

УДК 629.735:001.891

В. П. Квасніков¹, д.т.н., **О. М. Чередніков²**, к.т.н., **Д. Т. Шевченко²**, **Г. М. Гапоненко²**, к.п.н.,
В. М. Феденько²

¹ДНП Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ,

²Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. м. Черкаси

МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ЛЬОТНО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ (літаків та БпЛА літакового типу)

Методичний апарат експериментального оцінювання характеристик авіаційної техніки (АТ) повинен складатися з набору правил, методів та методик.

Інформаційна модель (параметри та фактори) вибирається залежно від параметрів дослідження та нормативного забезпечення експериментального оцінювання характеристик АТ, що використовуються в Україні та країнах – членах НАТО.

Метою проведеного аналізу є розробка інформаційної моделі (методичного контенту) випробувань та удосконалення методичного апарату експериментального визначення льотно-технічних характеристик (ЛТХ) удосконалення процедур випробувань авіаційної техніки (АТ).

Показано, що важливим напрямом є інтеграція чисельного моделювання з результатами льотних випробувань для підвищення точності прогнозування ЛТХ, особливо на критичних режимах.

Ключові слова: методологія, випробування, льотно-технічні характеристики, регресійна математична модель, стандарти НАТО.

V. P. Kvasnikov, DSc, O. M. Cherednikov, PhD, D. T. Shevchenko, H. M. Haponenko, PhD, V. M. Fedenko

THE METHODOLOGICAL APPARATUS FOR EXPERIMENTAL EVALUATION OF FLIGHT-TECHNICAL CHARACTERISTICS OF AVIATION EQUIPMENT

The development and modernization of modern weapons and military equipment leads to the need to create a new generation of specialized control systems, their characteristics and parameters during testing. The methodological apparatus of experimental evaluation of aircraft characteristics should consist of a set of rules, methods and techniques.

The information model (parameters and factors) is selected depending on the parameters of the study and the regulatory support for experimental evaluation of aircraft characteristics used in Ukraine and NATO member countries.

The purpose of the analysis is to develop an information model (methodological content) of tests and improve the methodological apparatus of experimental determination of flight characteristics and improve the procedures for testing aircraft.

The considered information base substantiates the practical tools (accepted methods) that describe a specific set of techniques and procedures for studying flight characteristics, which can be used as instructions for conducting tests.

It is shown that when developing a methodological apparatus for experimental evaluation of technical characteristics, it is advisable to use the methods and methodological guidelines (methodological content) set out in DSTU EN, in case of their greater perfection and compliance with the recommendations of international standards.

The prospects for further research are to improve experimental and computational methods for evaluating flight characteristics, taking into account nonlinear aerodynamic effects, variable flight conditions and design features of aircraft. An important direction is the integration of numerical modeling with the results of flight tests to increase the accuracy of predicting flight characteristics, especially in critical modes

Keywords: methodology, testing, flight performance, regression mathematical model, NATO standards.

DOI 10.32684/2412-5288-2025-2-27-50-57

Постановка задач дослідження.

Розробка та модернізація сучасного озброєння та військової техніки (ОВТ) призводить до необхідності створення нового покоління спеціалізованих систем контролю, їх характеристик та параметрів під час проведення випробувань. Тому першочерговою необхідністю є вдосконалення системи випробувань авіаційної техніки (АТ), нормативною основою якої є застарілі випуски РІАТ часів СРСР керівництва з випробувань авіаційної техніки (КВАТ) та діюча система державних стандартів (ДСТУ).

На даний час система стандартизації в оборонній сфері частково базується на застарілих стандартах ГОСТ, які не відповідають сучасному рівню вимог до зразків ОВТ, технічної бази їх виробництва та створюють ризики виникнення перешкод у можливих спільних оборонних проєктах з країнами НАТО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основними методами визначення льотно-технічних характеристик розділяють на 3 основних категорії: експериментальні; експериментально-розрахункові; розрахункові.

Експериментальні методи дуже точні, але потребують дуже великої кількості ресурсів. Науковий натурний експеримент дозволяє вивчити характеристики впливу чинників на об'єкт, що досліджується, ідентифікувати статистичні та динамічні параметри об'єктів, оцінити ефективність впливу середовища на АТ, Отримані в результаті експерименту дані підлягають обробці, що передбачає вибір форми подання результатів, розробку алгоритмів оперативної, первинної, вторинної та повної обробки результатів, програмно-математичного забезпечення, розробку моделі системи тощо.

Експериментально-розрахункові методи – це сукупність експериментальних та розрахункових методів. Ці методи більш економічні, але поступаються в точності з експериментальними. Розрахункові методи найбільш економічні між вище перерахованими методами, але дуже не точні [1–4].

Завдання на політ є головним документом, який відображає зміст та умови проведення експерименту у даному випробувальному польоті. Воно повинно легко засвоюватись і запам'ятовуватись льотчиком, бути чітким, лаконічним і не припускати двоякого тлумачення. У результаті досліджень [5] відпрацьовано програмне забезпечення, яке забезпечує автоматизоване рішення завдань розробки програми льотних випробувань та обробки результатів виконання польотного завдання з метою ідентифікації випробувальних режимів та маневрів, які виконуються для оцінки

ЛТХ. Так, як самий значний об'єм випробувань припадає на визначення витрати пального то і доцільно розглянути можливість удосконалення розрахунково-експериментально методу визначення характеристик витрат пального. про можливість оцінки надійності за результатами випробувань одного зразка відповідно до ТТХ [2, 3]. Теоретичні основи методів визначення льотних характеристик літаків з ТРД, з застосуванням теорії подібності, були описані в працях М. А. Тайця [3].

Останнім часом широко застосовують математичну теорію експерименту для підвищення точності та достовірності при зменшенні обсягів експериментів. У цьому випадку методологія експерименту включає такі етапи: розробку плану програми експерименту; оцінку вимірювання та вибір засобів для проведення експерименту; математичне планування експерименту з одночасним проведенням експериментального дослідження, обробкою та аналізом отриманих даних з використанням адекватної математичної моделі [11–13].

За результатами досліджень [6–10] було зроблено регресійні математичні моделі маневрених характеристик літаків та БпЛА літакового типу та проєкт доповнення до «Керівництва з випробувань авіаційної техніки».

Випробування є невід'ємною складовою сертифікації озброєння та військової техніки (ОВТ), оскільки вони забезпечують доказову базу для підтвердження відповідності виробу встановленим вимогам передових наукових знань, технологічних розробок та інновацій для зміцнення обороноздатності держави [14]

Метою статті є розгляд методології інформаційного забезпечення випробувань АТ удосконалення методик експериментально-розрахункового визначення ЛТХ для зменшення матеріальних і часових затрат при проведенні льотних випробувань літаків та БпЛА літакового типу.

Виклад основного матеріалу.

Наукова методологія досліджень базується на системному підході і відповідає на питання: чому так досліджувати, на яких засадах, які підходи оптимальні [13].

Методологія експериментально-розрахункового оцінювання ЛТХ базується на нових принципах, підходах, концепції, логіки дослідження для теоретичного обґрунтування методик, як категорії вищого рівня (табл. 1).

Поєднаний експериментально-розрахунковий підхід є найбільш ефективним та обґрунтованим методом оцінювання льотно-технічних характеристик сучасної авіаційної техніки, особливо БпЛА літакового типу, де критичними є

вартість, безпека та швидкість отримання результатів.

Таблиця 1 – Основні порівняльні риси

Методологія	Методика
теоретична	практична
дає принципи, підходи, концепції	дає конкретні прийоми, інструкції, алгоритми
визначає підхід до дослідження	визначає процедуру дослідження
більш загальна і філософська	більш прикладна і технічна

Сучасний етап розвитку авіаційної техніки характеризується стрімким зростанням складності льотно-технічних систем, широким впровадженням цифрових систем керування, використанням композитних матеріалів, інтелектуальних алгоритмів керування польотом, а також масовим застосуванням БпЛА літакового типу в цивільній та спеціальній сферах. За цих умов істотно зростають вимоги до достовірності, відтворюваності та порівнювальності експериментального оцінювання ЛТХ літаків і БпЛА.

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) визначає базові принципи льотної придатності та безпеки польотів, які є обов'язковими для держав – членів ICAO. Документи ICAO мають рамковий характер і визначають загальні принципи, залишаючи деталізацію методик на

рівні регіональних та національних сертифікаційних норм.

Сертифікаційні специфікації Європейського агентства з авіаційної безпеки (EASA) є одними з найбільш деталізованих нормативних документів у частині експериментального підтвердження ЛТХ. У CS-23/CS-25 детально визначено перелік льотно-технічних характеристик (швидкісні, злітно-посадкові, маневрені, стійкість і керованість), а також обов'язковість їх експериментального підтвердження під час сертифікаційних льотних випробувань. Зазначені специфікації розроблені переважно для пілотованих літаків, однак можуть частково застосовуватися до БпЛА літакового типу шляхом введення спеціальних умов (Special Conditions).

Військові стандарти MIL-STD орієнтовані на системний підхід до випробувань та оцінювання характеристик авіаційної техніки. Особливістю MIL-STD є врахування впливу систем керування, програмного забезпечення та зовнішніх умов на експериментальні результати.

Аналіз положень CS-23, CS-25 та MIL-STD у частині експериментального оцінювання ЛТХ (табл. 2) свідчить про наявність низки нормативних неузгодженостей і методичних прогалів, що набувають особливої актуальності при застосуванні цих документів до БпЛА літакового типу.

Службове призначення визначають виконавчі поверхні об'єкта, які реалізують певні функції, та розмірні зв'язки цих поверхонь.

Таблиця 2 – Порівняння вимог CS-23 / CS-25 / MIL-STD до льотно-технічних характеристик

Критерій / аспект	CS-23	CS-25	MIL-STD
Об'єкт регламентування	літаки малої та середньої маси	великі транспортні літаки	пілотовані та безпілотні ЛА військового призначення
Основна мета	сертифікація льотної придатності	сертифікація льотної придатності	забезпечення експлуатаційної ефективності та живучості
Обов'язковість випробувань	обов'язкові	обов'язкові	обов'язкові
Злітно-посадкові характеристики	детально нормуються	детально нормуються	нормуються з урахуванням умов застосування
Швидкісні характеристики	нормуються	нормуються	нормуються з урахуванням бойових режимів
Дальність і тривалість польоту	регламентується	регламентується	регламентується з урахуванням профілю місії
Стійкість і керованість	обов'язкове експериментальне підтвердження	обов'язкове експериментальне підтвердження	розширені вимоги з урахуванням САК
Урахування автоматичних систем	обмежене	обмежене	обов'язкове, системний підхід
Застосовність до БпЛА	часткова (Special Conditions)	обмежена	висока
Умови експлуатації	нормальні цивільні	комерційні транспортні	розширений діапазон (екстремальні)

Джерело: розроблено авторами

Головна службова функція технічного об'єкта розглядається як результат спільної дії декількох основних функцій. Основні функції є результатом дії функцій першого рівня, а ті – результатом дії функції другого рівня і так далі.

Декомпозиція функцій проводиться до одержання простих функцій, для реалізації яких є очевидними певні конструктивні елементи.

Дерево функцій технічного об'єкта має вигляд графа, вершини якого відображають функції різних рівнів складності, а зв'язки – відношення підпорядкування між ними.

До функціонального опису технічного об'єкта включаються лише прості функції останнього рівня декомпозиції, тобто ті, для яких легко вибрати конструктивні елементи, що необхідні для їх реалізації, а саме (рис. 1):

$$F = (f_{111}, f_{112}, f_{121}, f_{122}, f_{211}, f_{221}, f_{222}, f_{223}, f_{231}, f_{311}, f_{312}, f_{321}) \quad (1)$$

де f – проста функція найнижчого рівня декомпозиції.

Відсутність спеціалізованих ДСТУ, що комплексно регламентують методичний апарат експериментального оцінювання ЛТХ для літаків і БПЛА літакового типу, створює ситуацію нормативної фрагментарності.

На практиці це призводить до запозичення окремих положень CS-23/CS-25 або MIL-STD без належної адаптації.

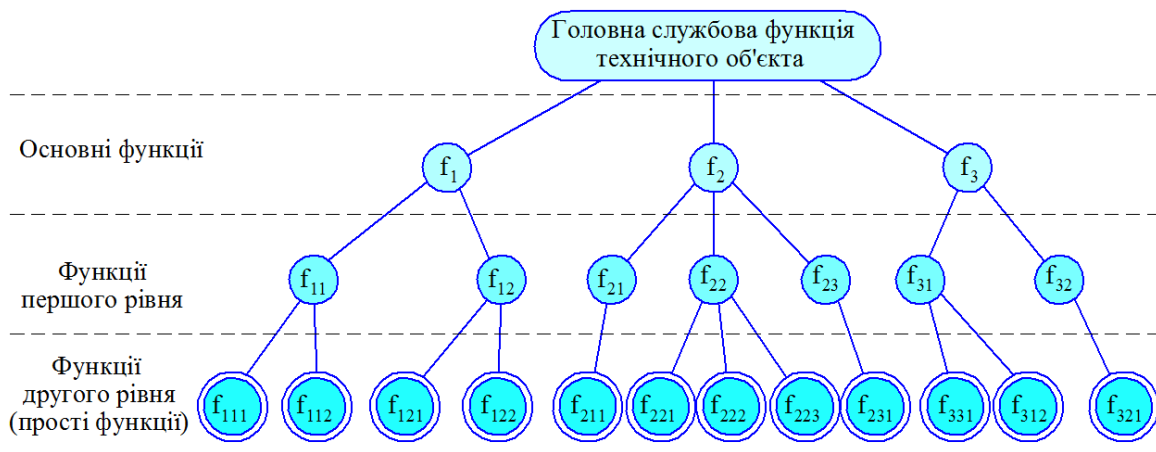


Рисунок 1 – Дерево функцій об'єкта дослідження
Джерело: розроблено авторами [13]

Порівняльний аналіз показує, що CS-23 та CS-25 забезпечують високий рівень регламентації експериментального оцінювання ЛТХ для пілотованих літаків, тоді як MIL-STD надають більш універсальний та адаптивний методичний апарат, придатний для застосування до сучасних БПЛА літакового типу. На ранніх етапах розвитку авіації, при низькому рівні розвитку засобів вимірювання і реєстрації інформації та відсутності спеціалізованої вимірювальної бази, розвиток методів льотних випробувань набагато більше, ніж в теперішній час, визначався безпосередньо прогресом авіаційної техніки та науки.

Розвиток технологій приводив до розробки нових методів. Так, в середині сорокових років, поява турбореактивних двигунів (ТРД) привела до необхідності перегляду існуючих, достатньо добре розвинутих методів випробувань літаків з поршневыми двигунами. Це було пов'язано, по-перше, з істотно відмінним режимом роботи ТРД і, по-друге, з більш широким діапазоном швидкостей польоту літаків з новим типом двигунів.

Якщо на ранніх стадіях розвитку методів визначення ЛТХ в льотному експерименті основою прогресу, як вказувалося вище, було безпосередньо удосконалення авіації, зокрема типів літакових двигунів, то в подальшому все більше вплив починають робити інші галузі науки і техніки, які дозволяють створювати все більш точні засоби вимірювань, більш зручні, компактні й інформативноємні засоби реєстрації та автоматизованої обробки результатів з використанням обчислювальної техніки. Використання саме цих засобів дозволило створити методику комплексних випробувань. Принциповою відмінністю в методиці комплексних випробувань, яка застосовується, від вище перерахованих, є можливість роздільного визначення в льотному експерименті комплексу аеродинамічних характеристик, а також характеристик силової установки [7].

Схема нормативної взаємодії відображає ієрархічну та методологічну взаємодію основних нормативних рівнів, що визначають вимоги до ЛТХ авіаційної техніки та методів їх оцінювання.

Наведена схема (рис. 2) підкреслює зв'язок із стандартами (ДСТУ, ICAO, CS, MIL-STD). На верхньому рівні знаходяться документи Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), які формують глобальну концептуальну основу льотної придатності та безпеки польотів. В цілях розділення аеродинамічних сил і сил тяги в роботі [5] виконувалось відпрацювання різних методів визначення тяги двигунів. Ці методи орієнтовані в основному на перерахунок результатів стендових випробувань двигунів на умови реального польоту, з урахуванням параметрів силової установки, які вимірювалися в польоті.

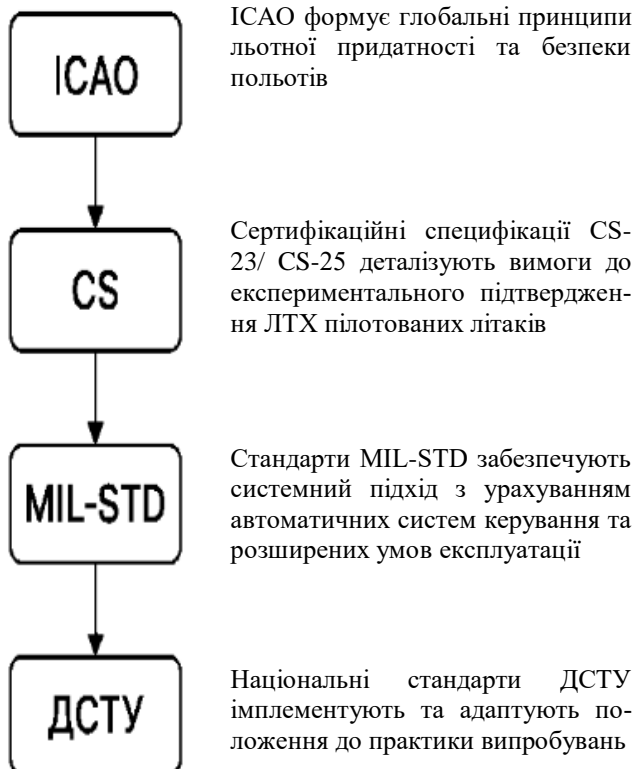


Рисунок 2 – Ієрархія та методичні зв'язки між нормативними рівнями вимог
Джерело: розроблено авторами

Також в цій роботі в якості експериментальних режимів польоту, з метою скорочення об'єму льотного експерименту, використовувалися в основному несталі режими польоту.

Документи ICAO не регламентують конкретні методики, але задають напрям гармонізації національних і регіональних норм (зокрема Annex 8) та визначають загальні принципи підтвердження ЛТХ, вимогу обов'язковості льотних випробувань, рамкові підходи до авіатехніки, включно з безпілотними системами (RPAS).

Національні стандарти України (ДСТУ), гармонізовані з ISO/IEC та авіаційними нормами, регламентують загальні вимоги до проведення випробувань, метрологічного забезпечення та

достовірності вимірювань (зокрема ДСТУ ISO 9001, ДСТУ ISO/IEC 17025).

Спеціалізовані ДСТУ, які б комплексно регламентували експериментальне оцінювання ЛТХ для літаків і БпЛА, наразі відсутні, що підсилює актуальність даного дослідження.

Аналіз наявних в Україні документів зі стандартизації НАТО свідчить, що їх основну частку складають міждержавні угоди зі стандартизації, які стосуються питань військової стандартизації, тобто оперативних та адміністративних питань. У НАТО такі документи згруповані за двома найбільш поширеними серіями, а саме:

- "STANAG" (Standartization Agreement – угоди зі стандартизації) – офіційно оформлені угоди між кількома або усіма країнами – учасниками НАТО про прийняття чи використання однакового або аналогічного озброєння, військового обладнання, амуніції, майна, а також оперативних, тилових та адміністративних процедур. Країни – учасниці НАТО ратифікують і виконують STANAG на добровільній основі;

- "AP" (Allied Publikation – публікації Альянсу) документи містять узгоджені принципи дій чи стандартизовані методи, які повинні використовуватися збройними силами всіх або деяких країн НАТО. AP не потребують, на відміну від STANAG, відображення в національних нормативних документах.

У позначеннях публікацій між буквами А і Р може ставитися ще одна чи дві букви, які означають різновиди дії документів. Перелік нормативних документи, які регламентують загальний порядок проведення сертифікації і випробувань зразків ОВТ за стандартами НАТО та впровадженні в ЗС України, приданий в таблиці 3.

Таким чином під стандартами НАТО розуміється система узгоджених установленим порядком міждержавних документів, яка спрямована на досягнення максимально можливої ефективності при взаємодії збройних сил країн – членів НАТО. Фактично стандарти НАТО є блоковими угодами. Нормативна база дослідження сформована з урахуванням міжнародних, міждержавних та національних стандартів і регламентів, які встановлюють вимоги до льотної придатності, ЛТХ та методів їх експериментального оцінювання для пілотованих і безпілотних літальних апаратів літакового типу.

Поряд з комплексним підходом в даний час має місце тенденція до все більш широкого використання методів ідентифікації при проведенні льотних випробувань. Не дивлячись на те, що більшість праць в цій області пов'язані з ідентифікацією динамічних систем, в останні роки були виконані роботи, зв'язані з ідентифікацією ста-

тичних моделей сіток перевантажувальних поляр літаків з ТРД. Ці праці показали можливість скорочення об'єму льотного експерименту, а також підвищення якості і достовірності результатів.

На даний час в Україні для проведення випробувань АТ застосовуються європейські стандарти EN, які впровадженні в державі у якості національних (ДСТУ EN) та використовуються такими європейськими країнами як Німеччина і Франція, які є членами НАТО.

Вимоги до дослідних зразків та методологія оцінювання ЛТХ, які викладені в стандартах EN, не суперечать вимогам та засадам, які викладені стандартах НАТО. Методичний апарат стандар-

Таблиця 3 – Перелік нормативних документів, які регламентують загальний порядок проведення сертифікації і випробувань зразків ОБТ за стандартними НАТО та впроваджуються в ЗС України

Позначення стандарту, назва стандарту НАТО	Найменування національного документа
ACodP-3 “NATO item name directory”	ВІПР 01.002.003 - 2014 (01) (ACodP-3, NEQ) “Військова система кодифікації. Перелік узгоджених назв стандартизації”
STANAG 4370 Ed:6 “Environmental testing - aectp-100 – 600”	ДСТУ – П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/АЕСТР-400 Ed. 3, IDT) “Озброєння та військова техніка. Вимоги та методи механічних випробувань”
	ДСТУ – П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/АЕСТР-200 Ed. 4, IDT) “Озброєння та військова техніка. Загальні вимоги до випробування”
	ДСТУ – П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/АЕСТР-230 Ed. 1, IDT) “Озброєння та військова техніка. Вимоги до кліматичних випробувань”
	ДСТУ – П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/АЕСТР-240 Ed. 1, IDT) “Озброєння та військова техніка. Вимоги до механічних випробувань”
	ДСТУ – П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/АЕСТР-300 Ed. 3, IDT) Озброєння та військова техніка. Озброєння та військова техніка. Вимоги та методи кліматичних випробувань
STANAG 4704 Ed:2 / ALogP-33 Ed. A “NATO requirements for calibration support of test & measurement equipment”	ВСТ 03.210.030 - 2019 (01) “Метрологічне забезпечення. Вимоги НАТО до підтвердження результатів калібрування випробувального та вимірювального обладнання (STANAG 4704, MOD)”
	ДСТУ STANAG 4704:2018 (STANAG 4704 Ed:2/ALogP-33 Ed. A Ver. 1, IDT) “Вимоги НАТО щодо метрологічного забезпечення засобів випробування та вимірювальної техніки”
	ДСТУ STANAG 4704:2018 (STANAG 4704 Ed:2/ALogP-33.2 Ed. A Ver. 1, IDT) “Калібрувальні інтервали”
STANAG 4728 Ed: 2 / AAP-20 Ed. C “NATO programme management framework (NATO life cycle model)”	ДСТУ В 15.001:2018 “Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Основні положення”
	ДСТУ В-П 15.004:2019 “Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки”
STANAG 4728 Ed: 2 / AAP-48 Ed. B “NATO system life cycle processes”	ДСТУ В 15.001:2018 “Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Основні положення”
	ДСТУ В-П 15.004:2019 “Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки”
STANREC 4174 Ed: 4 “Guidance for dependability management - admp-01 edition A & admp-02 edition A”	ДСТУ – П STANREC 4174:2017 (STANREC 7174 Ed:4/ADMP-01, IDT) “Настанови щодо розроблення вимог до надійності озброєння та військової техніки”
	ДСТУ – П STANREC 4174:2017 (STANREC 7174 Ed:4/ADMP-02, IDT) Настави щодо оцінювання надійності озброєння та військової техніки в процесі експлуатації

Джерело: розроблено авторами

тів STANAG, на відміну від стандартів EN, не містить методик та методичних рекомендацій щодо порядку проведення оцінювання (перевірки) та носить рекомендабельний характер.

Аналіз вимог, яким повинний відповідати методологічний апарат та результати, які наведені в таблицях (див. табл. 2, 3) вказує на те, що у методичному апараті експериментального визначення технічних характеристик АТ доцільно використовувати нормативно-параметричні методи, які застосовуються для встановлення кількісних та якісних показників характеристик, визначення.

Висновки. Розглянута інформаційна база обґрунтовує практичний інструментарій (прийняті методи), що описує конкретний набір прийомів і процедур дослідження ЛТХ, які можна використовувати як інструкції проведення випробувань.

При розробці методичного апарату експериментального оцінювання технічних характеристик доцільно використовувати методики та методичні вказівки (методичний контент), які викладені в ДСТУ EN, у разі їх більшої досконалості та відповідності рекомендацій міжнародних стандартів.

Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні експериментально-розрахункових методів оцінювання ЛТХ з урахуванням нелінійних аеродинамічних ефектів, змінних умов польоту та особливостей конструкції літальних апаратів.

Важливим напрямом є інтеграція чисельного моделювання з результатами льотних випробувань для підвищення точності прогнозування ЛТХ, особливо на критичних режимах.

Список використаних джерел

1. Методичні рекомендації щодо організації наукової і науково-технічної діяльності у Збройних Силах України. Ч. 4. Основи організації випробувань зразків (комплексів, систем) озброєння і військової техніки для потреб Збройних Сил України. Київ: ВНУ ГШ ЗС України, 2020. 63 с.
2. Основы военно-технических исследований. Теория та приложения: монография: в 10 т. Том 9 / Прикладные аспекты испытаний и теоретико-экспериментальных исследований вооружения и военной техники / И. Б. Чепков, С. В. Лапицкий, А. Н. Гребеник, А. А. Расстрьгин, М. И. Васьковский, А. В. Гурнович, А. Н. Куприненко, С. П. Бисык, М. А. Шишанов, И. И. Деркач / под ред. С. В. Лапицкого. К.: Издательский дом Дмитрия Бураго, 2015. 504 с.
3. Ведров В. С., Тайц М. А. Летные испытания самолетов. Учебное пособие. Москва: Оборонгиз, 1951. 484 с. URL: <https://k.twirpx.link/file/342384/>.
4. Обод І. І., Заволодько Г. Е., Свид І. В. Математичне моделювання систем: навчальний посібник. Харків: Друкарня МАДРИД, 2019. 268 с.
5. Пермяков О. Ю., Королюк Н. О., Фараон С. І. Організація інформаційних систем Збройних Сил України : навчальний посібник. Київ: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2019. 143 с.
6. Кульба П. П., Феденько В. М., Чередніков О. М., Чуприна В. М. Ідентифікація регресивних моделей льотної придатності вертольотів в методиках проведення випробувань льотно-технічних характеристик математичним плануванням дослідів. Інформатика, управління та штучний інтелект, тези дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції. Харків – Краматорськ, 2022. С. 80.
7. Феденько В. М., Тимошенко А. В. Про підвищення ефективності випробувальних польотів і в цілому програми випробувань з оцінки льотно-технічних характеристик. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал*. Харків, 2011. Вип. 1(5). С. 59–61.
8. Кульба П. П., Сергієнко А. І. Вдосконалення методик проведення випробувань з визначення льотно-технічних характеристик вертольотів з урахуванням вимог європейських критеріїв сертифікації льотної придатності повітряних суден військового призначення. Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: збірник XXI науково-технічної конференції, 02-03 вересня 2021 р. / ДНДІ ВС ОВТ. Чернігів: Видавець Брагинець О. В., 2021. С. 171–172.
9. Кульба П.П., Феденько В.М., Чередніков О.М., Чуприна В.М. Урахування вимог європейських критеріїв сертифікації льотної придатності повітряних суден в методиках проведення випробувань льотно-технічних характеристик вертольотів. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. Чернігів, 2021. Вип. 4(10). С. 108–116.
10. Бурсала О. Л., Бояров В. Т., Чередніков О. М. Регресивна модель безпеки польотів військової авіаційної техніки. XVII міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба "Новітні технології – для захисту повітряного простору": тези доповідей, 14 – 15 квітня 2021 р. Х.: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2021. С. 172.
11. Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. К.: НАУ, 2017. 392 с.
12. Матвійчук В. А., Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А. Математичне моделювання новітніх технологічних систем: монографія. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 193 с.
13. Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проєктування, оптимізація): навч. посібник. Львів: Світ, 2001. 232 с.
14. Кононюк А. Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Книга 2.

Монографія. К.: 2010. 452 с.

15. Чепков І. Б. Використання передових наукових знань, технологічних розробок та інновацій для зміцнення обороноздатності держави та досягнення військової переваги у технологічній сфері. *Вісник Національної академії наук України*. 2021. № 6. С. 59–62.

References

1. Methodological recommendations on the organization of scientific and scientific-technical activities in the Armed Forces of Ukraine. Part 4. Fundamentals of the organization of testing samples (complexes, systems) of weapons and military equipment for the needs of the Armed Forces of Ukraine. Kyiv: VNU General Staff of the Armed Forces of Ukraine, 2020. 63 p. [in Ukrainian].

2. Fundamentals of military-technical research. Theory and applications: monograph: in 10 volumes. Volume 9 / Applied aspects of testing and theoretical and experimental research of weapons and military equipment / I. B. Chepkov, S. V. Lapitsky, A. N. Grebenyk, A. A. Rasstrygin, M. I. Vaskovsky, A. V. Gurnovich, A. N. Kuprinenko, S. P. Bysyk, M. A. Shishanov, I. I. Derkach / edited by S. V. Lapitsky. K.: Dmitry Burago Publishing House, 2015. 504 p. [in Russian].

3. Vedrov V. S., Tayts M. A. Flight tests of aircraft. Textbook. Moscow: Oborongiz, 1951. 484 p. URL: <https://k.twirpx.link/file/342384/> [in Russian].

4. Obod I. I., Zavolodko G. E., Svid I. V. Mathematical modeling of systems: textbook. Kharkiv: MADRID Printing House, 2019. 268 p. [in Ukrainian].

5. Permiakov O. Yu., Koroliuk N. O., Faraon S. I. Orhanizatsiia informatsiinykh system Zbroinykh Syl Ukrainy : navchalnyi posibnyk. Kyiv: NUOU im. Ivana Cherniakhovskoho, 2019. 143 s.

6. Kulba P. P., Fedenko V. M., Cherednikov O. M., Chupryna V. M. Identification of regression models of helicopter airworthiness in the methods of conducting flight characteristics tests by mathematical planning of experiments. Informatics, control and artificial intelligence. Kharkiv – Kramatorsk, 2022: Abstracts of the ninth international scientific and technical conference. P. 80 [in Ukrainian].

7. Fedenko V. M., Timoshenko A. V. On increasing the efficiency of test flights and the flight characteristics assessment test program in general. *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine: Scientific and Technical*

Journal. Kharkiv, 2011. Issue 1(5). P. 59–61 [in Ukrainian].

8. Kulba P. P., Sergienko A. I. Improving the methods of conducting tests to determine the flight and technical characteristics of helicopters taking into account the requirements of European criteria for airworthiness certification of military aircraft. Creation and modernization of weapons and military equipment in modern conditions: proceedings of the XXI scientific and technical conference, September 2-3, 2021. DNDI of the Armed Forces of Ukraine. Chernihiv: Publisher Braginets O.V., 2021. P. 171-172 [in Ukrainian].

9. Kulba P. P., Fedenko V. M., Cherednikov O. M., Chupryna V. M. Taking into account the requirements of European criteria for certification of airworthiness of aircraft in the methods of testing flight performance characteristics of helicopters. *Collection of scientific works of the State Research Institute for Testing and Certification of Armaments and Military Equipment*. Chernihiv, 2021. Issue No. 4(10). 108–116 [in Ukrainian].

10. Bursala O. L., Boyarov V. T., Cherednikov O. M. Regressive model of flight safety of military aviation equipment. XVII International Scientific Conference of the Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Forces "Latest Technologies – for Airspace Protection": abstracts, April 14–15, 2021. Kh.: I. Kozhedub Kharkiv National University of Air Forces, 2021. P.172 [in Ukrainian].

11. Pavlenko P. M., Filonenko S. F., Cherednikov O. M., Treytyak V. V. Mathematical Modeling of Systems and Processes: Textbook. K.: NAU, 2017. 392 p. [in Ukrainian].

12. Matviychuk V. A., Veselovska N. R., Shargorodsky S. A. Mathematical Modeling of Modern Technological Systems: Monograph. Vinnytsia: TVORY, 2021. 193 p. [in Ukrainian].

13. Palchevsky B. O. Research of technological systems (modeling, design, optimization): textbook. Lviv: Svit. 2001. 232 p. [in Ukrainian].

14. Kononyuk A. E. Fundamentals of scientific research (general theory of experiment). Book 2. Monograph. K.: 2010. 452 p. [in Russian].

15. Chepkov I. B. Using advanced scientific knowledge, technological developments and innovations to strengthen the defense capability of the state and achieve military superiority in the technological sphere. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2021. No. 6. P. 59-62 [in Ukrainian].

Надійшла до редакції 12.10.2025