



«НАВІГАЦІЙНО-ПЛОТАЖНИЙ КОМПЛЕКС СУЧАСНОГО БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА»

Волков Олександр Євгенович,
кандидат технічних наук, старший
дослідник,
директор Інституту інформаційних
технологій та систем Національної
академії наук України

Комар Микола Миколайович,
кандидат технічних наук, старший
дослідник,
заступник директора з науково-
організаційної роботи Інституту
інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Волошенюк Дмитро Олександрович,
кандидат технічних наук, старший
дослідник,
завідувач лабораторії Безпілотних
комплексів і систем Інституту
інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України

Інститут інформаційних технологій та систем Національної академії наук України, м. Київ, 2025 рік

Актуальність роботи

Значне розповсюдження в останні роки безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА), а також їх оснащення різними типами сенсорів та потужними бортовими засобами обробки інформації створили необхідні передумови для використання БпЛА у багатьох сферах.

Широкомасштабне військове вторгнення на територію нашої держави продемонструвало, що безпілотна авіація є одним із ключових і найбільш ефективних інструментів ведення бойових дій.

Підтримка проведення військових операцій, особливо на оперативно-тактичному рівні на початковому етапі та на стратегічному рівні в поточний період війни, є прикладом застосування безпілотних авіаційних систем у збройних силах.

Сучасні підходи до побудови систем керування БпЛА, технології застосування БпЛА та ефективні засоби навчання і підготовки спеціалістів безпіотної галузі потребують розроблення нових та розвиток наявних наукових теорій та концепцій для підвищення ефективності безпілотних авіаційних систем військового та цивільного призначення.

Таким чином, розроблення навігаційно-пілотажного комплексу сучасного безпілотного літального апарата є важливою науково-технічною проблемою, спрямованою на вдосконалення якості функціонування БпЛА і забезпечення виконання вимог до систем такого типу.

Мета роботи

Підвищення ефективності застосування та точності керування безпілотними літальними апаратами, особливо військового призначення, шляхом розроблення навігаційно-пілотажного комплексу сучасного безпілотного літального апарата.

Подана на конкурс наукова робота складається з **34** праць, опублікованих з 2018 по 2024 рр. Серед них: **14** статей (4 із них в журналах, включених до категорії "А", **10** статей у наукових виданнях, включених до категорії "Б"), **13** патентів України (із них 6 патентів України на винахід, 7 патентів на корисну модель), **7** авторських свідоцтв.

Завдання роботи

1. Проаналізувати сучасний стан безпілотної авіаційної галузі України військового та цивільного призначення, наявні підходи до створення систем керування та навігації БпЛА, методи підвищення ефективності застосування корисного навантаження БпЛА.
2. Розробити бортову інтелектуалізовану систему керування безпілотного літального апарату.
3. Розробити метод та систему автономної навігації безпілотного літального апарату на основі технологій комп'ютерного зору.
4. Розробити метод та систему інтелектуального керування безпілотним літальним апаратом для моніторингу геопросторових даних.
5. Розробити метод та систему категоризації потоку зображень бортової відеокамери для візуальної локалізації та картографування.
6. Розробити метод обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури.
7. Розробити аеродинамічні моделі безпілотних літальних апаратів для моделювання та експериментальних досліджень різних класів задач.
8. Розробити програмно-апаратний комплекс для моделювання динаміки польоту, навігації та підготовки операторів БпЛА.

Новизна роботи

Вперше розроблено:

- метод інтелектуалізованого керування безпілотним літальним апаратом;
- метод автономного зльоту та посадки безпілотного літального апарату;
- метод автономної навігації безпілотного літального апарату на основі технологій комп'ютерного зору;
- метод інтелектуального керування безпілотним літальним апаратом для покращення якості знімків бортової фото-відеокамери БПЛА;
- метод категоризації потоку зображень бортової відеокамери для візуальної локалізації та картографування;
- метод обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури;
- комплекс аеродинамічних моделей безпілотних літальних апаратів для моделювання та експериментальних досліджень різних класів задач.

Отримали подальший розвиток:

- методи створення програмно-апаратних комплексів для моделювання динаміки польоту, навігації БПЛА та тренування військових операторів безпілотних літальних апаратів.

Результати роботи пройшли випробування та впроваджені у вітчизняному БПЛА Spectator-M1 виробництва ВАТ "Меридіан" ім. С.П. Корольова, який прийнятий на озброєння Сил Оборони України.

Масштаби реалізації роботи

Результати наукової роботи були отримані в рамках виконання міжнародного та вітчизняних (Державне замовлення на науково-технічні (експериментальні) розробки та науково-технічну продукцію у 2021-2022 роках: «Розроблення навігаційно-пілотажного комплексу безпілотного літального апарата подвійного призначення» № 0122U002157; «Розроблення багатоцільового комплексу інтелектуального керування автономними бойовими машинами» № 0122U000818; «Розробка методу, алгоритму та прикладної програми вирішення завдання одночасної локалізації та картографування із застосуванням літального апарату». № 0119U001521) науково-дослідних проєктів.

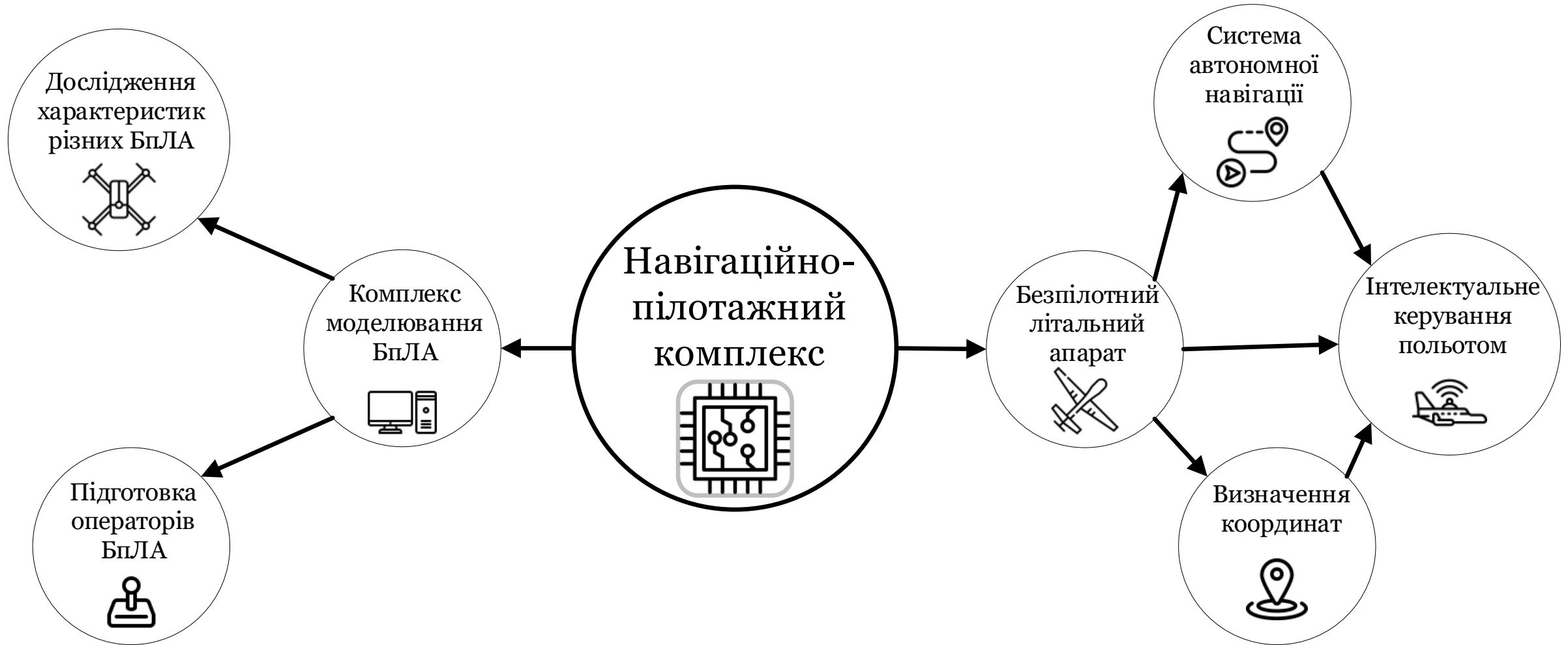
Результати роботи носять вагомий прикладний характер, пройшли випробування та впроваджені у вітчизняному безпілотному авіаційному комплексі.

Також результати застосовуються при підготовці зовнішніх пілотів (операторів) БпЛА у центрі підготовки операторів-пілотів, який сертифікований в рамках проєкту "Армія дронів" Міністерства цифрової трансформації України.

Результати роботи були використані для підготовки аспіратів спеціальності 122 - «Комп'ютерні науки».

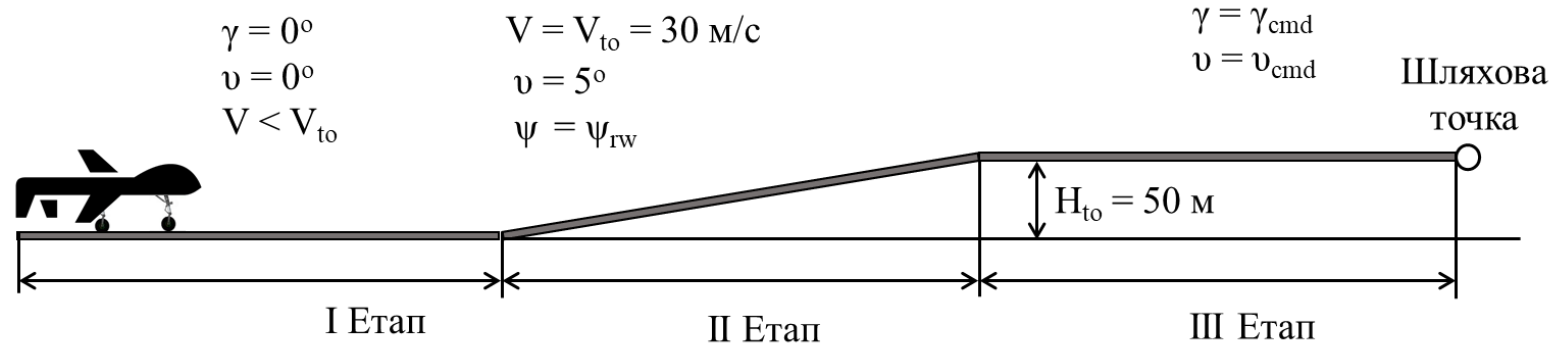
Отримані науково-практичні результати сприяють подальшому розвитку науки, суспільному прогресу і утверджують високий авторитет вітчизняної науки у світі. Робота стосується галузі науки і техніки та становить значний внесок у зміцнення безпеки та оборони країни, сприяє відбудові економіки у воєнний і повоєнний періоди.

Схема взаємодії навігаційно-пілотажного комплексу



Метод автономного зльоту та посадки БпЛА

Метод автономного зльоту БпЛА літакового типу умовно поділяє процес зльоту на три етапи:



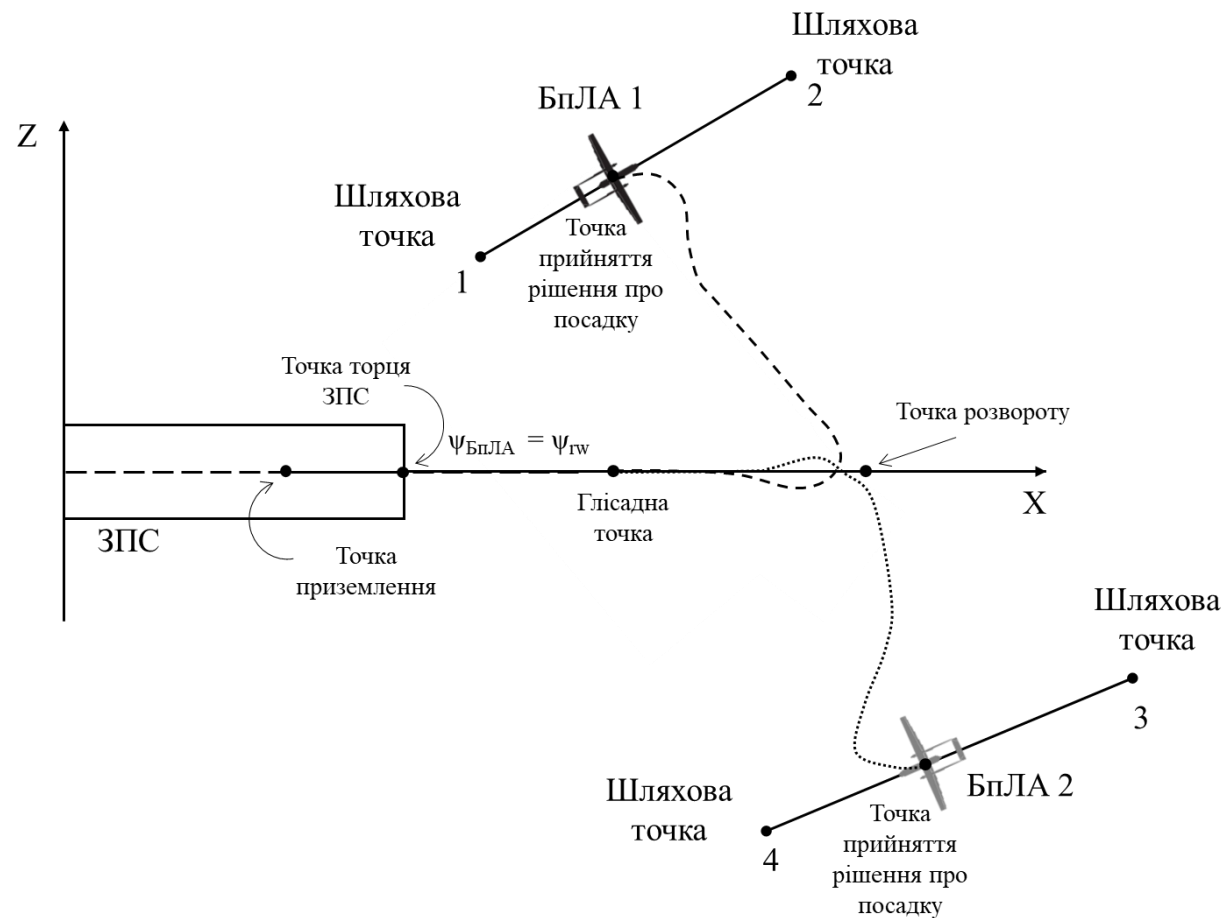
I етап – тривалість етапу від початку розбігу по злітно-посадковій смузі (ЗПС) до набору швидкості відривання.

II етап – початок етапу настає за досягнення БпЛА швидкості відриву $V_{to} = 30 \text{ м/с}$. БпЛА відривається від ЗПС.

III етап – після досягнення висоти зльоту БпЛА виконує маршрут по шляховим точкам.

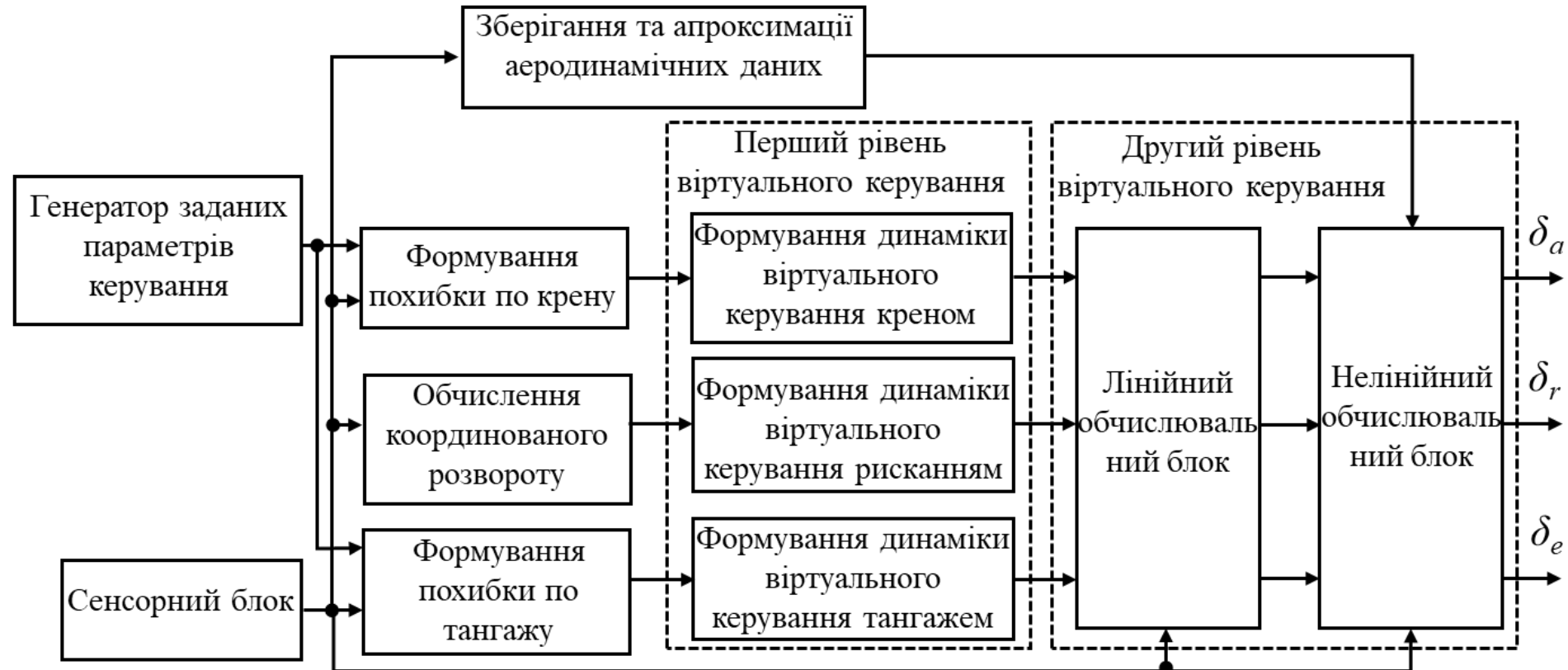
Метод автономного зльоту та посадки БПЛА

Розроблений метод посадки БПЛА призначено для виконання посадки БПЛА в автоматичному режимі під час подавання у систему керування команди заходу на посадку у будь-який час та на будь-якому проміжку траєкторії польоту.

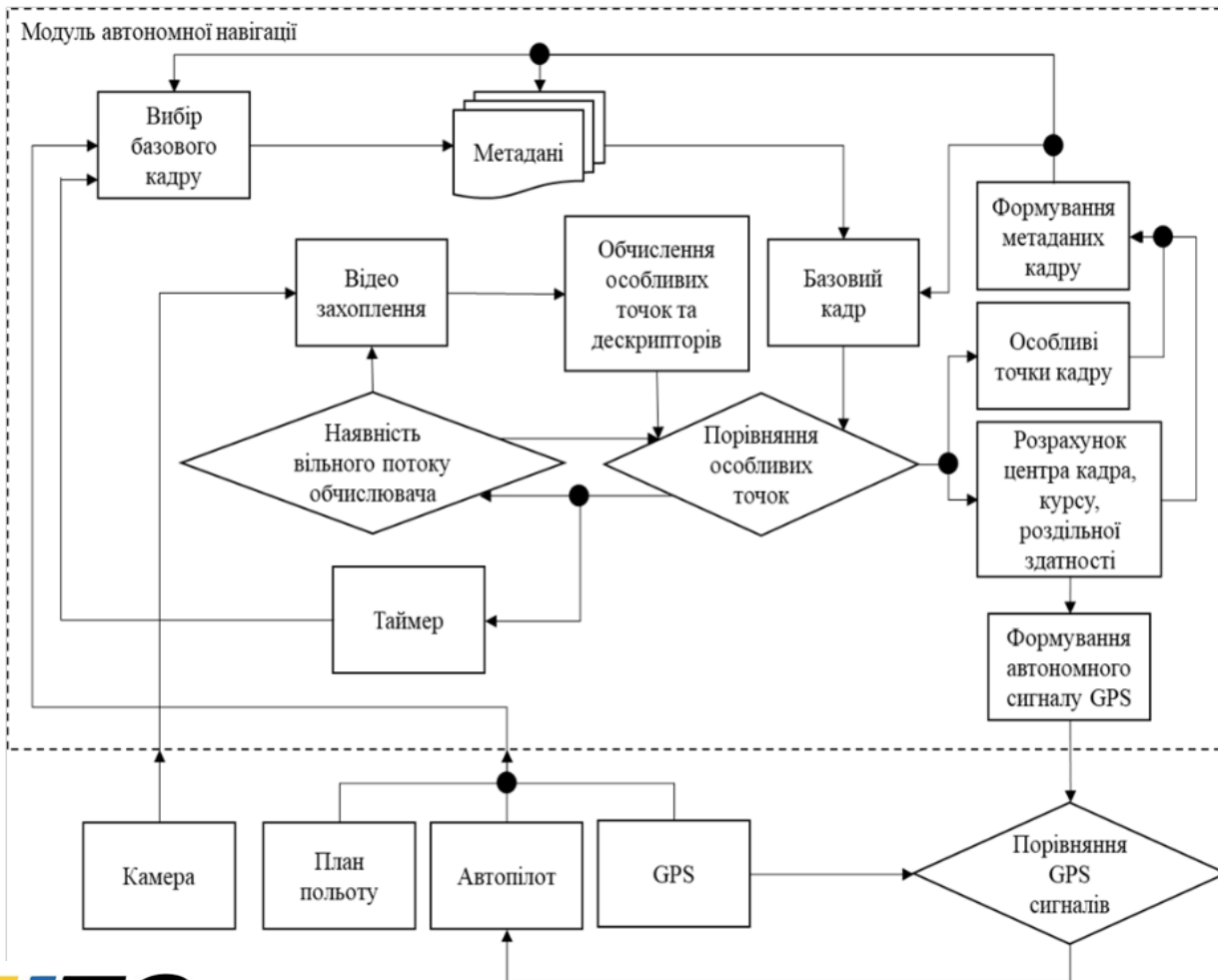


Інтегрально-адаптивний автопілот безпілотного літального апарату

Авторами пропонується новий метод інтелектуалізації БПЛА та застосування розроблених на його основі алгоритмів для створення інтегрально-адаптивного автопілоту.



СИСТЕМА АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ З ПРИВ'ЯЗКОЮ ДО МІСЦЕВОСТІ

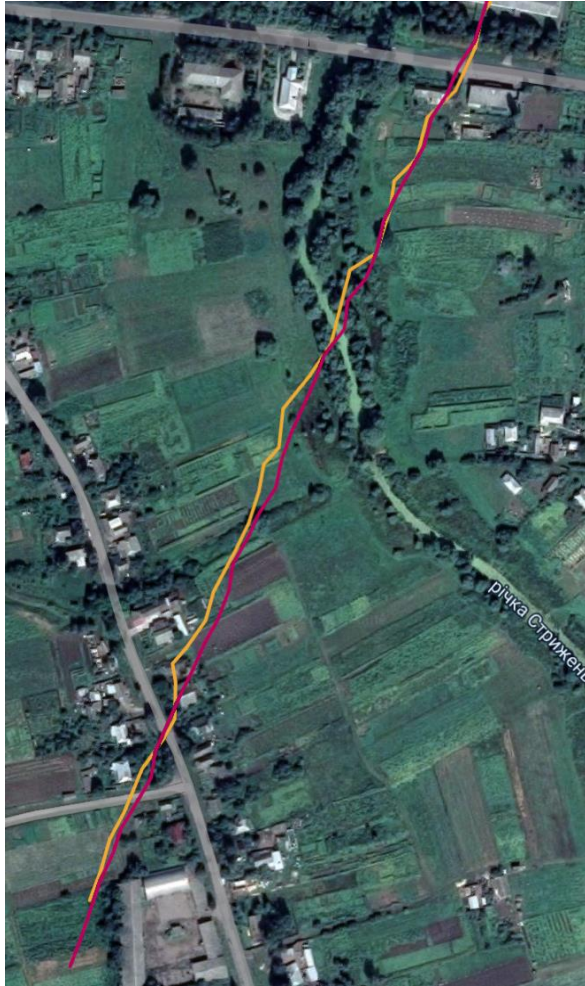


Авторами розроблено систему автономної навігації БпЛА за умов радіоелектронної боротьби. Система автономної навігації БпЛА на основі візуальних зображень забезпечує можливість виконання польоту БпЛА в умовах відсутності або спотворенні сигналів глобальної навігаційної супутникової системи.

Були проведені комп'ютерні моделювання та льотні випробування запропонованої системи.

ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ

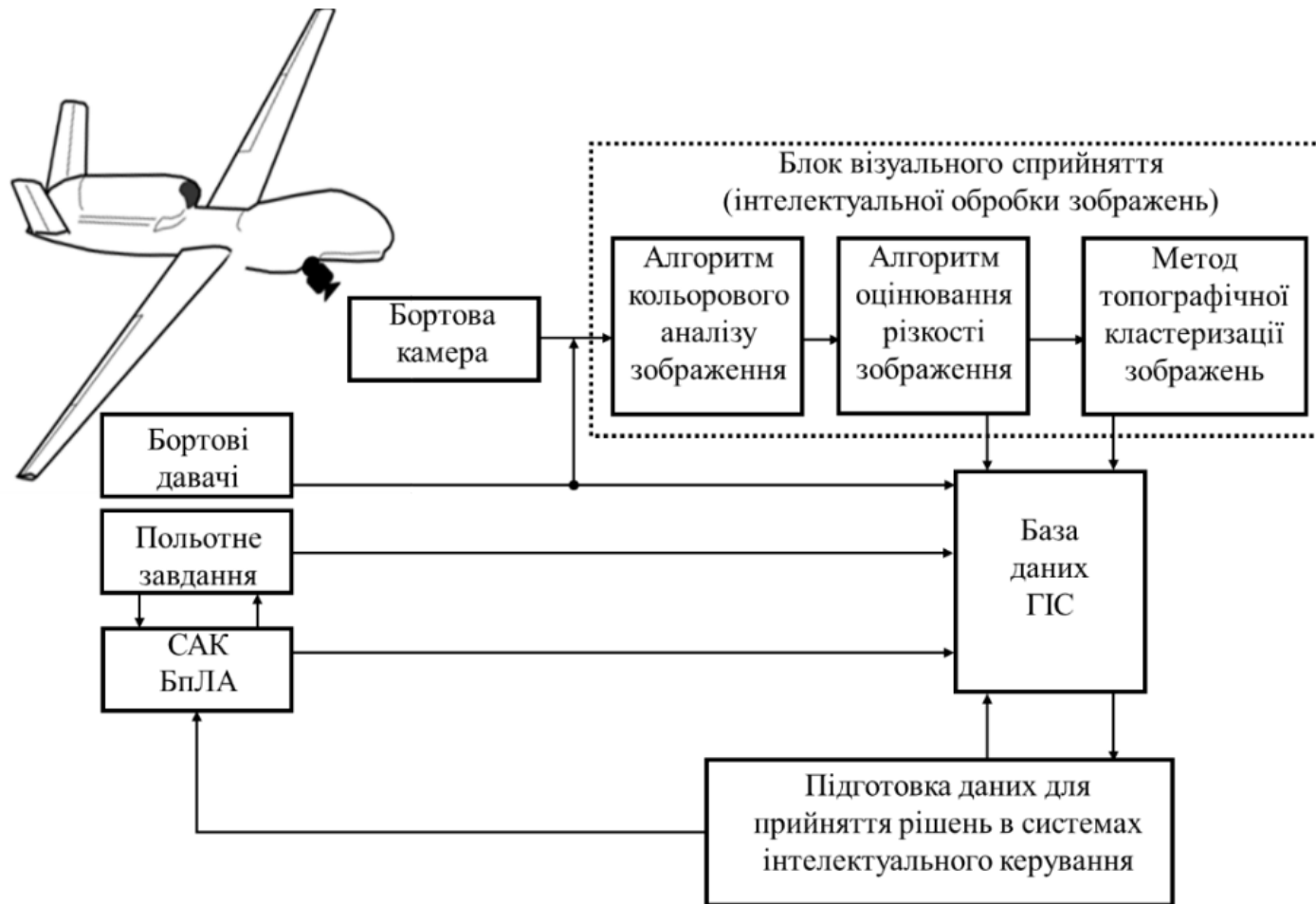
Досягається точність системи на рівні супутникових систем навігації



Політ БПЛА за даними GPS і системи автономної навігації: червона лінія – маршрут БПЛА за даними GPS; жовта лінія – маршрут БПЛА за даними ПЗ алгоритмів автономної навігації

Волков О.Є., Комар М.М., Волошенюк Д.О., м. Київ, 2025 рік

ЗАСТОСУВАННЯ НАВІГАЦІЙНО-ПІЛОТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ



1. Метод та система зменшення впливу вітрових збурень на траєкторію безпілотного літального апарату

Відрізняється тим, що застосовує формалізовані інтелектуальні знання експертів з аеродинаміки та експериментальних досліджень конструкції БпЛА для формування істотно нелінійних аеродинамічних моделей й використання їх в процесі генерації команд просторової компенсації вітрових збурень, що дає змогу визначати критичні параметри руху безпілотних літальних апаратів, здійснювати за цими параметрами просторову компенсацію впливу вітрових збурень.

ЗАСТОСУВАННЯ НАВІГАЦІЙНО-ПІЛОТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2. Метод та система категоризації потоку зображень бортової відеокамери для візуальної локалізації та картографування

З відеопотоку виділяються якісні зображення, які відповідають критеріям кольорової селекції і селекції по різкості. Отримані зображення характеризуються як якісні і використовуються для подальшої обробки, тобто, якщо зображення пройшло кольорову селекцію і селекцію по різкості.



а)

б)

Результат роботи методу:

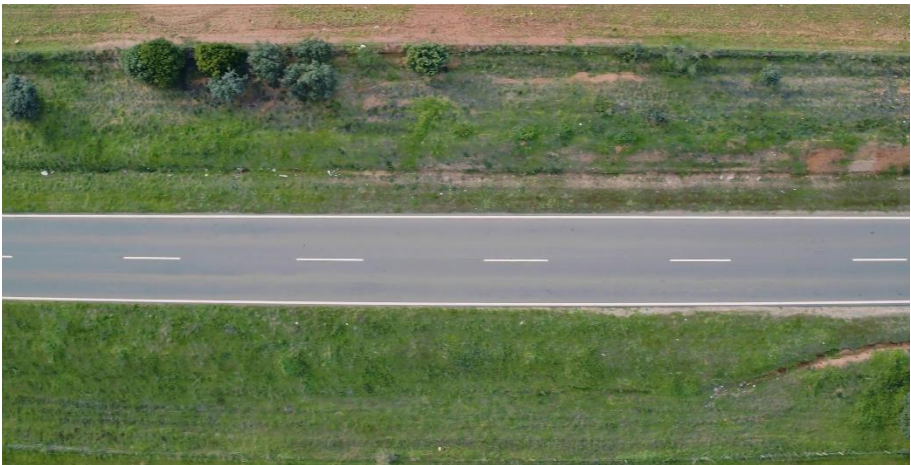
а) відібране якісне зображення;

б) відфільтроване неякісне зображення.

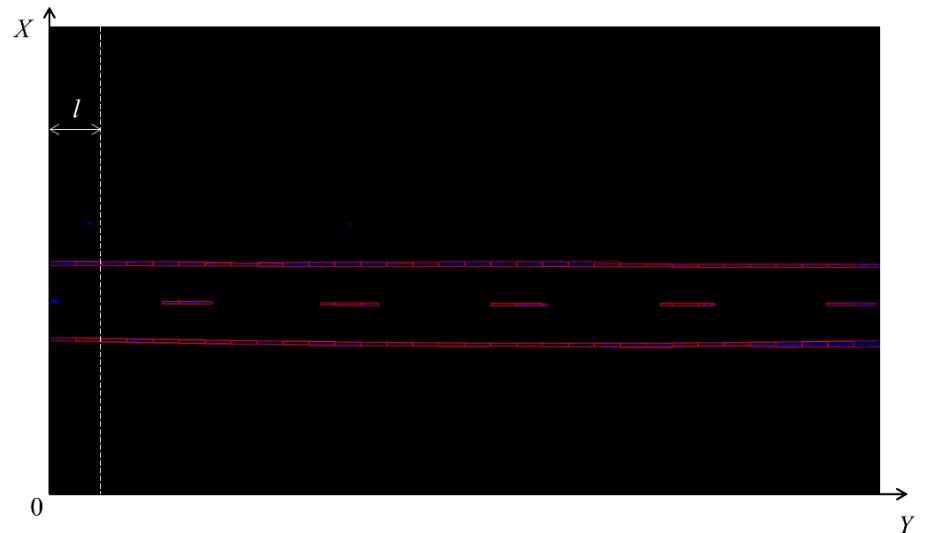
ЗАСТОСУВАННЯ НАВІГАЦІЙНО-ПІЛОТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

3. Метод обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури

Претендентами було розроблено метод виокремлення границь кластеру точок із застосуванням гістограм для усунення недоліків відомих методів та якісного і змістовного виокремлення границь об'єктів інтересу. Отримані дані можуть бути в подальшому використані для кількісного та якісного опису об'єкту інтересу.

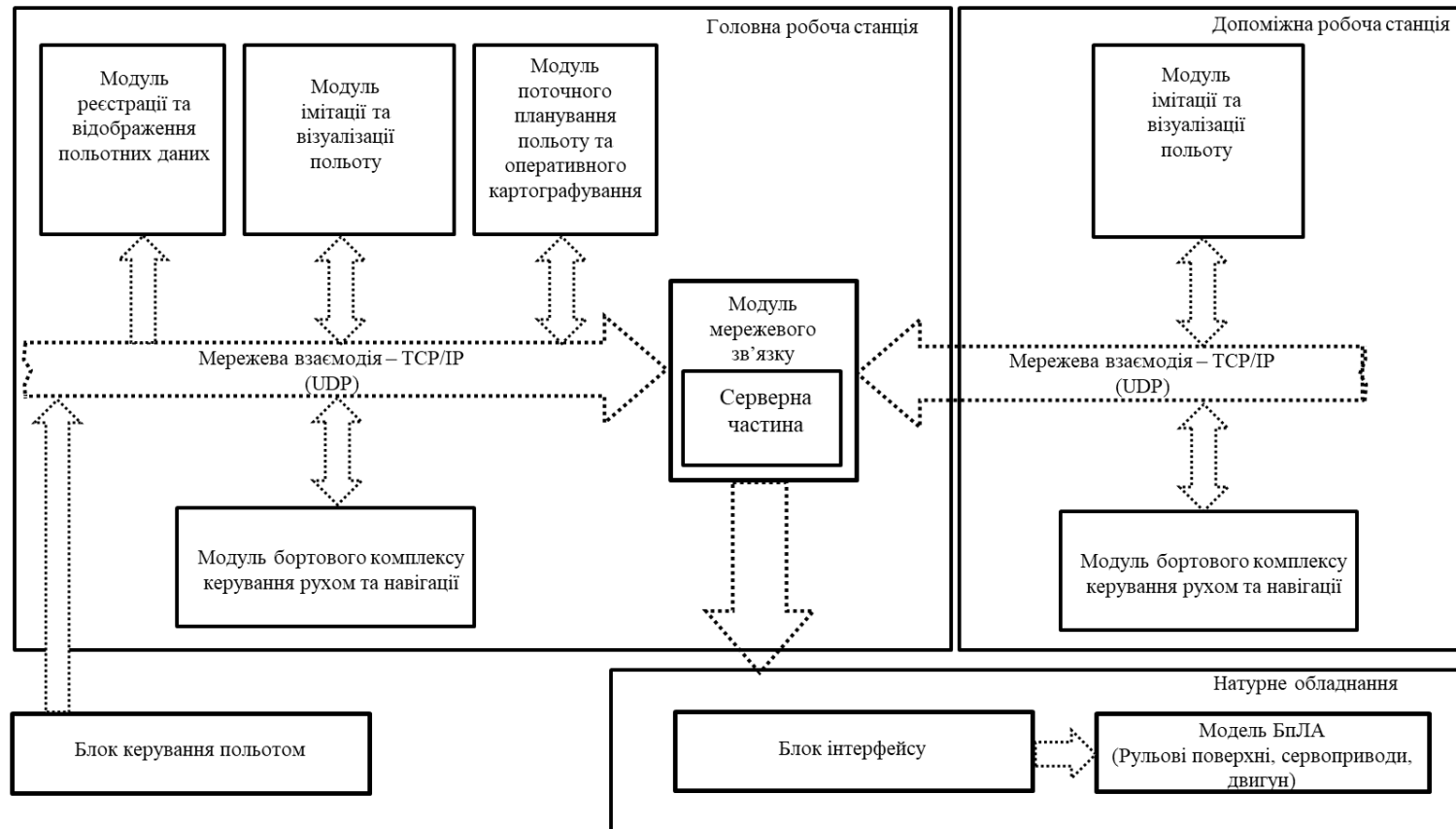


Вихідне зображення, отримане з борту БпЛА



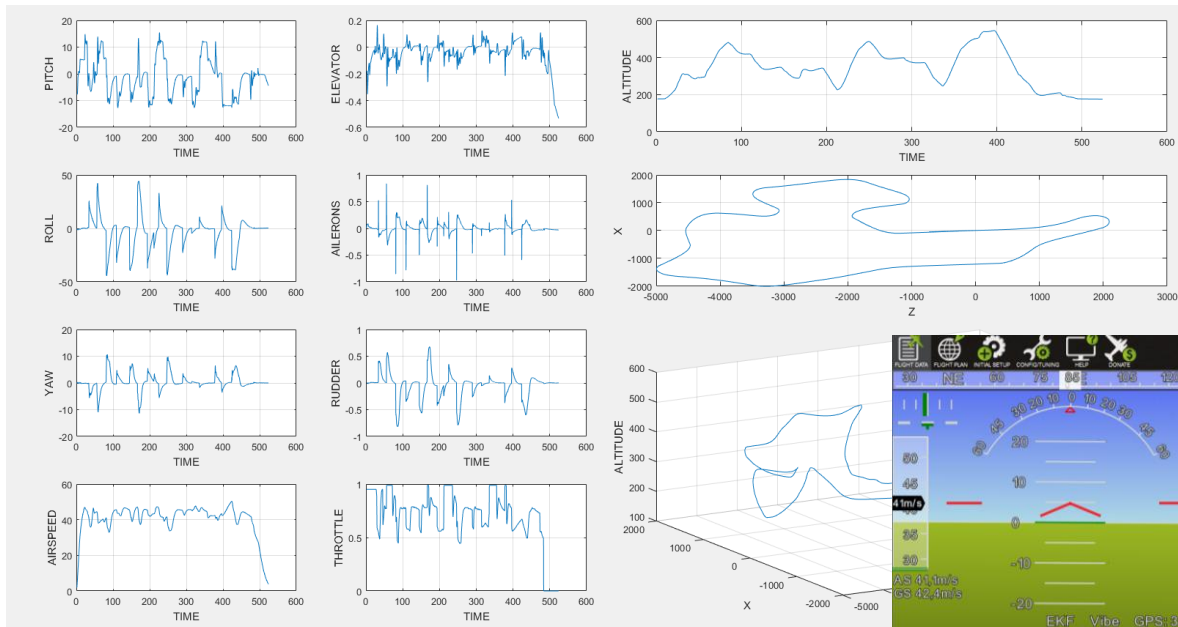
Виокремлення границь об'єктів для сегментів ліній

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПОЛЬОТУ ТА НАВІГАЦІЇ БпЛА

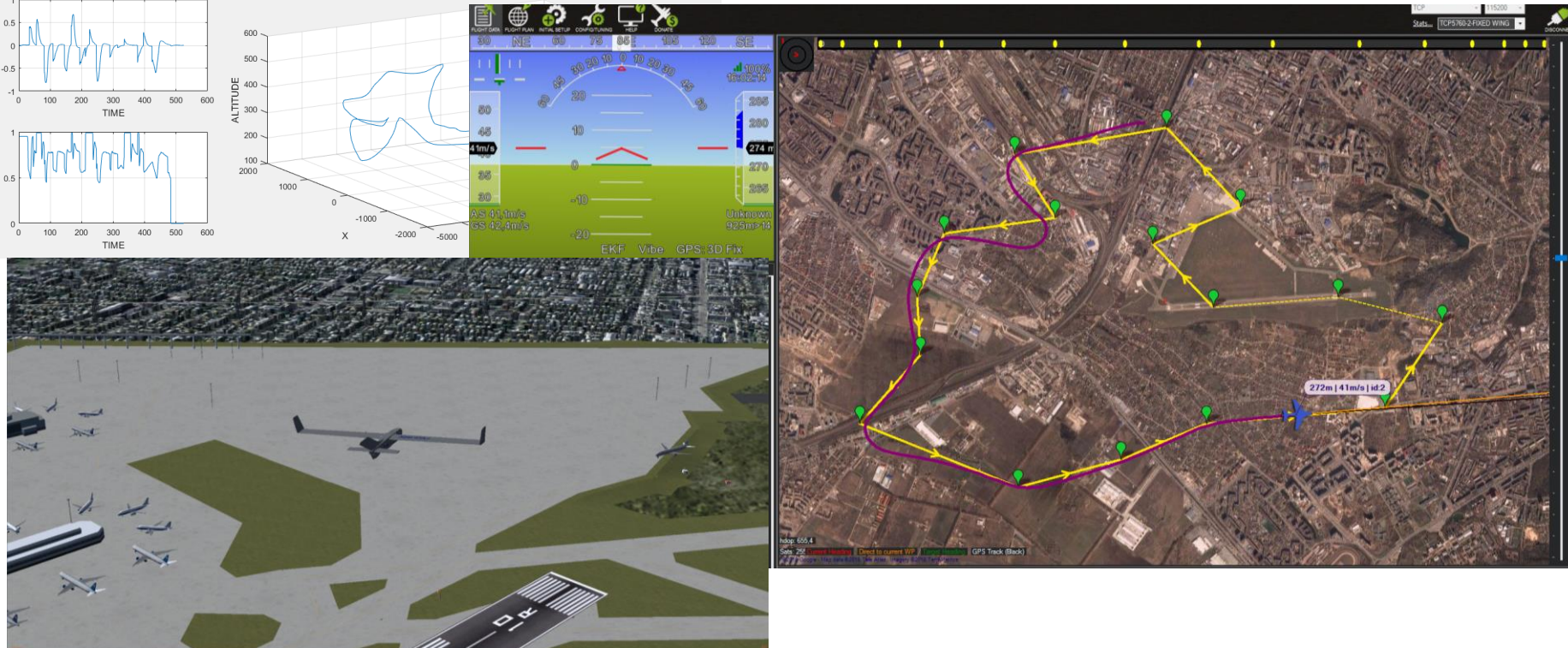


Структурна організація програмної та апаратної частини комплексу

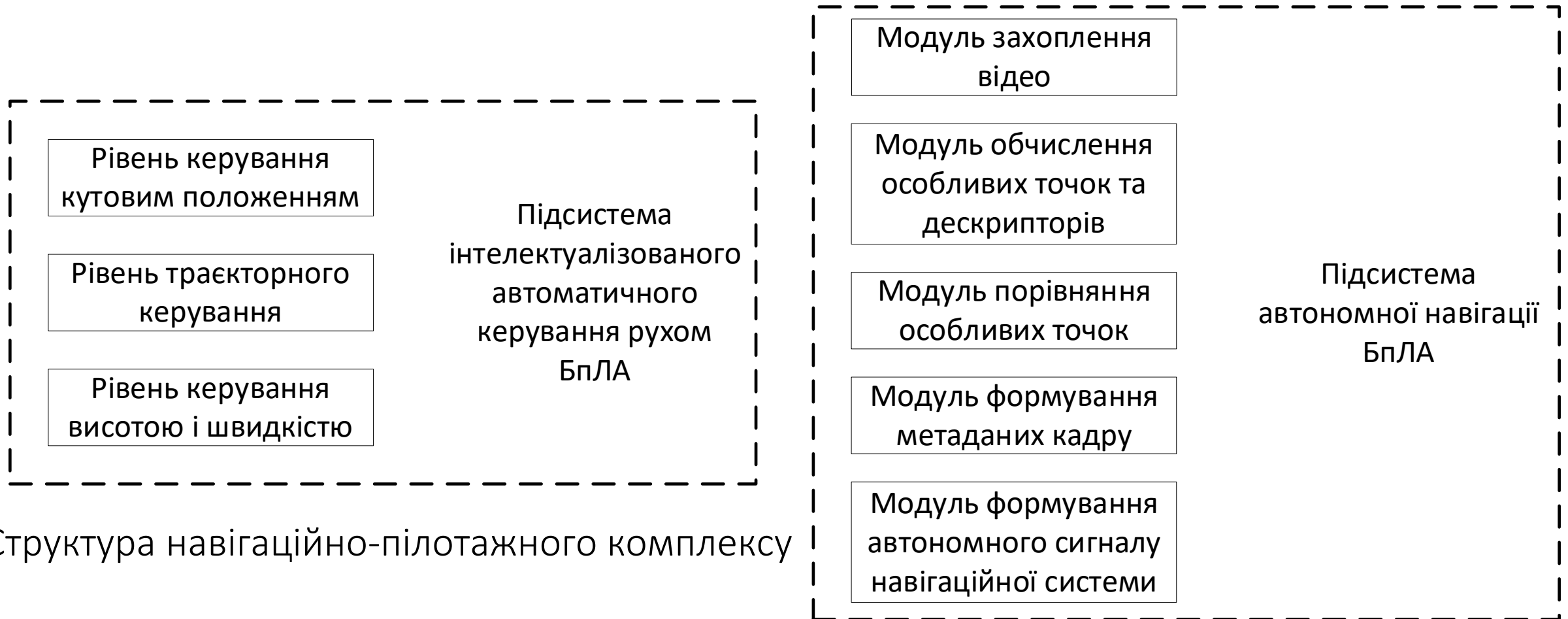
ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПОЛЬОТУ ТА НАВІГАЦІЇ БПЛА



Моделювання на розробленому програмно-апаратному комплексі польоту БПЛА по заданому маршруту в автоматичному режимі

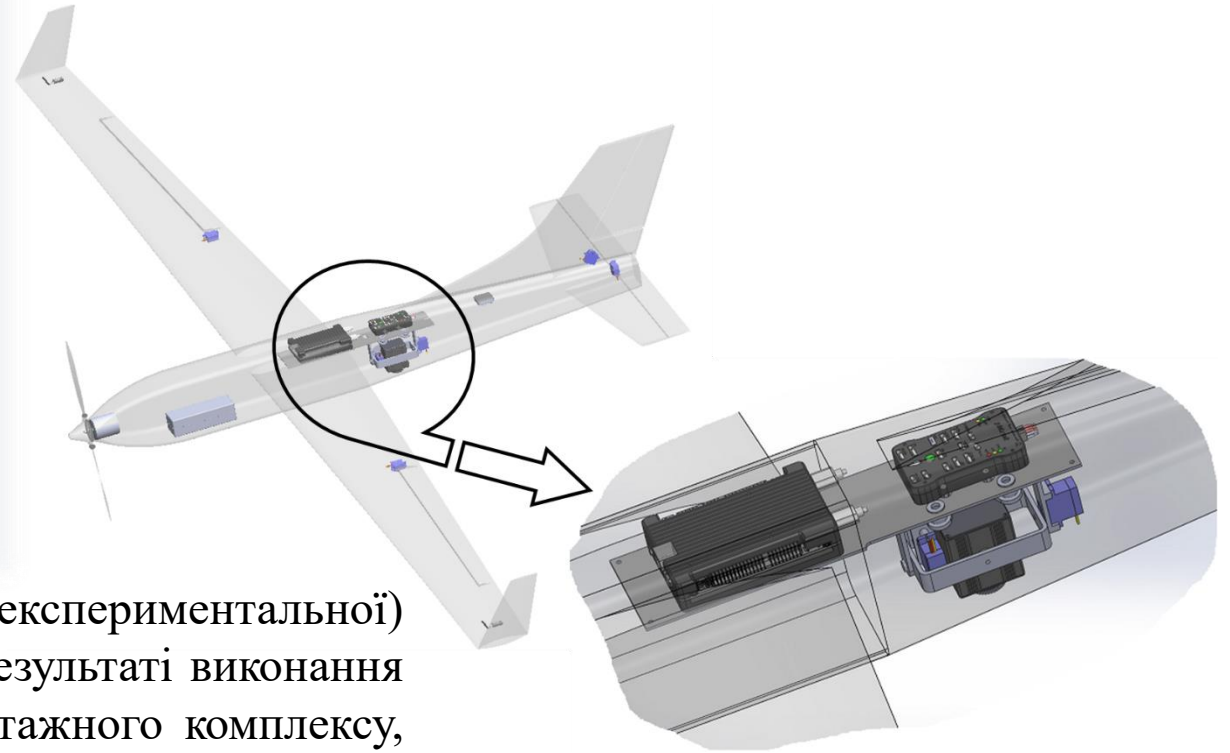
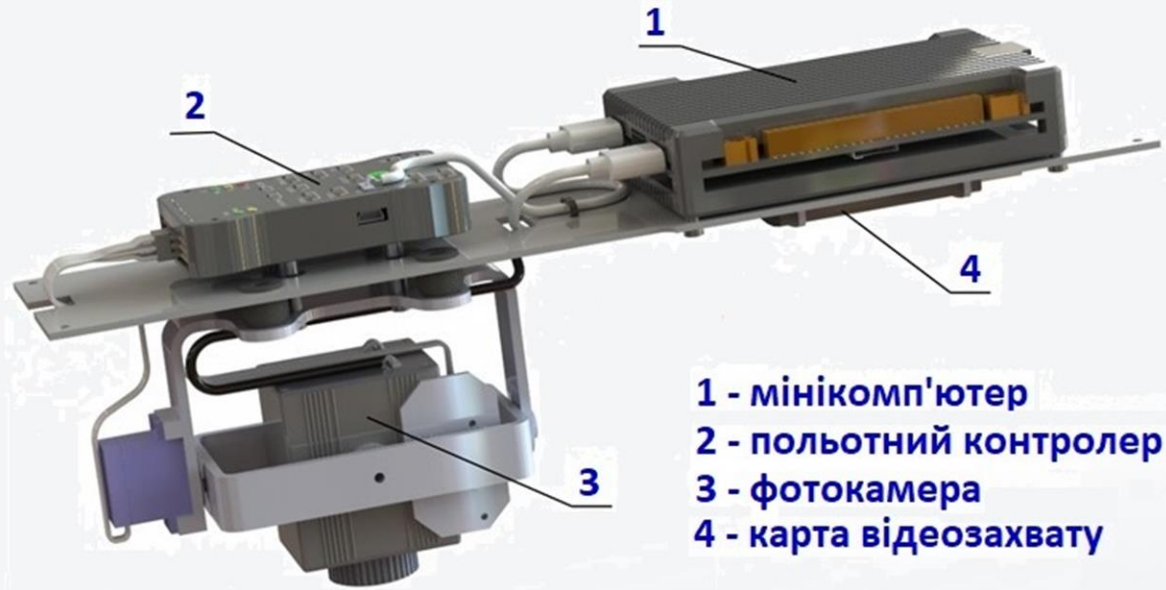


НАВІГАЦІЙНО-ПІЛОТАЖНИЙ КОМПЛЕКС СУЧАСНОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА: РЕАЛІЗАЦІЯ, ВИПРОБУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ



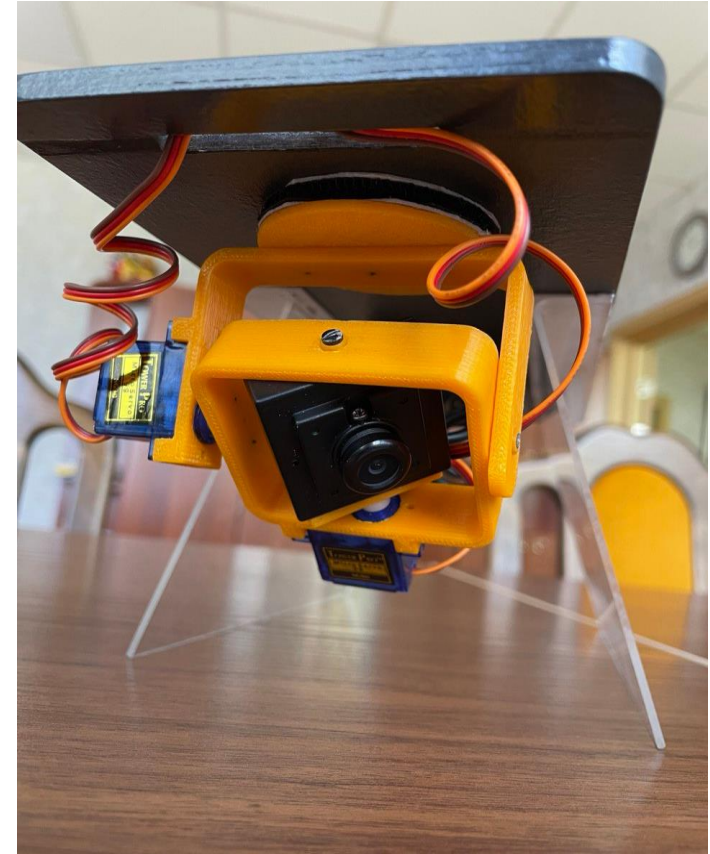
Структура навігаційно-пілотажного комплексу

НАВІГАЦІЙНО-ПІЛОТАЖНИЙ КОМПЛЕКС СУЧАСНОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА: РЕАЛІЗАЦІЯ, ВИПРОБУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ



Претенденти були виконавцями науково-технічної (експериментальної) розробки за державним замовленням у 2021-2022 рр. В результаті виконання роботи було створено дослідний зразок навігаційно-пілотажного комплексу, проведено його лабораторно-стендові та польові (льотні) випробування, розроблено конструкторську та експлуатаційну документацію.

Дослідний зразок навігаційно-пілотажного комплексу



Нагороди претендентів

За період з 2021 р. по теперішній час колективу претендентів присуджено такі нагороди за вагомий внесок в розвиток науки, обороноздатності та національної безпеки України:

- Почесний нагрудний знак Головнокомандувача Збройних Сил України «За заслуги перед Збройними Силами України»;
- Почесна відзнака Державного концерну «Укроборонпром» «За вагомий внесок у розвиток оборонної промисловості України»;
- Грамота Верховної Ради України «За заслуги перед Українським народом»;
- Подяка Державної прикордонної служби України «За якісну та результативну взаємодію з Державною прикордонною службою України в питаннях охорони державного кордону, активне сприяння у забезпеченні недоторканості кордонів України»;
- Відзнака Ради національної безпеки і оборони України III ступеня;
- Відзнака Міністерства оборони України «За зміцнення обороноздатності»;
- Пам'ятний нагрудний знак Командувача Повітряних сил Збройних Сил України «За сприяння Повітряним Силам ЗС України»;
- Медаль Державної прикордонної служби України «За сприяння в охороні державного кордону України»;
- Пам'ятний нагрудний знак Командувача Повітряних сил Збройних Сил України «Майстерність, Честь, Відвага»;
- Пам'ятний нагрудний знак Командувача Повітряних сил Збройних Сил України «За сумлінну працю»;
- Нагрудний знак «За сприяння обороні Києва»;
- Грамота Служби безпеки України «За вагомий внесок у справу забезпечення державної безпеки України»;
- Грамота Командування Сил спеціальних операцій Збройних Сил України «За значний особистий внесок у справу розбудови і розвитку Збройних Сил України, зміцнення співробітництва у військовій сфері»;
- Медаль «За працю і звитягу» Указ Президента України № 338;
- Медаль «За гідність та патріотизм»;
- Грамота Командувача Сухопутних військ Збройних Сил України «За вагомий особистий внесок щодо надання допомоги, зокрема під час здійснення заходів забезпечення оборони України, захисту безпеки інтересів держави у зв'язку зі збройною військовою агресією російської федерації проти України»;
- Відзнака Міністра оборони України (Наказ № 1756 від 21.10.2024) «За сприяння обороні».

ВИСНОВКИ

Сукупність теоретичних та прикладних наукових положень, сформульованих та обґрунтованих в науковій роботі, складає вирішення науково-технічної проблеми, яка полягала в необхідності розроблення та впровадження навігаційно-пілотажного комплексу сучасного безпілотного літального апарата. У роботі отримані такі теоретичні та практичні результати.

В результаті роботи розроблено нові пристрої та технології, які мають новизну та за технічними параметрами відповідають світовому рівню або перевищують його, що підтверджується патентами на винахід. Результати стосуються питання підвищення обороноздатності та безпеки держави та розвитку галузі безпілотної авіації України. Впровадження результатів у практику (ВАТ «Меридіан» ім. С.П. Корольова, АТ «Антонов») суттєво впливає на вирішення соціально-економічних проблем та питань національної безпеки і оборони.

Отримані науково-практичні результати сприяють подальшому розвитку науки, суспільному прогресу і утверджують високий авторитет вітчизняної науки у світі. Робота стосується галузі науки і техніки та становить значний внесок у зміцнення безпеки та оборони країни, сприяє відбудові економіки у воєнний і повоєнний періоди.

ВИСНОВКИ

У роботі отримані такі теоретичні та практичні результати:

1. Вперше розроблено метод інтелектуалізованого керування безпілотним літальним апаратом, який відрізняється від відомих тим, що дає змогу компенсувати перехресні зв'язки та взаємний вплив між каналами керування, що забезпечує інваріантність генерованих команд керування, навіть у разі глибокого маневрування БпЛА. Окрім того, розроблений метод дає змогу досягти підвищення якості і стійкості керування при реалізації складних просторових траєкторій польоту з великими змінами висоти та швидкості польоту за наявності істотно криволінійних ділянок маневрування у вертикальній і горизонтальній площині. Використання розробленого методу забезпечує точність і сталість процесу керування рухом БпЛА та забезпечує інваріантність до зовнішніх збурень завдяки компенсаційним зв'язкам і швидкому відгуку системи на наявні збурення, що в свою чергу підвищує якість керування рухом БпЛА.
2. Вперше розроблено метод автономного зльоту та посадки безпілотного літального апарату, який відрізняється тим, що усуває недоліки традиційних методів керування посадкою, такі, як низька точність їх роботи в умовах польоту в збуреній атмосфері. Критеріями керування в цьому методі є мінімум відхилення повної енергії руху безпілотного літального апарату від опорного значення, заданого віртуальною глісадою і мінімізація дисбалансу між кінетичною і потенційною складовими повної енергії. Метод не потребує складних маневрів для посадки безпілотного літального апарату, а також дає змогу значно підвищити автономність виконання посадки з широкого діапазону початкових умов, так як не потребує обов'язкової прив'язки до наземної інфраструктури аеродромів. Також суттєво розширює допустимі умови виконання штатних та нештатних посадок безпілотних літальних апаратів, що, в свою чергу, збільшує гнучкість, ефективність і оперативність їх застосування.
3. Вперше розроблено метод автономної навігації безпілотного літального апарату на основі технологій комп'ютерного зору, який засновано на топографічній кластеризації послідовності візуальних зображень та виявленні характерних ознак оточуючого середовища, що має змогу отримувати метадані для візуального зображення (особливі точки, дескриптори, роздільна здатність, орієнтація зображення, координати центру зображення), який відрізняється тим, що зменшує накопичення похибки визначення координат БпЛА при довготривалому польоті над полями, або водною поверхнею, тобто при відсутності на зображеннях характерних інваріантних фрагментів завдяки крос-кореляційній кластеризації віртуальних особливих точок, що робить його ефективним у складних умовах польоту БпЛА.
4. Вперше розроблено метод інтелектуального керування безпілотним літальним апаратом для покращення якості знімків бортової фото-відеокамери БпЛА, який відрізняється тим, що застосовує формалізовані інтелектуальні знання експертів з аеродинаміки та експериментальних досліджень конструкції БпЛА для формування істотно нелінійних аеродинамічних моделей й використання їх в процесі генерації команд просторової компенсації вітрових збурень, що дає змогу визначати критичні параметри руху безпілотних літальних апаратів, здійснювати за цими параметрами просторову компенсацію впливу вітрових збурень як у вертикальній так і у горизонтальній площині та забезпечувати покращення якості потоку даних бортової відеокамери.

ВИСНОВКИ

У роботі отримані такі теоретичні та практичні результати:

5. Вперше розроблено метод категоризації потоку зображень бортової відеокамери для візуальної локалізації та картографування, який відрізняється тим, що дає змогу одночасно та в масштабі реального часу проводити аналіз та селекцію послідовності зображень, отриманих в результаті розкадрування відеоряду, знятого за допомогою відеокамери, розташованої на борту БпЛА. Метод дає змогу усунути зображення низької якості, отримані внаслідок дії вітрових збурень та успішно вирішувати проблеми, значною мірою подібні до тих, з якими може стикатися людина-експерт при вирішенні інтелектуальних завдань обробки та фільтрації відеоінформації.
6. Вперше розроблено метод обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури, який відрізняється тим, що містить оперативний інструмент попередньої обробки зображень – комбінований фільтр. Розроблений метод усуває недоліки відомих методів при визначенні меж розташування об'єкта інтересу, шляхом виокремлення контурів кластеру точок із застосуванням гістограм. Розроблений метод дає змогу скоротити час попередньої обробки зображення, приблизно на 50% у порівнянні із застосуванням відомих методів бібліотек комп'ютерного зору на системах однакової конфігурації, навіть при роботі із зображенням більшої роздільної здатності. Це в сукупності дає приріст у 15% швидкодії у порівнянні із застосуванням відомих методів попередньої фільтрації та обробки зображень.
7. Вперше розроблено комплекс аеродинамічних моделей безпілотних літальних апаратів для моделювання та експериментальних досліджень різних класів задач, які на відміну від існуючих місять коефіцієнтів аеродинамічних сил і моментів для БпЛА різних класів (I-III по класифікації НАТО) та характеристики силової установки гвинтових двигунів БпЛА, такі, як сила тяги, необхідна потужність для обертання гвинта, поступу повітряного гвинта (дійсна відстань, на яку гвинт, що рухається поступально, просувається в середовищі за один свій повний оборот), коефіцієнт корисної дії повітряного гвинта, залежність тяги двигуна від висоти польоту і числа M (для реактивних двигунів). Розроблені моделі БпЛА з різними аеродинамічними характеристиками дають змогу створювати інтелектуальної технології та системи керування для БпЛА.
8. Отримали подальший розвиток методи створення програмно-апаратних комплексів для моделювання динаміки польоту, навігації БпЛА та тренування військових операторів безпілотних літальних апаратів, що дає змогу проведення досліджень щодо визначення найбільш ефективних шляхів проєктування систем керування БпЛА та виконувати підготовку фахівців безпілотної авіації із одночасним використанням інтерактивних форм навчання, віртуального інформаційного середовища та відповідно до вимог, які зазначені у базових кваліфікаційних рівнях Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України, які затверджені Наказом Міністерства оборони №661.

ПАТЕНТИ НА ВІНАХІД

