

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 73.052.04 Черкаського державного
технологічного університету
доктору технічних наук, професору
РУДНИЦЬКОМУ В.М.
18000, м. Черкаси,
бульвар Шевченка, 460

ВІДГУК

офіційного опонента

професора кафедри обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», доктора технічних наук, професора Кучука Георгія Анатолійовича на дисертаційну роботу Бережного Андрія Олександровича «Методи та інформаційна технологія автоматизованого планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) характеризуються низькою вартістю, простотою і доступністю технології виробництва. Характеристики БПЛА дозволяють використовувати їх для вирішення широкого спектру завдань з пошуку стаціонарних та динамічних об'єктів і моніторингу їх стану. Дані завдання вимагають розробки наукових методів планування маршрутів польотів БПЛА з урахуванням різних факторів впливу на них. Методи планування маршрутів польотів БПЛА повинні стати елементом інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень.

Дослідження процесу автоматизованого планування маршрутів польоту БПЛА для пошуку динамічних та стаціонарних об'єктів проводилося автором із застосуванням методології системного аналізу, теорії ймовірності, математичного моделювання, елементів теорії штучного інтелекту, об'єктно-орієнтованого проектування. Задача планування маршрутів польотів БПЛА для моніторингу стаціонарних і динамічних об'єктів має свої особливості. Вони, як правило, зумовлені достатньо великою площею пошуку, малими геометричними розмірами об'єктів пошуку та доволі широкою номенклатурою їх класів. Тому необхідна розробка моделей автономного функціонування БПЛА, оперативної зміни мети місії БПЛА в польоті та оптимальних за певними критеріями маршрутів польоту БПЛА. Сучасні БПЛА мають у своєму складі автопілот та потужний бортовий комплекс оснащений відповідними інформаційними технологіями. Незважаючи на значну увагу до розвитку безпі-

лотної (роботизованої) авіації як вітчизняними, так і закордонними дослідниками та науковцями, розробка методів автоматизованого планування маршрутів польотів БПЛА є перспективним науковим напрямком.

З огляду на вищевказане, тема дисертаційного дослідження, яка полягає у вирішенні наукової задачі розробки методів та інформаційної технології автоматизованого планування маршрутів польотів БПЛА для підвищення ефективності пошуку об'єктів, є **актуальною**.

Одержані результати роботи відображені в рамках науково-дослідної роботи «Матриця», «яка виконувалась у Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба та в якій основні наукові результати дисертаційної роботи використані в повному обсязі.

Ступінь новизни, обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі. Ознайомлення зі змістом дисертації, основними публікаціями та авторефератом дозволяє визнати, що мету дослідження досягнуто. Це знайшло відображення в основних положеннях роботи, які сформульовані автором особисто і характеризуються такою науковою новизною:

– удосконалений метод автоматизованого планування маршруту польоту БПЛА для пошуку динамічного об'єкту, який на відміну від існуючих враховує невизначеність в діях протилежної сторони, формує варіанти прогнозу руху, оцінює динамічні характеристики об'єкту на кожному з варіантів можливих маршруті його руху, що дозволяє знизити невизначеність інформації про дані маршрути і сформувати раціональний маршрут моніторингу об'єктів спостереження;

– удосконалений метод автоматизованого планування маршруту польоту БПЛА для пошуку стаціонарних об'єктів, що на відміну від існуючих враховує зв'язаність структури стаціонарних об'єктів на різних топологічних рівнях та дозволяє оцінити важливість даного типу об'єктів в загальній структурі;

– отримала подальший розвиток інформаційна технологія автоматизованого планування дій БПЛА, яка, на відміну від існуючих враховує результати розпізнавання об'єктів, що дозволяє в реальному часі змінювати маршрут польоту при виконанні місії БПЛА.

Наукові положення, які виносяться на захист, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, відповідають вимогам до даного виду досліджень. Достатній рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, що сформульовані у дисертаційній роботі, їх вірогідність забезпечені коректною постановкою наукового завдання та обраних методів його вирішення; урахуванням найбільш значущих факторів, які впливають на процес планування маршрутів БПЛА, виходячи з їх призначення; ретельним аналізом існуючих методів розв'язання схожих завдань, використанням широкої наукової бази літературних джерел; відповідністю змісту дисертаційної роботи методиці вирішення наукового завдання; натурними експерименталь-

ними дослідженнями оцінювання якості отриманих методів; значною кількістю напрямів апробації отриманих результатів.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які наведені в дисертаційній роботі, обґрунтована використанням загальновідомих та широко апробованих на практиці методів та співпаданням теоретичних та практичних результатів.

Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. В роботі розроблені та доведені до практичної реалізації запропоновані методи та інформаційна технологія. Зокрема,

- реалізація удосконаленого методу автоматизованого планування маршруту польоту БПЛА для пошуку динамічного об'єкту в системі підтримки прийняття рішення дозволила підвищити ймовірність виявлення об'єктів в лісисто-степовій місцевості на 65-70%;

- реалізація методу автоматизованого планування маршруту польоту БПЛА для пошуку стаціонарних об'єктів в системі підтримки прийняття рішення дозволяє отримати прогноз розташування стаціонарних об'єктів за критерієм стійкості складної системи, що підвищує ефективність виявлення об'єктів на 25-32%;

- реалізація інформаційної технології автоматизованого планування маршрутів польоту БПЛА дозволяє за оперативно змінювати маршрут в процесі виконання місії за розпізнаними зображеннями, сформувати архітектуру перспективної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для планування дій БПЛА.

Результати роботи реалізовані під час навчань, тренувань та виконанні спеціальних завдань, що підтверджується актами впровадження.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи опубліковано у шести наукових статтях у наукових фахових виданнях, що індексуються міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних, звіті про НДР та 4 тезах доповідей на конференціях.

Кількість, обсяг та зміст друкованих праць відповідають вимогам щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук.

Аналіз представлених рукопису та автореферату дисертації дає підстави констатувати ідентичність автореферату та основних положень дисертаційної роботи. Наведені в авторефераті наукові положення, висновки і рекомендації в повному обсязі розкриті й обґрунтовані в тексті дисертації.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення. Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Дисертація написана грамотною науковою мовою, оформлена відповідно до існуючих нормативних документів, текст і графічний матеріал виконані з використанням комп'ютерної техніки.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків.

У *вступі* обґрунтовується актуальність теми виконаної роботи, визначено мету та основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, вказано дані про апробацію основних положень дисертації.

У *першому розділі* “Аналіз завдань планування моніторингу стаціонарних та рухомих об'єктів безпілотними літальними апаратами” автором доводиться, що широке застосування БПЛА для рішення різноманітних завдань цивільного і спеціального призначення викликало значних інтерес дослідників до розробки методів планування маршрутів, значна увага приділяється побудові замкненого маршруту за відомими точками на основі розв'язання задачі комівояжера. У той самий час недостатньо висвітлені питання вибору (обґрунтування) самих точок.. Здобувач достатньо глибоко провів аналіз вітчизняних та міжнародних публікацій з питань планування маршрутів, довів актуальність використання методів теорії ймовірності, теорії оптимізації, теорії систем.

У *другому розділі* “Обґрунтування схеми проведення дисертаційного дослідження та методики вирішення наукового завдання” автор досліджує предметну область планування маршрутів та руху динамічних об'єктів в інформаційній технології, обґрунтовує показники та критерії оцінювання ефективності розроблених (удосконалених) методів планування маршрутів польоту БПЛА. Наводиться характеристика обчислювальних моделей, розроблених для отримання результатів моделювання. Формується та наводиться схема дослідження, вводяться допущення та обмеження щодо роботи.

У *третьому розділі* “Розробка методів автоматизованого планування маршрутів польоту безпілотних літальних апаратів” на підґрунті результатів отриманих в попередньому розділі автор послідовно розробляє відповідні методи для пошуку динамічних та стаціонарних об'єктів. Оригінальність першого методу полягає у врахуванні невизначеності в діях протилежної сторони, формуванні варіантів прогнозу руху, оцінки вразливості динамічного об'єкту на кожному з можливих маршрутів їх руху. Застосування першого методу дозволяє знизити невизначеність інформації про маршрути руху динамічних об'єктів та сформулювати раціональний маршрут моніторингу динамічних об'єктів спостереження. Оригінальність другого методу полягає у визначенні важливості об'єктів, в тому числі і отриманні прогнозних точок знаходження стаціонарних об'єктів.

Четвертий розділ “Інформаційна технологія автоматизованого планування дій безпілотних літальних апаратів” присвячений розробці інформаційної технології автоматизованого планування дій безпілотних літальних апаратів під час виконання ними місії, що ґрунтується на об'єктно-орієнтованому методі проектування, а також проведенні експериментів та отриманню кількісних значень оцінки ефективності розроблених в роботі ме-

тодів. Доводиться, що дані методи доцільно використовувати для підвищення ефективності виявлення як динамічних, так і стаціонарних об'єктів.

П'ятий розділ “Розробка рекомендацій щодо побудови системи підтримки прийняття рішення та оцінка ефективності розроблених методів” містить практичні результати дослідження. Оцінюється ефективність розроблених методів, виконані розрахунки чисельного експерименту, доведена перевага удосконалених в дисертації методів над існуючими.

У **висновках** викладені найбільш важливі наукові і практичні результати, які були отримані в дисертаційному дослідженні.

Зауваження до дисертаційної роботи. В процесі ознайомлення з роботою позитивне враження справила практична спрямованість досліджень. Але при цьому виникли такі зауваження та недоліки:

1. Підрозділ 1.2 (стор. 25-32) роботи перевантажений реальними фотографіями, які зроблені з БПЛА. Більшу частину з них доцільно було б перенести в додатки.

2. При аналізі існуючих методів пошуку та планування маршрутів (підрозділ 1.3) необхідно було звернути увагу на існуючі математичні постановки завдань пошуку.

3. Формула (2.11) на стор. 51 містить показник важливості об'єкта дії, до якого веде маршрут руху динамічного об'єкту і на якому знаходиться даний об'єкт дії, в той же час в тексті роботи не розкрито порядок отримання значення даного показника.

4. На стор. 83 у формулі (3.16) не наведено вигляд або спосіб отримання функціональної залежності, також не розкрито порядок формування елементів матриць (3.18) та (3.19).

5. Рисунок 3.6 (стор. 93) містить графову структуру системи стаціонарних об'єктів пошуку, однак в тексті роботи не наведено інформації щодо типів систем, для яких даний граф може застосовуватися.

6. Порівняння ефективності методу пошуку динамічного об'єкту необхідно було проводити з більш сучасними методами планування маршрутів польотів.

7. Дискусійним є положення про необхідність застосування продукційних моделей знань для бази знань розробленої інформаційної технології (стор. 109-111).

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки. Зазначені недоліки суттєво не впливають на загальне позитивне враження від роботи, не зменшують її якості, а також наукової та практичної цінності. Вони не є визначальними і можуть бути враховані як напрямки подальших досліджень.

Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи **випадків порушення академічної доброчесності** виявлено не було.

На підставі детального ознайомлення з дисертацією, авторефератом та основними публікаціями вважаю, що кваліфікаційна наукова праця “Методи

та інформаційна технологія автоматизованого планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів”, є оригінальним завершеним дослідженням, яке за змістом та формленням відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженому постановою КМУ № 567 від 24.07.2013 зі змінами, а її автор, Бережний Андрій Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Професор кафедри обчислювальної техніки та програмування
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор

“ 25 ” серпня 2020 р.



Підпис _____
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Заковоротний О.Ю.
20 20 р.