційної підсистеми з іншою реалізацією. Аналогічно до попереднього розділу доцільно було б розробити декілька реалізацій навігаційної підсистеми та провести їх порівняльний аналіз.

У *четвертому розділі* розроблено алгоритм та прототип програмного засобу під назвою CutSetDefiner на основі запропонованої методики визначення мінімальних січень обчислювальної та навігаційної підсистем БпЛА. Програмний засіб автоматизує процес отримання мінімальних січень навігаційно-обчислювальної системи БпЛА.

Запропонована методика за допомогою розробленого програмного засобу дала можливість вирішувати задачі оцінки та зменшення рівня ризику експлуатації навігаційно-обчислювальної системи БпЛА на етапі її проектування. Це досягається шляхом оцінки ризику експлуатації багатьох варіантів реалізації навігаційно-обчислювальної системи БпЛА. Розв'язання задачі зменшення рівня ризику експлуатації здійснюється з меншими затратами часу, ніж вимагає методика оцінки ризику експлуатації з використанням дерева відмов, що важливо на етапі системотехнічного проектування.

Для підтвердження придатності запропонованої методики оцінки ризику експлуатації була здійснена процедура її валідації шляхом порівняння отриманих результатів з результатами, які отримані шляхом відомого програмного забезпечення побудови дерев відмов. В якості об'єкта для проведення валідації була використана відмовостійка система з структурним резервуванням. Мінімальні січення, отримані за запропонованою методикою, співпали з мінімальними січеннями отриманими за допомогою програмного засобу RAM Commander.

В *п'ятому розділі* показано застосування розроблених моделей навігаційної та обчислювальної підсистем БпЛА та запропонованої методики отримання мінімальних січень з використанням програмного засобу CutSetDefiner.

Проведено оцінку ризику експлуатації навігаційно-обчислювальної системи БпЛА згідно аналізу видів критичних відмов та їх наслідків. Для навігаційно-обчислювальної системи визначено, що згідно заданих вхідних параметрів, відмови магнітометра, вимірювачів висотно-швидкісних параметрів, акселерометрів та гіроскопів є критичними для виникнення аварійних ситуацій. Запропоновано рекомендації щодо зменшення ймовірності виникнення визначених аварійних ситуацій. На основі запропонованих

рекомендацій в моделі було внесено зміни та проведено повторну оцінку ризику експлуатації. Повторний аналіз підтвердив зменшення рівня ризику експлуатації навігаційно-обчислювальної системи БпЛА

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Адекватність розроблених математичних моделей, методик, алгоритмів та програмних засобів підтверджується наступними положеннями: коректністю постановки задачі дисертаційного дослідження; базуванням теоретичної частини роботи на апробованих фундаментальних положеннях теорії моделювання складних систем, теорії марковських випадкових процесів, теорії ймовірності та теорії надійності.

Основні наукові результати. До основних наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести:

- подальший розвиток методу формалізованого представлення об'єкта дослідження у вигляді бінарної структурно-автоматної моделі;
- розроблену математичну модель навігаційної підсистеми та удосконалену математичну модель обчислювальної підсистеми для оцінки ризику їх експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена в роботі методика визначення кількісних показників ризику експлуатації обчислювальної та навігаційної підсистем БпЛА у вигляді мінімальних січень, дозволяє вирішувати задачу зменшення рівня ризику для бортових систем БпЛА при заданому рівні надійності ще на етапі їх системотехнічного проектування. На основі запропонованої методики отримання мінімальних січень розроблено алгоритм та прототип програмного засобу, який автоматизує певні етапи їх отримання.

Разом з цим розроблена методика побудови дерева відмов на основі мінімальних січень. Ця методика покладена в основу програмного засобу для автоматизованої побудови дерева відмов. Практична необхідність отримання дерева відмов після того як сформовані мінімальні січення в тому, що дерево відмов візуалізує процес потрапляння навігаційної і обчислювальної підсистем у аварійний стан і суттєво спрощує прийняття рішень для забезпечення необхідного рівня безпечності. Необхідно зауважити, що дерево відмов є обов'язковим атрибутом при здійсненні сертифікації на безпечність складних технічних систем.

Підтвердженням практичного значення роботи є впровадження наукових результатів в науково-дослідній роботі за шифром «Дрон» інв. №17-13 НОВ у

Науковому центрі Національної Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного та у фірмі в ТОВ “СілегоТехнолоджі (Україна)”.

Пропозиції до використання отриманих результатів. Розроблені математичні моделі та методики можуть бути використані при формуванні стандартів оцінки безпечності безпілотних літальних апаратів та при обґрунтуванні оперативно-тактичних (тактико-технічних вимог до безпілотних авіаційних комплексів).

Переваги роботи. До беззаперечних переваг дисертаційної роботи слід віднести: високий рівень формалізації та автоматизації трудомістких етапів запропонованої методики отримання мінімальних січень та отримання логічного представлення дерева відмов; високий ступінь адекватності розроблених моделей навігаційної та обчислювальної підсистем безпілотного літального апарата; чітке обґрунтування характеристик та обмежень запропонованих моделей.

Зміст і обсяг дисертації та автореферату. Повнота викладу в наукових виданнях.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел та п’яти додатків. Загальний обсяг роботи складає 156 сторінок, із них 12 сторінок вступу, 113 сторінок основного тексту, 3 сторінки висновків, 12 рисунків, 21 таблиць, 20 сторінки списку використаних джерел із 154 найменування, 2 додатки.

Автореферат дисертації цілком відображає основні результати роботи та за змістом і формою відповідає вимогам, що пред’являються до автореферату кандидатської дисертації. Автореферат на 20 сторінках оформлений відповідно з вимогами до авторефератів кандидатських дисертацій.

Апробація наукових результатів. Основні результати дисертаційної роботи висвітлено в 19 публікаціях, із них 8 – у фахових виданнях України, 7 – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій та 4 – у матеріалах науково-технічних конференцій України.

Зауваження до змісту дисертації та автореферату:

- в роботі було б доцільно навести класифікацію безпілотних літальних апаратів, бо незрозуміло до якого класу відноситься безпілотний літальний апарат, навігаційно-обчислювальна система якого аналізується в п’ятому розділі роботи;
- потребує додаткового обґрунтування ідея об’єднання різнотипних давачів повітряно-швидкісних параметрів в один модуль при розробці моделі навігаційної підсистеми БпЛА;
- у назві роботи вказано на систему радіоуправління безпілотним літальним апаратом, однак в самій роботі розглядається бортова

навігаційно-обчислювальна система БПЛА, таким чином не враховано інші елементи системи радіоуправління, в тому числі наземний комплекс управління безпілотним авіаційним комплексом та канал зв'язку.

- в дисертації наявні незначні стилістичні та орфографічні помилки.

Висновки.

Дисертаційна робота є завершеною працею, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати. У роботі вирішена науково-прикладна задача підвищення оцінки ризику експлуатації системи радіоуправління безпілотним літальним апаратом шляхом побудови та аналізу моделей такої системи та розроблення методики автоматизованого отримання мінімальних січень з графа станів та переходів.

Зміст роботи відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. Результати дисертаційних досліджень опубліковані та апробовані згідно з кваліфікаційними вимогами ДАК МОН України. Робота цілком відповідає вимогам пунктів 12, 13 та 14 Положення про «Порядок присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

Вважаю, що дисертаційна робота Мащак Андрія Володимировича «Моделі для оцінки ризику експлуатації системи радіоуправління безпілотним літальним апаратом» відповідає вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент - начальник науково-дослідного відділу
Наукового центру Сухопутних військ
Національної академії сухопутних військ
ім. гетьмана П. Сагайдачного, к.т.н., с.н.с.

Ю.П. Сальник

25 січня 2016 р.

Підпис Сальника Юрія Павловича засвідчую.

Вчений секретар Вченої ради Національної академії
Сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного
к.політ.н.



В.В. Панасюк