

УДК 006.91:21.03.519.95

В. В. Хижняк,*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник Науково-дослідного центру авіації
Українського науково-дослідного інституту
цивільного захисту,***А. О. Литовченко,***молодший науковий співробітник
Науково-дослідного центру авіації
Українського науково-дослідного інституту
цивільного захисту*

Контент метрологічного забезпечення в сучасній системі полігонних випробувань авіаційної техніки державної авіації України

Запропоновано нові підходи до організації та здійснення метрологічного забезпечення випробувань зразків авіаційної техніки в системі державної авіації України.

Ключові слова: державна авіація України, випробування авіаційної техніки, метрологічне забезпечення випробувань.

Повітряний кодекс України, яким встановлено правові основи діяльності в галузі авіації, затверджений Законом України № 3393-VI від 19 травня 2011 р. [1]. На Міністерство оборони України як центральний орган виконавчої влади покладене завдання регулювання діяльності державної авіації України, зокрема щодо реєстрації та допуску державних повітряних суден і літальних апаратів, підтримання їхньої льотної придатності, випробування та прийняття в експлуатацію нових типів повітряних суден, призначених для використання в державній авіації України [2].

На сьогодні в системі державної авіації України проводяться випробування більшості типів літальних апаратів (ЛА) в межах робіт з модернізації та розширення бойових можливостей після дообладнання спеціальними засобами. Важливе значення для забезпечення справності авіаційної техніки (АТ) мають випробування, що проводяться з метою збільшення ресурсних показників складових частин конструкції ЛА та систем бортового обладнання [3].

Абсолютно новою сферою діяльності нині є випробування безпілотних літальних апаратів (БпЛА), які сьогодні широко використовуються в збройному протистоянні на Донбасі. Загалом проведено випробування десятків зразків БпЛА як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Триває завершальний етап визначальних відомчих випробувань вітчизняних зразків БпЛА різних класів. У перспективі – випробування БпЛА спільного українсько-польського виробництва, який за своїм технічним рівнем не поступається аналогам провідних країн світу.

Війна на Донбасі значно прискорює процес підготовки, організації та проведення випробувальних робіт, що, у свою чергу, вимагає реалізації адекватних заходів з підвищення (або хоча б не зниження) вимог до достовірності результатів, які визначаються вибором вимірювальних характеристик і параметрів, засобів вимірювань та контролю.

Вимірювання – основа випробувань; у процесі підготовки та проведення випробувань проводиться оцінювання параметрів і характеристик безпосередньо зразка АТ, який підлягає випробуванням, умов проведення випробувань, метрологічних характеристик засобів вимірювань і контролю, випробувального обладнання та устаткування.

Для достовірного оцінювання всіх цих параметрів і характеристик використовуються до десятків тисяч прецизійних засобів вимірювань та контролю, які також, безумовно, призначені і для технічного забезпечення спеціально обладнаних випробувальних полігонів та центрів [4].

Водночас, попри значні витрати на метрологічне забезпечення випробувальної діяльності, які становлять до 30–50% усіх витрат на випробування, кількість вимірювальних задач, не забезпечених засобами вимірювань, практично не скорочується. Це призводить до збільшення часу підготовки випробувань, кількості неатестованих випробувальних систем і комплексів.

В існуючій на сьогодні системі метрологічного забезпечення випробувань зразків АТ реалізована концепція, згідно з якою випробування розглядаються як один з етапів життєвого циклу об'єкта, а метрологічне забезпечення випробувань – як один з елементів метрологічного забезпечення об'єкта на одному з етапів його життєвого циклу [4, 5]. Звідси – обмеженість підходів до вирішення задач метрологічного забезпечення випробувань, що не дає можливості в повному обсязі врахувати всі аспекти вимірювальних задач, котрі виникають при випробуваннях, їх спільного впливу на ефективність вимірювань в умовах недостатності апріорних даних про параметри об'єктів випробувань та випробувального й вимірювального обладнання, що застосовується при випробуваннях.

Відповідно до прийнятої концепції випробувань будується система відповідальності різних служб випробувальних полігонів. Передусім це стосується служби вимірювань і метрологічної служби [6]. Значущість цього питання настільки очевидна, що без єдиного методичного підходу до визначення місця й ролі метрологічного забезпечення в загальній системі випробувань жодні метрологічні основи не будуть досить повно реалізовані.

З метою систематизації вимірювальних задач за їхнім місцем у випробувальному процесі потрібно розробити структурну модель взаємодії вимірювальних і випробувальних операцій під час випробувань. Основними труднощами при синтезі такої моделі є диференціація близьких за змістом задач на метрологічні і власне випробувальні.

Кожна з наук (метрологія, теорія випробувань) історично розвивалася незалежно. Тому при спробі дати визначення метрологічному забезпеченню випробувань маємо справу з протиріччями у визначенні близьких за змістом понять, таких як засіб випробувань, засіб вимірювань, вимірювальний комплекс, випробувальна система тощо. Для зняття цих протиріч потрібно інтегрувати перелічені часткові поняття в більш загальні [7].

Методично це зводиться до переходу від галузевої диференціації наукових задач до проблемно-орієнтованої композиції на основі формування з елементарних більш загальних понять. Ключовими поняттями в проблемі, що розглядається, є «вимірювання параметрів (фізичних величин)» і «випробування об'єктів».

Загальноприйнято, що вимірювання фізичних величин – це знаходження значення фізичних величин дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Випробування – експериментальне визначення кількісних та/або якісних характеристик об'єкта як результату заданого впливу при функціонуванні та/або при моделюванні об'єкта випробувань чи впливів [8].

Маючи на увазі особливості вимірювань параметрів і випробувань зразків АТ, розглянемо ці поняття детальніше з погляду практики метрологічної та випробувальної діяльності. Характеристикою інформації, яка визначається при фізичних вимірюваннях, у тому числі при випробуваннях, є фізична величина. Значення, яке

цікавить споживача, може бути отримане безпосередньо чи опосередковано за результатами обробки вимірювань. В обох випадках застосовується прийнята шкала фізичної величини, що має важливе значення при відображенні кількісних значень результатів вимірювань. Шкала фізичної величини відбиває як досягнення практики вимірювань, так і потреби у вимірювальній інформації.

При випробуваннях АТ, як правило, перевіряються численні кількісні та якісні показники призначення. Обумовлені при випробуваннях показники можуть співвідноситися з вимогами замовника до об'єкта складним чином. Специфіка випробувальної діяльності полягає в унікальності кожного об'єкта випробувань, тому говорити про загальноприйняті шкали показників призначення не доводиться.

Водночас для кожного об'єкта розробка переліку контрольованих при випробуваннях показників починається практично одночасно з розробкою самого об'єкта. У цьому випадку можна говорити про розробку шкали показників, тобто відображення станів об'єкта в область значень показників, оскільки показники призначення, як і фізичні величини, повинні відповідати вимогам еквівалентності й упорядкування [9].

Шкали результатів випробувань розробляються на основі вимог до об'єкта, які в процесі розробки, з наближенням етапу випробувань, перетворюються на показники призначення, але з урахуванням можливостей експериментальної бази. Практичний аспект спрямованості цієї роботи найчастіше переважає, тому що витрати на створення випробувальної бази порівнянні з витратами на створення об'єкта.

Розробка вимог до засобів випробувань (вимірювальні комплекси, пристрої відтворення тощо) і супроводження процесу їхньої розробки, власне кажучи, охоплюють реалізацію шкали показників об'єктів випробувань. Здійснювати ці задачі повинні фахівці, які відповідають за якість випробувань.

Структурний аналіз інформаційних операцій, проведених при випробуваннях складних об'єктів, дає змогу виокремити в них власне вимірювальні операції. Для опису інформаційних операцій можна скористатися методичним підходом А. С. Бондаревського та В. Н. Сре-тенського [10].

Відтворення події (величини) описується перетворенням " ω " \rightarrow ω значення характеристик інформації в ідеальній сфері " ω " у значення характеристики в реальній сфері ω , а вимірювання величини – перетворенням $\omega \rightarrow$ " ω ". Нехай при випробуваннях складних об'єктів відповідно до програми відтворюються події " Z_B " $\rightarrow Z_B$ і мають місце зовнішні умови " Z_W " $\rightarrow Z_W$, що впливають на об'єкт випробувань (рис. 1).

Вимірюванням підлягають не лише параметри об'єкта (перетворення $X_* \rightarrow "X_*$ "), а й величини, що характеризують режими умов випробувань ($X_B^* \rightarrow "X_B^*$ ", $X_W^* \rightarrow "X_W^*$ "). Результати вимірювань використовуються при прийнятті

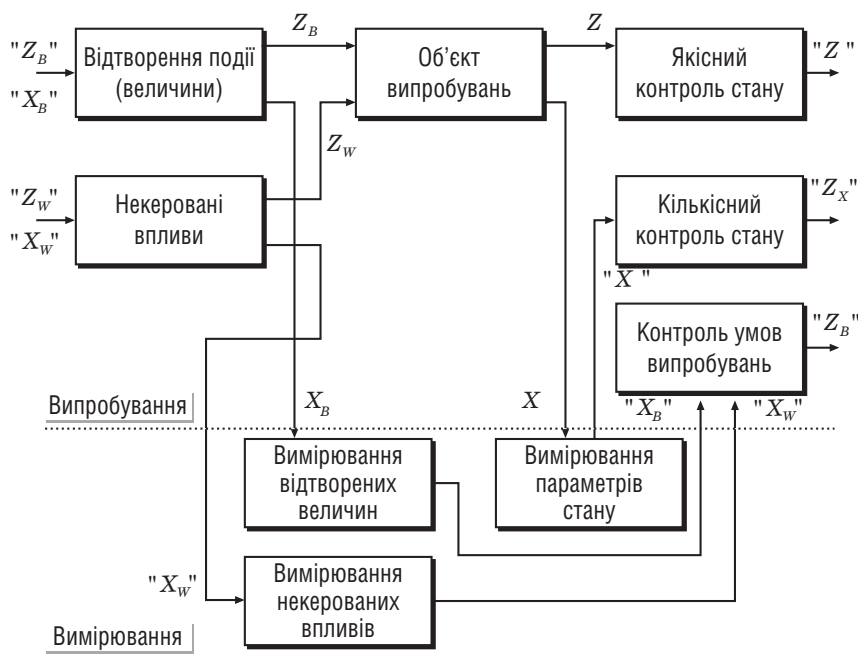


Рис. 1. Взаємодія вимірювальних і випробувальних операцій у процесі випробувань АТ

рішень за результатами випробувань. Структурна схема на *рисунку 1* дає змогу виокремити та обмежити область метрологічного забезпечення в загальній схемі випробувального процесу. Це, однак, не означає, що перелік задач метрологічного забезпечення випробувань обмежується трьома групами точок зору, як показано на *рисунку*.

Для того, щоб вимірювання виду $X \rightarrow X$ не приводили до помилок прийняття рішень за результатами випробувань, засоби вимірювань, що застосовуються, мають поводитися відповідно до чинної ієрархії еталонів.

Крім цього, періодичній атестації шляхом вимірювального контролю має піддаватися обладнання, яке відтворює режим випробувань. До метрологічної задачі варто віднести також проведену на етапі випробувань експертизу методів і засобів метрологічного забезпечення технічного об'єкта.

Схема на *рисунку 1* відображає загальну структуру задач метрологічного забезпечення, характерну не для всіх видів та об'єктів випробувань. Разом з тим, для натурних випробувань найбільш складних зразків АТ властива наявність усіх зазначених вимірювальних операцій.

Зі структурної схеми на *рисунку 1* і загальноприйнятого визначення метрології випливає, що метрологічне забезпечення випробувань АТ має бути спрямоване на забезпечення єдності вимірювань параметрів, що впливають на об'єкти випробувань і параметрів відгуку, які характеризують об'єкт у фазовому просторі станів. Ураховуючи зазначене, можна дати таке визначення поняття метрологічного забезпечення випробувань АТ:

Метрологічне забезпечення випробувань АТ – комплекс заходів із забезпечення єдності вимірювань параметрів зразка АТ, параметрів впливів на зразок, що створюються спеціальними випробувальними установка-

ми, параметрів навколишнього середовища, а також перевірка якості відпрацьовування питань метрологічного забезпечення зразка при його подальшій експлуатації замовником.

Залежно від об'єкта випробувань структура і перелік метрологічного забезпечення випробувань суттєво відрізняються. На *рисунку 2* як приклад наведена структура задач натурних випробувань ЛА на спеціально обладнаних полігонах. Ці задачі повинні виконуватися різними службами полігонів. Метрологічні служби полігонів мають організовувати і проводити всі повітряні роботи і брати участь у випробуваннях з перевірки якості метрологічного забезпечення зразка, що випробовується.

Завдання забезпечення вимірюваннями під час випробувань покладаються на полігонні вимірювально-обчислювальні комплекси (ПВОК). Технічні засоби, які входять до складу цих комплексів, не входять у систему метрологічного забезпечення випробувань об'єкта, а натомість самі є об'єктом метрологічного забезпечення.

На час розробки нормативно-технічних документів, які регламентували проведення випробувань, полігони Міністерства оборони були територіально визначені й мали у своєму складі ПВОК, спеціалізовані для випробувань зразків техніки в інтересах усіх видів та родів військ. У зв'язку із цим існувала можливість під час підготовки до випробувань АТ розглядати спроможність кількох існуючих ПВОК на предмет їх використання без дообладнання або ж максимально можливого використання вимірювальних та інших засобів, які мали у своєму розпорядженні ті чи інші полігони. В Україні такі можливості відсутні.

Роботи з атестації технічних засобів ПВОК, згідно з вимогами чинних нормативно-технічних документів,

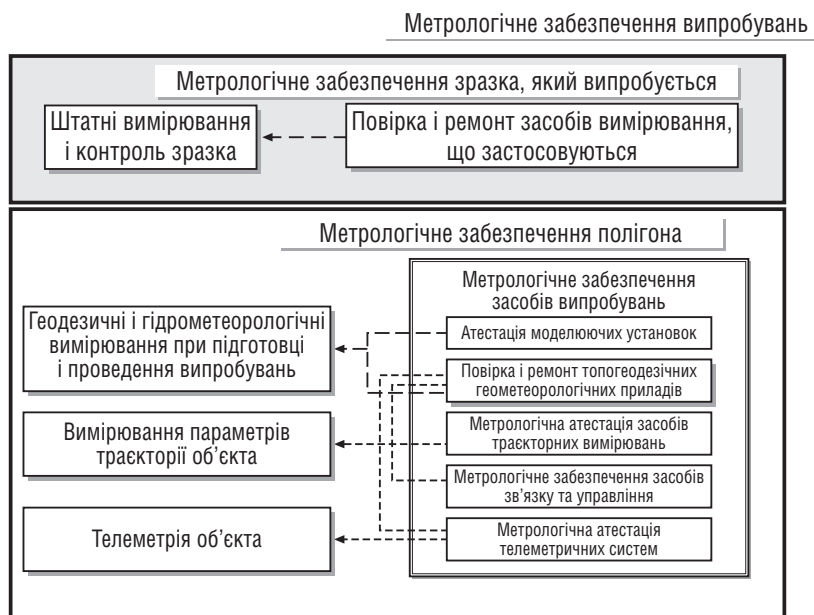


Рис. 2 Структурна схема задач метрологічного забезпечення полігонних випробувань АТ

проводяться шляхом експериментального оцінювання відповідності точності вимірювань заданим паспортним вимогам (паспортизація ПВОК).

Роботи з паспортизації покладаються на організацію, яка експлуатує ПВОК згідно з методиками розробника комплексу. Методики паспортизації розробляються розробником ПВОК у процесі його проектування і повинні міститися в проектній документації. Методики паспортизації окремих вимірювальних засобів розробляються організаціями, котрі проектують ПВОК, до складу якого входять ці засоби, із залученням організацій-розробників засобів.

Існуючі на сьогодні методики паспортизації ґрунтуються на таких принципах оцінювання похибок вимірювань [11]:

- порівняння результатів вимірювань менш точних вимірювальних засобів з результатами більш точних;
- порівняння результатів вимірювань окремих засобів з результатами статистичної обробки вимірювань групи засобів, які мають сумірну точність;
- порівняння результатів вимірювань засобів, що мають сумірну точність, але розміщуються відносно окремих ділянок траєкторії так, що результати перерахунку вимірювань одного засобу в систему координат іншого можуть слугувати еталоном.

Але ці методики паспортизації на сьогодні не забезпечують отримання вірогідних результатів за рахунок багатоетапної процедури атестації комплексу, яка охоплює, крім експериментальних досліджень, ще й лабораторні випробування та процедури моделювання точнісних характеристик.

Як свідчить практичний досвід, проект ПВОК варто розробляти для кожного конкретного випадку випробу-

вань. На сьогодні відсутні методичні документи, які встановлюють вимоги до робіт з метрологічної атестації багатопозиційних траєкторних вимірювальних комплексів, наявні лише рекомендації стосовно складу задач атестації комплексів конкретних полігонів [12].

Тому потрібні відповідні методики, які дали б змогу ефективно та в стислі терміни вирішувати задачу забезпечення випробувань вимірюваннями з урахуванням, поперше, потреб випробувань і, по-друге, можливостей наявного ПВОК. В основу багатоетапної процедури метрологічної атестації ПВОК випробувального полігона може бути покладений розрахунково-експериментальний метод атестації, який базується на моделях точнісних характеристик складових систем комплексу загалом і на способі ідентифікації моделі точнісних характеристик за результатами експериментальних досліджень [13]. Метод включає лабораторні випробування складових систем, моделювання точнісних характеристик, експериментальні дослідження точнісних характеристик при розміщенні засобів комплексу на технічних позиціях полігона.

Метрологічну атестацію спеціальних полігонних комплексів траєкторних і телеметричних вимірювань мають проводити вимірювальні служби полігонів за участю фахівців-метрологів.

Прикладами необхідності осучаснення системи метрологічного забезпечення випробувань, зокрема системи метрологічної атестації випробувальних засобів вимірювань, можуть слугувати ситуації, які виникали під час випробувань літаків АН-32П, АН-70 та АН-178:

- більшість літакових систем мають свій замкнений цикл контролю працездатності (МКИУС-32-2БР, КБТИ-70, АИС-70ВЧ тощо), датчикова частина яких входить до їх складу. У цій системі виконуються також оцифровка

і кодування значень з видачею в загальну лінію обміну інформації між системами. Однак точнісні характеристики вимірювань і видачі інформації про параметри в інші системи не нормуються технічним завданням і відсутні нормативні документи оцінювання їхніх характеристик;

- відсутнє обґрунтування допусків на відхилення параметрів, що потребує невиправданих витрат на застосування дорогоцінної апаратури або на проведення тривалішого за часом експерименту чи більшого набору статистики;

- закладений алгоритм самовимкнення двигунів при перевищенні допустимої вібрації з метою виключення руйнування двигуна отримує інформацію від джерела, котре неоднозначно підтверджує небезпеку руйнування двигуна, і цей алгоритм з метрологічного погляду не оцінюється.

Надання на випробування перспективних зразків АТ, які мають значні відмінності своїх технічних характеристик від попередників, потребує для виконання вимірювань використання нових вимірювальних засобів, їх оптимального розміщення на полігоні, а також нових методів вимірювань та обробки результатів вимірювань. Крім того, аналіз стану й тенденцій у теоретичній і практичній сферах забезпечення якості та ефективності складних технічних систем показує, що недоліки при організації та проведенні метрологічного забезпечення випробувань зразків АТ лише посилюватимуться. Цьому сприяють об'єктивні причини.

По-перше, широке впровадження основ сертифікації в усі галузі технічних знань, проектування і виробництва технічних систем приводить до підвищення вимог від обов'язкової атестації всього випробувального обладнання до компетентності фахівців і методичного забезпечення випробувань [13,14].

По-друге, для випробувань нових поколінь більш складних зразків АТ вимагаються спеціалізовані випробувальні стенди, датчики і вимірювальні системи [15]. Наприклад, окремі засоби бортових вимірювань отримують інформацію про параметри від загальних ліній обміну інформацією між літаковими системами, при цьому при проведенні метрологічних експертиз точність видачі окремих параметрів залишається недостовірною (не оціненою). У результаті має місце тенденція до індивідуалізації задач метрологічного забезпечення випробувань, а це, у свою чергу, призводить до нагромадження у випробувальних центрах надлишкової номенклатури й кількості засобів випробувань, атестація яких становить значну організаційну та економічну проблему.

По-третє, випробування нових складних об'єктів, з одного боку, займають багато часу, а з другого боку – становлять слабо організований процес, коли залежно від проміжних результатів може змінюватися програма випробувань. На цей процес накладається часовий дрейф характеристик як об'єкта випробувань, так і обладнання всього випробувального комплексу. Виникає необхідність

адаптивної корекції стратегії метрологічного забезпечення безпосередньо в процесі випробувань об'єктів [16].

По-четверте, окремі системи літака мають бортові обчислювальні комплекси, які формують певний алгоритм роботи. При проведенні робіт за їхніми матеріалами виникає потреба в приведенні самої системи літака у відповідність до технічних умов, при цьому програмно змінюється алгоритм роботи системи й виникає необхідність (згідно із чинними документами) повторювати весь цикл проведених до цього робіт. Керівними документами не передбачена можливість зміни алгоритмів у таких системах та порядок їх метрологічного оцінювання.

По-п'яте, мультиплексна система реєстрації параметрів має можливість документування на борту подій, які відбуваються в польоті, та відображення окремих параметрів у реальному часі. Для цього вона містить пристрій запису, дешифрування та обробки інформації. Проте при проведенні метрологічної атестації самої мультиплексної системи метрологічний аспект програм обробки не оцінюється на борту літака, оскільки оцінювався в наземному пристрої обробки польотної інформації, хоча їх однаковість не доведена. Така побудова системи бортових випробувань і поява нових задач (відображення і документування на борту в реальному часі параметрів) потребує нестандартного підходу до оцінювання їхніх метрологічних характеристик.

Узагальнюючи зазначене, можна сформулювати такий висновок: необхідно створити таку систему метрологічного забезпечення випробувань зразка АТ, щоб витрати на її створення й функціонування були мінімальними при виконанні цим зразком свого призначення відповідно до встановленого нормативними документами критерію його ефективності з урахуванням обмежень щодо кваліфікації персоналу, структури об'єкта випробувань, динамічного характеру процесів випробувань та флуктуації їхніх характеристик і параметрів, показників існуючої системи логістичного забезпечення АТ у процесі подальшої експлуатації її зразка.

Перелік літератури

1. Повітряний кодекс України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3393-17>.
2. Руснак І. С., Хижняк В. В. Регулювання діяльності державної авіації України як фактор підтримання безпеки виконання суб'єктами державної авіації покладених завдань / І. С. Руснак, В. В. Хижняк // Наука і оборона. – 2014. – № 1. – С. 31–37.
3. Яцик А. Процес випробування військової техніки та озброєння прискорився в рази / А. Яцик // Народна армія. – 2016. – 26 серпень.
4. Андреев Е. В., Лукашов Б. П. Метрологические испытательные базы – гарантии качества и надежности разрабатываемых систем / Е. В. Андреев, Б. П. Лукашов // Приборы и системы управления. – 1993. – № 8. – С. 41.
5. Сретенский В. Н. Метрологическое обеспечение производства приборов микроэлектроники / В. Н. Сретенский. – М. : Радио и связь, 1988. – 144 с.

6. Камінський В. Ю., Хижняк В. В. Проблеми метрологічного забезпечення випробувань складних зразків озброєння та військової техніки / В. Ю. Камінський, В. В. Хижняк // Системи обробки інформації : зб. наук. праць. – Харків : ХВУ, 2004. – № 4. – С. 227–234.

7. Асеев Б. Е. Об информативности контроля в процессе испытаний технических систем / Б. Е. Асеев // Измерительная техника. – 1993. – № 2. – С. 34–35.

8. Сергеев А. Г., Латышев М. В., Терегеря В. В. Метрология, стандартизация, сертификация / А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, В. В. Терегеря. – М. : Логос, 2001. – 536 с.

9. Пиотровский Я. Теория измерений для инженеров / Я. Пиотровский; пер. с польск. – М. : Мир, 1989. – 335 с.

10. Бондаревский А. С., Сретенский В. Н. Измерения, контроль, испытания – эволюция понятий / А. С. Бондаревский, В. Н. Сретенский // Итоги науки и техники. – Серия «Метрология и измерительная техника». – Т. 7. – М. : ВИНТИ, 1990. – С. 149–179.

11. Хижняк В. В. Обґрунтування можливих варіантів створення полігонної системи траєкторних вимірювань на базі приймачів сигналів супутникових навігаційних систем / В. В. Хижняк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2003. – № 4 (4). – С. 176–182.

12. Новодворский Е. П., Поярков Г. И., Харин Е. Г. и др. Методология летных испытаний пилотажно-навигационного оборудования самолетов и вертолетов / Е. П. Новодворский, Г. И. Поярков, Е. Г. Харин; под ред. Е. П. Новодворского и Е. Г. Харина. – М. : Машиностроение, 1983. – 300 с.

13. Хижняк В. В. Розрахунково-експериментальний метод метрологічної атестації полігонного вимірювально-обчислювального комплексу / В. В. Хижняк // Збірник матеріалів VIII науково-практичної конференції «Сучасний стан розробок та модернізації авіаційної техніки». Феодосія, 4–5 вересня 2008 р. – Феодосія, 2008. – С. 14–22.

14. Сертификация: принципы и практика / пер. с англ. – М. : Изд. стандартов, 1993. – 88 с.

15. Зоргач Д. Упровадження ДСТУ ISO/IEC 17025. Узагальнений аналіз / Д. Зоргач, В. Новіков, А. Пазюк // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2010. – № 1. – С. 14–16.

16. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT) : ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 – [Чинний з 1 липня 2007 р.]. – К. : Держспоживстандарт, 2007. – 32 с. – (Національний стандарт України).