

Лиходєєв О. С., Середюк О. М., Сметанкін Р. Р.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ ГІРОСКОПІВ НА РІВЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ВИНИЩУВАЧЕМ

Анотація. Доповідь присвячена аналізу впливу сучасних гіроскопічних технологій на рівень автоматизації систем керування винищувачем. Досліджено взаємозв'язок між точністю датчиків орієнтації і можливістю реалізації складних алгоритмів автоматичного керування. Проаналізовано переваги та недоліки різних типів гіроскопів (MEMS, волоконно-оптичних, лазерних) для використання в умовах сучасного повітряного бою, зокрема за відсутності зовнішніх навігаційних сигналів. На основі викликів, виявлених в ході бойових дій, запропоновано комплекс рішень щодо модернізації інформаційної та виконавчої складових системи керування, спрямованих на підвищення її неуразливості, швидкості реакції та зниження навантаження на пілота.

Ключові слова: гіроскопічні технології, автоматизація керування, винищувач, інерціальна навігаційна система (ІНС), радіоелектронна боротьба (РЕБ), волоконно-оптичний гіроскоп (FOG).

Abstract. The report is dedicated to the analysis of the impact of modern gyroscopic technologies on the level of automation in fighter jets control systems. The interrelation between the accuracy of orientation sensors and the feasibility of implementing complex automatic control algorithms is investigated. The advantages and disadvantages of different types of gyroscopes (MEMS, Fiber-Optic, Ring Laser) for use in the conditions of modern air combat, particularly in the absence of external navigation signals, are analyzed. Based on the challenges identified during combat experience, a set of solutions for modernizing the sensor and executive components of the control system is proposed, aimed at increasing its survivability, reaction speed, and reducing pilot workload.

Keywords: gyroscopic technologies, control automation, fighter aircraft, Inertial Navigation System (INS), Electronic Warfare (EW), Fiber-Optic Gyroscope (FOG).

Сучасна винищувальна авіація стикається із низкою складних викликів, зумовлених стрімким розвитком засобів ураження та радіоелектронної боротьби (РЕБ) [1, 2]. Ключовими аспектами бойової ефективності стали надзвичайна маневреність, швидкість прийняття рішень у долі секунди та здатність протидіяти екстремальним фізіологічним навантаженням на пілота. В цих умовах роль автоматизованих систем керування (АСК) стає критично важливою. Однак, ефективність будь-якої системи автоматизації безпосередньо залежить від якості та надійності вхідної інформації. Таким чином, постає проблема забезпечення АСК неспотвореними, точними та безперервними даними про просторову орієнтацію, кутові швидкості та лінійні прискорення літального апарату. Метою даного дослідження є аналіз впливу технологій гіроскопів на рівень автоматизації керування винищувачем. Тезис даної доповіді полягає в тому, що саме розвиток гіроскопічних технологій, як джерела ключової інформації про рух, є одним із основних чинників розвитку в галузі автоматичного керування, що дозволяє подолати виклики сучасного повітряного бою.

1. Сучасні вимоги до систем управління винищувачів [3, 4].

Вимоги до систем управління винищувачів п'ятого та перспективних поколінь кардинально відрізняються від класичних підходів. Ізольована робота пілота вже не забезпечує необхідної ефективності. На перший план висувається концепція інтегрованої бортової системи, де людина та автомат працюють у тісній синергії. Основними вимогами є: живучість у умовах інтенсивного впливу РЕБ, здатність до виконання маневрів з надвеликими навантаженнями, що перевищують фізіологічні можливості людини, та значне зниження когнітивного навантаження на пілота для зосередження на тактичних завданнях. Система має компенсувати людську інерцію та обмеження, перетворюючись з інструменту керування на бойового помічника.

2. Значення точного визначення орієнтації – гіроскопічні технології.

Точне та безперервне визначення орієнтації є фундаментом для будь-якої автоматизації.

Без знання власного положення в просторі неможливо реалізувати навіть найпростіший алгоритм стабілізації, не кажучи вже про складні маневри ухилення. Гіроскопи, як датчики кутової швидкості та прискорень, формують основу інерціальної навігаційної системи (ІНС), яка є автономною та незалежною від зовнішніх джерел, таких як GPS. Саме тому якість гіроскопів безпосередньо визначає потенційний рівень автоматизації: чим вища точність, швидкість відгуку та стабільність датчика, тим складніші та безпечніші алгоритми можуть бути реалізовані.

3. Порівняння типів гіроскопів та їх придатність для авіації [5, 6]

Існуючі технології гіроскопів значно відрізняються за своїми характеристиками. Механічні гіроскопи, попередники сучасних систем, відходять у минуле через наявність рухомих частин, чутливих до перевантажень. На зміну їм прийшли лазерні гіроскопи (RLG), що не мають механічних компонентів і відрізняються високою точністю та надійністю, що робить їх придатними для використання в якості основного каналу в сучасних ІНС. Однак, їхня вартість та чутливість до екстремальних перевантажень залишається певним обмеженням. Мікроелектромеханічні системи (MEMS) пропонують революційні переваги у вигляді мініатюрності, низької вартості, високої ударостійкості та енергоефективності. Хоча їхня точність історично поступалася лазерним, останні досягнення дозволяють використовувати MEMS-гіроскопи в якості резервних каналів або в системах, що не вимагають надзвичайної прецизійності. Найперспективнішими для екстремальних умов є волоконно-оптичні гіроскопи (FOG), які поєднують високу точність, відмінну стійкість до великих перевантажень, вібрацій та широкого діапазону температур, що робить їх ідеальними для винищувачів, що виконують маневри з великими навантаженнями.

4. Стан автоматизації процесів керування: проблеми, потенціал [7, 8]

На сьогоднішній день автоматизація в керуванні винищувачем переважно зосереджена на стабілізації літака, автопілоті на маршруті та допомозі при посадці. Однак потенціал для глибшої інтеграції значно ширший. Головною проблемою залишається «довіра» до автомата та гарантія його безвідмовної роботи в непередбачуваних бойових умовах. Існуючі системи часто не здатні адекватно реагувати на раптові загрози, такі як зліт ракети противника, оскільки не отримують достатньо швидкої та точної інформації від сенсорів для миттєвого ініціювання маневру ухилення. Потенціал же полягає в створенні адаптивних систем, які не лише виконують команди пілота, але й активно допомагають йому у критичних ситуаціях, компенсуючи його фізіологічні обмеження.

5. Рекомендації щодо модернізації на основі нових датчиків та рішень

На основі аналізу сучасних викликів та технологічних можливостей, можна сформулювати комплексні пропозиції щодо модернізації.

Інформаційна складова. Втрати даних про положення під час маневрів і глушіння потребують структурних змін. Переважно перейти на волоконно-оптичні гіроскопи (FOG) як основний сенсор для управління вогнем і маневром: вони витримують перевантаження й підвищують живучість. Впровадити резервування і злиття даних за триканальною архітектурою: основний канал – FOG, другий – лазерний гіроскоп (RLG), третій – якісні MEMS. Гетерогенна структура зберігає працездатність при часткових пошкодженнях. Висновок: потрібна надійна внутрішня система орієнтації, незалежна від зовнішніх сигналів.

Виконавча складова – автоматизація. На базі точної сенсорики реалізувати автоматичні режими ухилення, автоматичне стеження за ціллю та функцію повернення без пілота. Система, отримавши дані FOG, виконує оптимальні маневри, коригує положення для утримання цілі під час великих перевантажень і, у випадку поранення пілота, виводить літак з зони бою та здійснює посадку. Автоматизація стає ключовим фактором живучості літака та захисту пілота в сучасних бойових умовах ефективно.

Список використаних джерел:

1. Electronic warfare in Ukraine // JAPCC. – 2024. – URL: <https://www.japcc.org/articles/electronic-warfare-in-ukraine/> (date of access: 27.10.2025).
2. The Impact of Electronic Warfare on Fighter Jets // Fly A Jet Fighter. – 2024. – URL: <https://www.flyajetfighter.com/the-impact-of-electronic-warfare-on-fighter-jets/> (date of access: 27.10.2025).

3. Optimizing future air combat: autonomy and human teaming dynamics // Air Power Journal. – 2024. – URL: <https://theairpowerjournal.com/optimizing-future-air-combat-autonomy-and-human-teaming-dynamics/> (date of access: 27.10.2025).

4. Artificial intelligence-human symbiosis in fighter aircraft // JAPCC. – 2023. – URL: <https://www.japcc.org/articles/artificial-intelligence-human-symbiosis-in-fighter-aircraft/> (date of access: 27.10.2025).

5. Passaro VMN, Cuccovillo A, Vaiani L, De Carlo M, Campanella CE. Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective. *Sensors*. 2017; 17(10):2284. <https://doi.org/10.3390/s17102284>.

6. Gyroscopes for Orientation and Inertial Navigation Systems / R. Marjanović Kavanagh. – 2007. – 18 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/266369294_Gyroscopes_for_Orientation_and_Inertial_Navigation_Systems_Gyroscopes_for_Orientation_and_Inertial_Navigation_Systems. (date of access: 27.10.2025).

7. Wang J. Task-Oriented Communication for Multi-Device Cooperative Edge Inference / J. Wang, Z. Qian, C. Dong, Y. Shi, Z. Lu, W. Zhang, Z. Liu, D. Wang // arXiv.org. – 2019. – URL: <https://arxiv.org/abs/1909.07834>. – (date of access: 27.10.2025).

8. Human-Machine Teaming in Artificial Intelligence-Driven Air Power: Future Challenges and Opportunities for the Air Force // The Air Power Journal. – 2024. – URL: <https://theairpowerjournal.com/human-machine-teaming-in-artificial-intelligence-driven-air-power-future-challenges-and-opportunities-for-the-air-force/> (date of access: 27.10.2025).

Лиходієв Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0009-9509-2940>.

Середюк Олег Михайлович – здобувач освітнього рівня бакалавр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: olegsereduk1357@gmail.com.

Сметанкін Ростисла Русланович – здобувач освітнього рівня бакалавр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: denis2001166@gmail.com.

Lykhodieiev Oleksandr Serhiiiovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Aviation Engineering Faculty, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0009-9509-2940>.

Serediuk Oleh Mykhailovych – Bachelor's Degree Holder of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: olegsereduk1357@gmail.com.

Smetankin Rostyslav Ruslanovych – Bachelor's Degree Holder of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: denis2001166@gmail.com.