

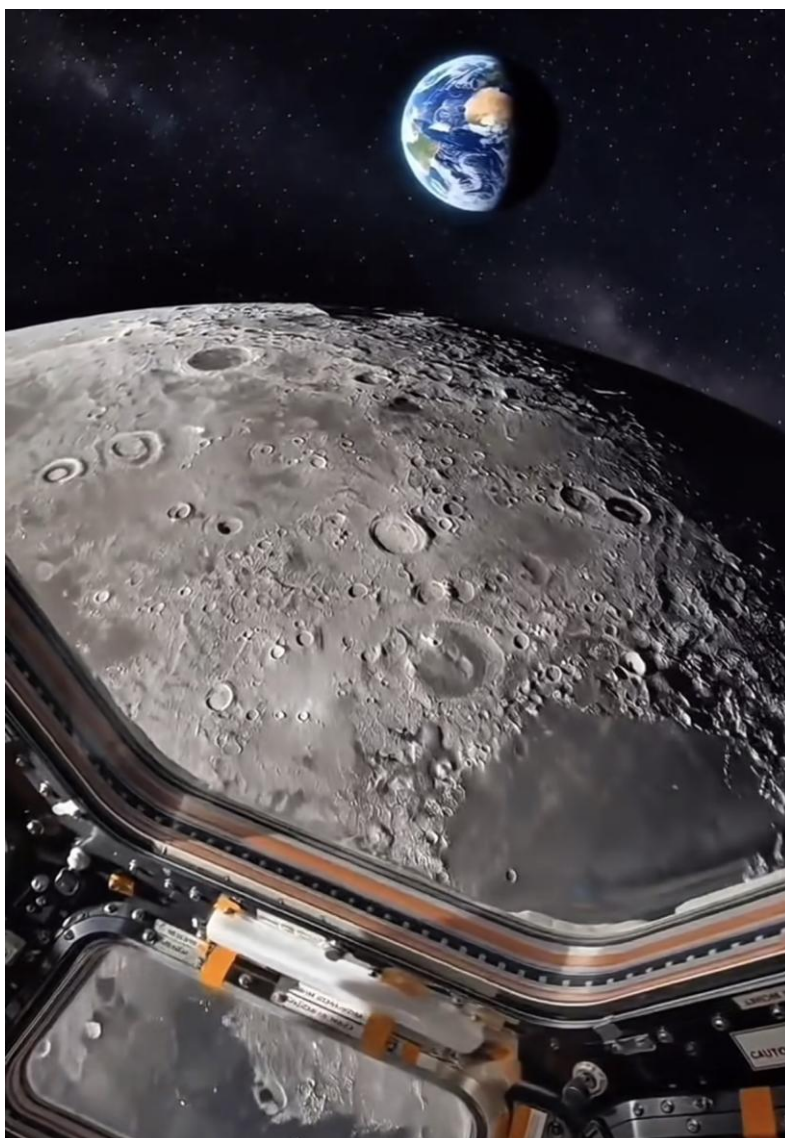


ПРИСВЯЧЕНО

75-річчю
Української
державної льотної
академії,
Міжнародному дню
авіації і
космонавтики та
Дню працівників
ракетно-космічної
галузі України
8 квітня 2026 року
Кропивницький

МАТЕРІАЛИ

XLIII Всеукраїнської науково-практичної
конференції молодих учених, здобувачів вищої освіти
«АВІАЦІЯ ТА КОСМОНАВТИКА: НАПРЯМИ
ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ»



DEDICATED TO
The 75th anniversary
of the Ukrainian
State Flight
Academy, the
International Day of
Aviation and
Cosmonautics, and
the Day of Rocket
and Space Industry
Workers of Ukraine
8 April 2026
Kropyvnytskyi

PROCEEDINGS

of the XLIII All-Ukrainian Scientific and
Practical Conference of Early-Career Researchers,
PhD and University Students
“AVIATION AND COSMONAUTICS:
DIRECTIONS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT”

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ**



МАТЕРІАЛИ

**XLIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих
учених, здобувачів вищої освіти**

**«АВІАЦІЯ ТА КОСМОНАВТИКА: НАПРЯМИ
ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ»**

*(присвяченої 75-річчю Української державної льотної академії, Міжнародному
дню авіації і космонавтики та Дню працівників ракетно-космічної галузі України)*

8 квітня 2026 року

Кропивницький

2026

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE FLIGHT ACADEMY



PROCEEDINGS

**of the XLIII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of
Early-Career Researchers, PhD and University Students**

**“AVIATION AND COSMONAUTICS: DIRECTIONS OF
INNOVATIVE DEVELOPMENT”**

*(Dedicated to the 75th anniversary of the Ukrainian State Flight Academy, the
International Day of Aviation and Cosmonautics, and the Day of Rocket and Space
Industry Workers of Ukraine)*

8 April 2026

Kropyvnytskyi

2026

УДК: 656.7

A20

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19650422>

Рекомендовано до друку рішенням Методичної ради
Української державної льотної академії

(протокол № 8 від 15 квітня 2026 року)

A20 АВІАЦІЯ ТА КОСМОНАВТИКА: НАПРЯМИ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ: Збірник матеріалів XLIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та здобувачів вищої освіти (Кропивницький, 8 квітня 2026 р.), присвяченої 75-річчю Української державної льотної академії, Міжнародному дню авіації і космонавтики та Дню працівників ракетно-космічної галузі України. Кропивницький: УДЛА, 2026. 491 с.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ УДЛА

Голова редакційної колегії: Подопрігора Наталія Володимирівна – д.пед.н., проф., в.о. проректора з наукової роботи та міжнародної діяльності.

Члени редакційної колегії:

Невиніцин Андрій Миколайович – к.т.н., доц., в.о. декана факультету льотної експлуатації;

Неділько Сергій Миколайович – д.т.н., проф., в.о. завідувача кафедри льотної експлуатації та безпеки польотів;

Пальоний Андрій Сергійович – к.т.н., доц., в.о. завідувача кафедри аеронавігації, метеорології та організації повітряного руху;

Панченко Володимир Анатолійович – д.е.н., д.н. з держ.упр., проф., завідувач кафедри менеджменту авіаційної діяльності;

Письменна Марія Сергіївна – д.е.н., проф., в.о. декана факультету авіаційного менеджменту;

Півень Вікторія Василівна – к.пед.н., доц., завідувач кафедри професійної та авіаційної мовної підготовки;

Романько Ірина Іванівна – к.і.н., доц., доцент кафедри педагогіки вищої школи та соціально-гуманітарних дисциплін;

Сахненко Яна Сергіївна – к.пед.н., доц., завідувач кафедри пошуку, рятування та спеціальної фізичної підготовки;

Сікірда Юлія Володимирівна – к.т.н., проф., завідувач кафедри конструкції повітряних суден, авіаційних двигунів та підтримання льотної придатності;

Супрун Володимир Миколайович – к.ю.н., доц., в.о. завідувача кафедри права та правового забезпечення авіаційної діяльності;

Суркова Катерина Вікторівна – к.пед.н., доц., завідувач кафедри інформаційних технологій та авіаційних робототехнічних систем.

Відповідальний секретар: Черноглазова Ганна Віталіївна – к.пед.н., начальник відділу міжнародних зв'язків.

Збірник містить матеріали доповідей учасників XLIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та здобувачів вищої освіти (Кропивницький, 8 квітня 2026 р.), присвяченої 75-річчю від дня заснування Української державної льотної академії.

У матеріалах висвітлено результати сучасних наукових досліджень за напрямками інноваційного розвитку авіаційної галузі, безпеки польотів, експлуатації повітряних суден та аеронавігації. Значну увагу приділено актуальним питанням економіки, права, менеджменту та гуманітарним аспектам підготовки авіаційних фахівців у контексті євроінтеграційних процесів. Окремий акцент зроблено на впровадженні інтелектуальних систем, безпілотних авіаційних технологій та цифрових рішень у сучасному авіаційному просторі.

Видання зареєстроване у міжнародному реєстрі Zenodo із присвоєнням цифрового ідентифікатора DOI, що забезпечує відкритість матеріалів для світової наукової спільноти та їх індексацію у наукометричних базах.

Розраховано на науковців, викладачів, молодих учених, здобувачів вищої освіти, а також фахівців авіаційної галузі та всіх, хто цікавиться перспективними напрямками розвитку авіаційної науки і техніки.

Матеріали надруковані в авторській редакції. Відповідальність за зміст доповідей, точність наведених даних, цитат та посилань несуть автори.

© Українська державна льотна академія, 2026

© Автори тез, 2026

UDC: 656.7

A20

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19650422>

Recommended for publication by the
decision of the Methodological Council of
the Ukrainian State Flight Academy
(Minutes No. 8 dated April 15, 2026)

A20 AVIATION AND COSMONAUTICS: DIRECTIONS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT:

Proceedings of the XLIII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Early-Career Researchers, PhD and University Students (Kropyvnytskyi, April 8, 2026), dedicated to the 75th anniversary of the Ukrainian State Flight Academy, the International Day of Aviation and Cosmonautics, and the Day of Rocket and Space Industry Workers of Ukraine. Kropyvnytskyi: USFA, 2026. 491 p.

EDITORIAL BOARD OF USFA

Head of the Editorial Board: Podoprygora Nataliia Volodymyrivna – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Acting Vice-Rector for Scientific Work and International Activity.

Members of the Editorial Board:

Nevynitsyn Andrii Mykolaiovych – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Acting Dean of the Flight Operation Faculty;

Nedilko Serhii Mykolaiovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Acting Head of the Flight Operation and Flight Safety Department;

Palionyi Andrii Serhiiiovych – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Air Navigation, Meteorology and Air Traffic Management Department;

Panchenko Volodymyr Anatoliiovych – Doctor of Economic Sciences, Doctor of Public Administration, Professor, Head of the Aviation Management Department;

Pysmenna Mariia Serhiivna – Doctor of Economic Sciences, Professor, Acting Dean of the Aviation Management Faculty;

Piven Viktoriia Vasylivna – PhD in Education, Associate Professor, Head of the Professional and Aviation Language Training Department;

Romanko Iryna Ivanivna – PhD in Historical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Higher Education Pedagogy and Social-Humanitarian Disciplines Department;

Sakhnenko Yana Serhiivna – PhD in Education, Associate Professor, Head of the Search, Rescue and Special Physical Training Department;

Sikirda Yuliia Volodymyrivna – PhD in Technical Sciences, Professor, Head of the Aircraft Structures, Aviation Engines and Maintenance of Airworthiness Department;

Suprun Volodymyr Mykolaiovych – PhD in Law, Associate Professor, Acting Head of the Law and Legal Support of Aviation Activity Department;

Surkova Kateryna Viktorivna – PhD in Education, Associate Professor, Head of the Information Technologies and Aviation Robotic Systems Department.

Executive Secretary: Chornohlazova Hanna Vitaliivna – PhD in Education, Head of the International Relations Department.

The proceedings contain the materials of the reports of the participants of the XLIII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Early-Career Researchers, PhD and University Students (Kropyvnytskyi, April 8, 2026), dedicated to the 75th anniversary of the founding of the Ukrainian State Flight Academy.

The materials highlight the results of modern scientific research in the areas of innovative development of the aviation industry, flight safety, aircraft operation, and air navigation. Considerable attention is paid to pressing issues of economics, law, management, and humanitarian aspects of aviation specialists' training in the context of European integration processes. A special emphasis is placed on the implementation of intellectual systems, unmanned aerial vehicles (UAV), and digital solutions in the modern aviation space.

The publication is registered in the international Zenodo registry with a digital object identifier (DOI), which ensures the openness of the materials to the global scientific community and their indexing in scientometric databases.

Designed for scientists, academic staff, early-career researchers, PhD and university students, as well as aviation industry professionals and anyone interested in promising directions of aviation science and technology development.

The materials are published in the author's original edition. The authors are responsible for the content of the reports, the accuracy of the given data, quotes, and references.

© Ukrainian State Flight Academy, 2026

© Authors of the papers, 2026

Зміст

Жеруха Юлія Олегівна	176
ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕРГАТИЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЛОТНИМИ АВІАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ.....	180
Зеленський Артем Сергійович	180
ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ.....	182
¹ Кашуба Тарас Павлович, ² Сагун Єлизавета Сергіївна	182
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ.....	184
Маслій Ярослав Юрійович.....	184
ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АЕРОПОРТОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	186
¹ Пічугін Роман Вікторович, ² Коваленко Надія Олегівна	186
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГВИНТОКРИЛИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН У СИСТЕМІ МЕДИЧНОЇ ЕВАКУАЦІЇ	188
Рева Максим Сергійович.....	188
ВПЛИВ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ АВІАКОМПАНІЙ УКРАЇНИ	191
¹ Синицька Анна Валеріївна, ² Кушнеров Олег Олександрович, ³ Несенко Катерина Костянтинівна	191
ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АДМІНІСТРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ АЕРОПОРТАМИ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ	194
¹ Шевченко Даніїл Андрійович, ² Тараненко Зоряна Сергіївна, ³ Мустафаєв Заур Мубаріз огли ...	194
INNOVATIVE APPROACHES TO AIRLINE MANAGEMENT: DIGITAL SOLUTIONS AND DATA ANALYTICS.....	197
Breus Danyil Pavlovych.....	197
СЕКЦІЯ 3. АЕРОНАВІГАЦІЙНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ.....	200
ІНЕРЦІАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК РЕЗЕРВНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ GNSS.....	200
Бордей Мартін Євгенійович.....	200
ДОСВІД ЄВРОКОНТРОЛЮ У ВПРОВАДЖЕННІ AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE - BROADCAST (ADS-B) ЯК ДОРОЖНЯ КАРТА ДЛЯ УКРАЇНИ.....	204
Брикалін Михайло Олександрович	204
ПОСТАНОВКА НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ БПЛА НА ВСІХ ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ	208
Бублик Анастасія Сергіївна	208
КОНЦЕПЦІЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ ВІЛЬНИХ МАРШРУТІВ У СУЧАСНОМУ АЕРОНАВІГАЦІЙНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ.....	212
Бурага Марія Сергіївна.....	212
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВТОМИ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПРОВАЙДЕРІВ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	215
Гасленко Анна Сергіївна	215

СЕКЦІЯ 3. АЕРОНАВІГАЦІЙНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ



DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19650422#page=200>

ІНЕРЦІАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК РЕЗЕРВНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ GNSS

Бордей Мартін Євгенійович

Українська державна льотна академія, м. Кропивницький, Україна

130007@sfa.org.ua

Науковий керівник: Жалінський О. І., старший викладач кафедри аеронавігації, метеорології та організації повітряного руху УДАА

globus60@sfa.org.ua

Сучасна епоха авіаційних перевезень характеризується майже повною залежністю від глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS). Такі системи, як GPS, Galileo, GLONASS та Beidou забезпечують безпрецедентну точність визначення координат, що дозволяє реалізовувати концепцію навігації заснованої на характеристиках (PBN). Проте, попри технологічну досконалість, супутниковий сигнал має критичну вразливість - його потужність при досягненні антени приймача повітряного судна є надзвичайно низькою [1].

В умовах сучасної геополітичної нестабільності ризику використання GNSS зросли експоненціально. Радіоелектронне придушення (jamming) та імітаційні перешкоди (spoofing) стали буденністю не лише для військової, а й для цивільної авіації. Втрата сигналу GNSS у щільному повітряному трафіку може призвести до катастрофічних наслідків. Саме тому інерціальні навігаційні системи (INS), які працюють на принципі повної автономності, залишаються єдиним надійним резервом, здатним підтримувати навігаційну цілісність повітряного судна у ворожому електромагнітному середовищі [2].

Фізичні основи інерціальної навігації. Фундамент INS закладено у законах класичної механіки. На відміну від будь-яких інших систем, інерціальна навігація не потребує випромінювання або прийому зовнішніх сигналів. Вона базується на вимірюванні параметрів руху самого об'єкта відносно інерціальної системи відліку [2].

Основним інструментом вимірювання є блок чутливих елементів (БЧЕ), що складається з трьох акселерометрів та трьох гіроскопів, розташованих по трьох взаємно перпендикулярних осях:

1. Акселерометри фіксують лінійне прискорення. Оскільки прискорення є другою похідною від координати за часом, подвійне математичне інтегрування дозволяє обчислити швидкість і поточне положення літака [2].

2. Гіроскопи вимірюють кутову швидкість обертання. Вони необхідні для визначення орієнтації векторів прискорення у просторі. Без точних даних про кути

тангажу, крену та курсу неможливо коректно перерахувати виміряне прискорення у географічну систему координат [2].

Еволюція інерціальних систем, особливо в останній час, вражає. Історично перші INS використовували важкі механічні гіростабілізовані платформи. Це були складні електромеханічні пристрої, які фізично утримували орієнтацію сенсорів незалежно від маневрів літака. Однак механічний знос, складність обслуговування та обмеження по кутах маневрування змусили авіаконструкторів шукати нові рішення. Точність визначення навігаційних параметрів таких систем була невисокою.

Сучасним стандартом авіації є Strapdown Inertial Navigation Systems (SINS) [2]. У цих системах датчики жорстко «прив'язані» до корпусу повітряного судна. Весь процес стабілізації перенесений у цифрову площину. Бортовий обчислювач у реальному часі виконує складні тригонометричні перетворення, створюючи віртуальну платформу. Це не лише підвищило надійність системи, а й дозволило інтегрувати INS безпосередньо в авіоніку сучасних лайнерів як компактні модулі [3].

Лазерні та волоконно-оптичні сенсори виявилися технологічним проривом. Точність інерційної системи прямо залежить від стабільності її датчиків. Найбільшою проблемою є «дрейф» - накопичення мікроскопічних помилок вимірювання, які з часом перетворюються на кілометри відхилення від маршруту [4].

Для мінімізації цього ефекту в авіації застосовуються квантові технології:

- Кільцеві лазерні гіроскопи (RLG): Вони базуються на ефекті Саньяка. Два лазерні промені поширюються у протилежних напрямках по замкненому контуру. При обертанні контуру виникає різниця фаз, яку фіксують фотодетектори. RLG не мають рухомих частин, що робить їх майже вічними в експлуатації [3].

- Волоконно-оптичні гіроскопи (FOG): Використовують аналогічний принцип, але лазерний промінь проходить через багатокілометрову котушку оптичного волокна. Це забезпечує надвисоку чутливість до найменших змін курсу [2]. Дуже висока точність на протязі довгого часу, але масивність і вага обладнання.

Вразливість GNSS та роль INS у Navigation Warfare (NAVWAR). Сьогодні авіація стикається з поняттям «навігаційної війни». Засоби РЕБ здатні створювати зони, де GNSS стає повністю непрацездатною або, що небезпечніше, надає хибні координати (спуфінг). У випадку спуфінгу приймач GNSS не бачить помилки, оскільки імітований сигнал виглядає як справжній [4].

INS у цій ситуації виконує роль «детектора істини». Оскільки інерційна система не сприймає радіосигнали, вона не піддається спуфінгу. Порівнюючи дані від супутників та інерційної системи, бортовий комп'ютер може миттєво виявити аномалію і попередити екіпаж про недостовірність супутникових даних [3]. Це критично важливо для польотів у складних метеоумовах або при виконанні точних заходів на посадку [1].

Алгоритми комплексування та фільтрація Калмана. Найвищий рівень точності досягається не окремим використанням систем, а їх глибокою інтеграцією. Найпоширенішим математичним апаратом для цього є адаптивний фільтр Калмана [2]. Цей алгоритм працює в реальному часі за наступною схемою:

1. Система INS видає безперервний потік даних з високою частотою (до 200 Гц), що ідеально для керування автопілотом.

2. Система GNSS періодично надає високоточні координати (зазвичай 1-10 Гц).

3. Фільтр Калмана аналізує розбіжність між ними та обчислює поправки для INS, виконується корекція інерціальної системи за допомогою супутникової, фактично «навчаючи» інерційну систему і нівелюючи її дрейф [4].

4. Якщо сигнал GNSS зникає, система автоматично переходить у режим «Dead Reckoning» (навігація зчисленням шляху), де INS продовжує вести літак на основі останніх відомих точних даних [1].

Перспективи розвитку та вимоги ICAO. Міжнародна організація цивільної авіації у своїх стандартах (Додаток 10) чітко вказує на необхідність багатократного резервування навігаційних засобів [1]. Тенденції розвитку спрямовані на створення мікроелектромеханічних систем (MEMS), які дозволять встановлювати INS навіть на невеликі дрони та легку авіацію, забезпечуючи їх автономність. Також активно розробляються системи навігації по магнітному полю Землі та за візуальними орієнтирами (Terrain Referenced Navigation), які будуть інтегровані з INS для створення ще більш стійкого навігаційного контуру, незалежного від космічного сегмента [2].

Аналіз сучасного стану авіаційної навігації показує, що попри домінування супутникових технологій, інерціальні системи залишаються незамінним компонентом безпеки. Автономність, захищеність від перешкод та здатність видавати параметри орієнтації в реальному часі роблять INS головним гарантом завершення польоту в екстремальних умовах [4].

Інтеграція GNSS/INS є оптимальним рішенням, що поєднує абсолютну точність супутників та абсолютну надійність інерціальних датчиків. Для майбутніх фахівців авіаційної галузі глибоке розуміння роботи цих систем є запорукою забезпечення безпеки польотів у світі, що стає все більш цифровим та вразливим до кіберзагроз [1].

Проведений аналіз підтверджує, що в умовах сучасної геополітичної нестабільності та зростаючих загроз радіоелектронної боротьби, зокрема джамінгу та спуфінгу, інерціальні навігаційні системи (INS) переходять із розряду допоміжного обладнання до статусу стратегічного гаранта безпеки польотів. На відміну від супутникових систем, INS є автономною та захищеною від зовнішніх втручань, оскільки ґрунтується на законах класичної механіки та вимірюванні параметрів руху самого повітряного судна. Еволюція технологій від громіздких механічних платформ до сучасних безплатформних систем (SINS) на базі кільцевих лазерних (RLG) та волоконно-оптичних (FOG) гіроскопів дозволила досягти низьких рівнів дрейфу, що забезпечує точність, необхідну для тривалого автономного польоту. Найвищий рівень навігаційної стійкості досягається через глибоку інтеграцію GNSS та INS за допомогою адаптивних фільтрів Калмана. Таке комплексування дозволяє нівелювати накопичувальну похибку інерціальних датчиків за рахунок супутникових даних у штатному режимі та миттєво переходити на автономне зчислення при деградації сигналу GNSS. Встановлено, що INS виконує функцію автономного верифікатора цілісності навігаційних даних, здатного об'єктивно виявляти аномалії супутникового сигналу при спробах імітаційних перешкод. Таким чином, дотримання стандартів ICAO щодо багатократного резервування та розвиток високоточних автономних систем є умовою збереження авіаційного суверенітету та гарантування безпеки в цифровому та радіоелектронно завантаженому просторі.

Список використаних джерел:

1. ICAO. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation: Aeronautical Telecommunications. Volume I: Radio Navigation Aids. Montreal: ICAO, 2018.
2. Titterton D., Weston J. Strapdown Inertial Navigation Technology. 2nd ed. London: IET, 2004. 658 p.
3. El-Sheimy N., Youssef A. Inertial sensors technologies for navigation applications: State of the art and future trends. Satellite Navigation. 2020. Vol. 1. No. 2.
4. GNSS Insider Digital Edition. Global Navigation Satellite Systems Engineering, Policy, and Design [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://insitegnss.com> (дата звернення 01.04.2026).

INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS AS BACKUP EQUIPMENT FOR GNSS

Bordei Martin Yevheniyovych

Ukrainian State Flight Academy, Kropyvnytskyi, Ukraine

Scientific supervisor: Zhalinskyi O. I., Senior Lecturer, Department of Aeronavigation, Meteorology and Air Traffic Management, Ukrainian State Flight Academy

Abstract. This research provides a technical evaluation of Inertial Navigation Systems (INS) as the primary resilient backup to Global Navigation Satellite Systems (GNSS) in contemporary aviation. While satellite systems offer high precision, their extreme vulnerability to low-power Radio Frequency Interference (RFI) poses a significant threat to flight safety in the era of "Navigational Warfare" (NAVWAR). The paper analyzes the transition from legacy gimballed platforms to modern Strapdown Inertial Navigation Systems (SINS), which utilize advanced digital processing to create virtual stabilization frames. A significant focus is placed on the integration of quantum sensor technologies, specifically Ring Laser Gyros (RLG) based on the Sagnac effect and high-sensitivity Fiber-Optic Gyros (FOG), analyzing their role in mitigating measurement "drift" over extended flight durations.

The study delves into the mathematical foundations of GNSS/INS integration via adaptive Kalman Filtering. This algorithm enables the continuous calibration of inertial sensor errors by blending high-frequency INS outputs (up to 200 Hz) with periodic high-precision GNSS coordinates (1-10 Hz). A central focus is placed on the role of the INS as an autonomous "truth detector" and integrity verification tool; because it does not rely on external signals, the INS can objectively detect satellite data discrepancies during sophisticated spoofing or jamming attacks. In the event of total GNSS signal loss, the system ensures a seamless transition to "Dead Reckoning" mode, maintaining the aircraft's trajectory based on the last verified state vector.

Furthermore, the author evaluates the impact of ICAO Annex 10 standards on multi-layered redundancy and explores the emergence of MEMS technologies and Terrain Referenced Navigation as means to ensure absolute navigational sovereignty. The article concludes that high-precision INS remains an indispensable component of resilient navigation, providing the absolute autonomy and reliability required to safeguard civil and military aviation in contested electromagnetic environments.

