

Загальні питання

УДК 519.87:316.458.6

DOI: 10.30748/zhups.2019.62.17

А.М. Науменко, І.П. Ольшевський, О.В. Спанчак

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТОМОГРАФІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ЗОБРАЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Предметом вивчення в статті є аналіз методів томографічних вимірювань зображення внутрішньої структури об'єктів та їх застосування. Метою статті є аналіз методів томографічних вимірювань зображення внутрішньої структури об'єктів та їх застосування. Задача, що вирішується, – обґрунтування доцільного використання томографічних вимірювань, впровадження яких в практику роботи виїзних метрологічних груп дозволять підвищити якість та швидкість виявлення несправностей об'єктів. В статті розглядається: аналіз, загальна методика та методи відтворення образу просторового розподілу фізичної величини у томографічних вимірюваннях. Висновки: на основі аналізу можна зробити висновок, що томографічні вимірювання застосовуються у різноманітних галузях. Силами обслуги виїзних метрологічних груп проводиться перевірка приладів та контроль різних параметрів в основу яких можуть бути використані і методи томографічних вимірювань.

Ключові слова: *томографічні вимірювання, пряма задача томографії, обернена задача томографії.*

Вступ

Постановка задачі. Одним із завдань обслуги виїзних метрологічних груп є калібрування та повірка метрологічних засобів, за допомогою якого здійснюється приведення до єдності вимірювання зразків техніки, що безпосередньо впливає на їх якість.

Для досягнення цієї мети сьогодні використовують відомі методи та засоби вимірювань. Досвід використання метрологічних приладів показав необхідність їх залучення до виявлення несправності техніки, прогнозування хвороби та захворювання у громадян. Вимірювання за допомогою томографічних приладів мають певні переваги перед традиційними, найголовніші серед яких полягають у тому, що в результаті томографічних вимірювань отримують інформацію про просторовий розподіл (а не локальне значення) досліджуваного параметра об'єкту, при цьому відбір вимірювальної інформації здійснюється без розміщення вимірювальних перетворювачів всередині об'єкту, а лише на його зовнішній границі. Тобто можна говорити про томографічні вимірювання як безконтактні вимірювання. Тому тема статті є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, викладено в

наказах [1–3], в статтях [4–5], літературі [6–11] та інструкції [12]. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості викладено в статтях [4]. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення викладено в статті [5]. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення операції Об'єднаних Сил викладені в літературі [6–11].

Метою статті є аналіз методів томографічних вимірювань зображення внутрішньої структури об'єктів та їх застосування.

Виклад основного матеріалу

Томографічне вимірювання – це вимірювання просторового розподілу фізичної величини у внутрішній частині досліджуваного середовища за сукупністю результатів вимірювань зовнішніх величин, що пов'язані з розподілом шуканої певними інтегральними залежностями. Незалежно від фізичного принципу, покладеного в основу такого вимірювання, а також незалежно від способу відтворення образу, томографічні вимірювання здійснюються за узагальненою схемою, яка показана на рис. 1.

Першою особливістю томографічних вимірювань є те, що вимірювальні перетворювачі розмі-

щують на границі (краях) об'єкта навколо досліджуваного середовища, а шукають просторові значення величини $Q_x(x, y, z)$ середовища всередині об'єкта. Томографічні вимірювання використовують тоді, коли властивості вимірювального об'єкта є такими, що розмістити вимірювальні перетворювачі у досліджуваній зоні є або технічно неможливо, або таке розміщення є недоцільним чи з точки зору безпеки, чи швидкого виходу перетворювачів з ладу, чи навіть із економічних причин – кошти можуть виявитися великими.

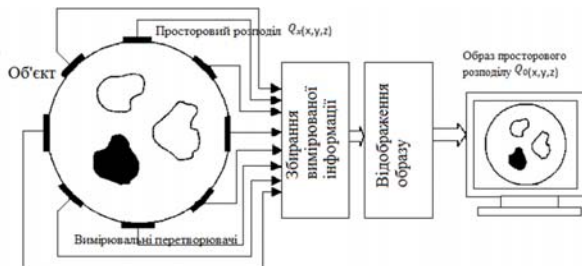


Рис. 1. Узагальнена схема томографічного вимірювання

Другою важливою особливістю томографічних вимірювань (що детальніше буде показано нижче) є певна інтегральна (у просторових координатах) залежність вихідних сигналів, а значить і результатів первинних вимірювань, від шуканого просторового розподілу, тобто

$$I_{\sigma_i}^{meas} = \iiint L[Q_x(x, y, z)] d\sigma, \quad (1)$$

де $L[-]$ – оператор, в загальному випадку нелінійний, що пов'язує кожне локальне значення досліджуваної величини $Q_x(x, y, z)$ з окремим значенням I_{σ}^{meas} безпосередньо вимірюваної величини (вид оператора залежить від фізичного принципу, покладеного в основу томографічного вимірювання): σ_i – область інтегрування в i -му просторовому ракурсі (між заданими позиціями вимірювальних перетворювачів). Для різних фізичних принципів інтегрування може відбуватися вздовж ліній l_i , в тому числі замкнених, по поверхнях S_i чи об'ємах V_i .

Таким чином, первинні результати вимірювань величин з виходів вимірювальних перетворювачів містять вимірювальну інформацію про сукупний вплив всього досліджуваного середовища, а не про якесь його значення у певній локальній точці, що має місце у звичайних вимірюваннях просторового розподілу (поля) фізичної величини. У звичайній системі вимірювальні перетворювачі встановлюють у ті місця об'єкту, у яких нас цікавлять значення вимірюваної величини, і перетворювачі сприймають локальні значення поля та їх вихідні сигнали є пропорційними до цих значення. Просторовий розпо-

діл величини, при цьому розраховують шляхом інтерполяції або апроксимації вибраними функціями.

За усталеною класифікацією різновидів вимірювань томографічні вимірювання є непрямими вимірюваннями, і вони мають певні властивості як сукупних, так і сумісних вимірювань. Це пояснюється тим, що шуканий просторовий розподіл вимірюваної величини може бути знайдений у вигляді зваженої суми відомих базових функцій, помножених на невідомі, шукані коефіцієнти, що має місце у сумісних вимірюваннях, а самі первинні результати вимірювань відображають сукупний просторовий вплив всіх частин досліджуваного середовища, що має місце у сукупних вимірюваннях. Ще раз слід підкреслити, що на відміну від звичайних вимірювань, у томографічних первинні результати містять інтегральну інформацію про просторовий розподіл величини, і тому при відтворенні образу за первинними результатами у явній чи неявній формі мусять бути виконані операції їх диференціювання. Це тягне за собою проблеми забезпечення стійкості розв'язування задач при знаходженні образу.

Томографічні методи ґрунтуються на різноманітних фізичних принципах і використання того чи іншого принципу залежить від багатьох факторів, в першу чергу від фізичних властивостей об'єкта дослідження. Практично всяке фізичне явище може бути використане для побудови томографічної системи. На вибір принципу впливають також необхідна точність відтворення образу розподілу величини, ступінь складності реалізації та ін.

Для таких вимірювань найчастіше використовуються:

- випромінювання самого досліджуваного середовища – це теплове і радіоактивне випромінювання, а також випромінювання хвиль різної фізичної природи (електромагнітних, оптичних, ультразвукових, акустичних);

- взаємодія зовнішнього випромінювання з досліджуваним середовищем – поглинання, відбивання, дифракція, інтерференція хвиль, затримка їх поширення;

- електричні та магнітні властивості середовища (питома провідність, діелектрична та магнітна проникність), електродинамічні та індукційні явища при русі електрично - та магнітно - заряджених частинок середовища;

- резонансні явища, що відбуваються на атомному і ядерному рівнях.

Вище було відмічено, що найважливішою ознакою томографічних вимірювань є певна інтегральна залежність результатів первинних вимірювань від просторового розподілу шуканої величини. Цей факт вимагає використання відповідних нетрадиційних методів відтворення томографічних образів.

В найбільш загальному плані основні операції знаходження результату томографічного вимірювання – образу просторового розподілу величини показані на рис. 2.

Таким чином, для відтворення образів просторового розподілу фізичних величин необхідно розв'язувати так звані прямі та обернені задачі томографії, при цьому методи розв'язувань цих задач залежать від виду томографії.

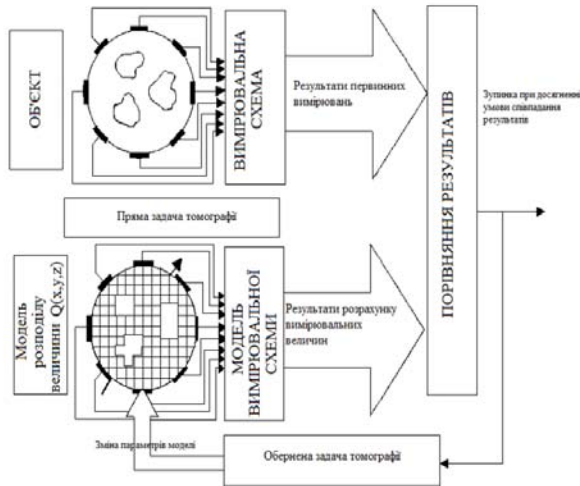


Рис. 2. Узагальнений спосіб відтворення образу просторового розподілу фізичної величини при томографічних вимірюваннях

Зауважимо, що при звичайних вимірюваннях неявно також розв'язують ці задачі, але вони, зазвичай, у порівнянні до томографічних мають значно простіший зміст.

Пряма задача (рис. 3) полягає у розрахунку очікуваних результатів первинних вимірювань для заданих математичних моделей фізичних процесів в об'єкті, просторового розподілу вимірюваної величини і вимірювальної схеми (вид, кількість, розміри, спосіб розміщення вимірювальних перетворювачів, спосіб зондування об'єкта, тощо).

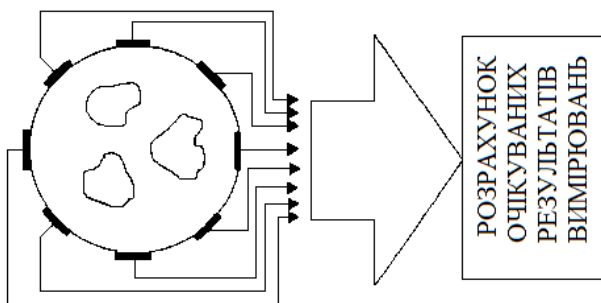


Рис. 3. Пряма задача томографії

Практичне застосування томографії полягає не в обчисленні результатів вимірювань за відомим розподілом величини, а навпаки, в відтворенні образу просторового розподілу величини за відомими результатами вимірювань. В цьому випадку гово-

рять про обернену задачу томографії (рис. 4). Її розв'язування є однією з найскладніших проблем вимірювальної томографії.

Отже, обернена задача електричної томографії полягає у розв'язуванні системи нелінійних рівнянь. Для такого типу задач застосовують методи ньютонівського типу, методи оптимізації (градієнтні методи), а також є пропозиції щодо використання нових методів, зокрема, основаних на використанні нейронних мереж.

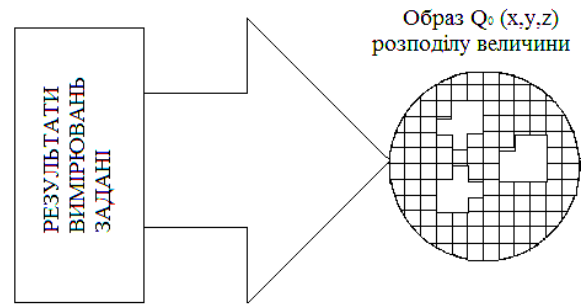


Рис. 4. Обернена задача томографії

Перші два методи є ітераційними методами, в яких на кожній ітерації чергове наближення провідності (у останньому виразі для конкретності прийнято $x = y$) знаходять за виразом

$$\gamma^{(k+1)} = \gamma^{(k)} + \Delta\gamma^{(k)}, \text{ або } \gamma^{(k)} \rightarrow \gamma^{(k+1)}, \quad (2)$$

і різняться між собою способом знаходження чергового наближення γ^{k+1} .

З метою створення високоточних томографічних систем, які застосовуються безпосередньо в приладах та апаратах виявлення несправностей техніки та системах, що використовуються виникає потреба в систематизації похибок томографічних вимірювань. Аналізуючи суть томографічного вимірювання, можна виділити 4 найважливіші етапи проходження вимірювальної інформації (рис. 5): (1) об'єкт, який є джерелом інформації, (2) засоби відбору вимірювальної інформації з об'єкта, (3) програма відтворення образу і, нарешті, (4) відображення результатів. Таке проходження вимірювальної інформації зі входу до виходу має відповідні методичний та інструментальний аспекти. При цьому слід враховувати, що зазначені процеси відбуваються в часовій координаті.

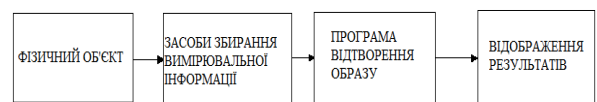


Рис. 5. Проходження вимірювальної інформації при томографічному вимірюванні.

Тому незалежно від фізичного принципу, способу перетворення сигналів та методу відтворення образу просторового розподілу величини, похибки

томографічного вимірювання можна розділити на методичні $\Delta_{мет}$, інструментальні $\Delta_{інстр}$ та динамічні $\Delta_{дин}$:

$$\Delta_{ТВ} = \Delta_{мет} + \Delta_{інстр} + \Delta_{дин}. \quad (3)$$

Методичні похибки. Методичні похибки безпосередньо пов'язані з математичними моделями вказаних вище етапів переносу вимірювальної інформації.

$$\Delta_{мет} = \Delta_{мод} + \Delta_{апрокс} + \Delta_{дискр} + \Delta_{об'єм}, \quad (4)$$

де $\Delta_{мод}$ – похибка моделі розподілу досліджуваної величини і вимірюваних величин;

$\Delta_{апрокс}$ – похибка апроксимації шуканого розподілу;

$\Delta_{дискр}$ – похибка від просторової дискретизації (скінченної кількості) результатів вимірювань;

$\Delta_{алгор}$ – похибка алгоритму відтворення образу розподілу фізичної величини;

$\Delta_{об'єм}$ – похибка від впливу об'ємного розподілу величини на результати вимірювань при реконструкції площинного розподілу.

Інструментальні похибки. Подібним чином можна виділити також основні інструментальні аспекти томографічного вимірювання і пов'язані з ними фактори похибок

$$\Delta_{інстр} = \Delta_{деф} + \Delta_{встановл} + \Delta_{вим} + \Delta_{завад} + \Delta_{реконстр} + \Delta_{образ}, \quad (5)$$

де $\Delta_{деф}$ – похибка від деформації розподілу величини перетворювачами;

$\Delta_{встановл}$ – похибка від встановлення перетворювачів на об'єкті в місцях, що не відповідають теоретично прийнятним, та від скінченних розмірів перетворювачів;

$\Delta_{вим}$ – похибка вимірювань зовнішніх величин;

$\Delta_{завад}$ – похибка від дії завад при вимірюваннях;

$\Delta_{реконстр}$ – обчислювальні похибки програмної реалізації алгоритму реконструкції;

$\Delta_{образ}$ – похибка розрахунку характеристик образу та його відображення.

Динамічні похибки. Параметри досліджуваного технологічного процесу змінюються у часі, при цьому, відповідно до суті основних етапів перетворення вимірювальної інформації томографічна система формує дискретну послідовність шуканого просторового розподілу величини, подібно як послідовність кадрів.

$$\Delta_{дин} = \Delta_{кадр} + \Delta_{усеред}, \quad (6)$$

де $\Delta_{кадр}$ – похибка від зміни образу розподілу за час між двома сусідніми кадрами;

$\Delta_{усеред}$ – похибка від часового й просторового усереднення результатів при відтворенні поточного образу.

Висновки

1. В статті проведено аналіз методів томографічних вимірювань зображення внутрішньої структури об'єктів та їх застосування.

2. Враховуючи аналіз можна зробити висновки, що томографічні вимірювання застосовуються у різних галузях народного господарства.

3. Силами обслуги виїзних метрологічних груп проводиться перевірка приладів та контроль різних параметрів в основу яких можуть бути використані й методи томографічних вимірювань.

Просторовий розподіл температури в основу якого покладені томографічні вимірювання є основою для апаратів для виявлення мінних полів, приладів, що побудовані на томографічних методах виявлення несправностей техніки систем управління систем оповіщення, теплової розвідки (виявлення суб'єктів та техніки), авіакосмічного знімання тепловізором, що мають перспективні напрямки розвитку обладнання та сучасної техніки.

Важливо зауважити, що томографічні вимірювання необхідно впровадити не тільки в медичні військові заклади, а також в мобільні шпиталі, а й в новітні прилади діагностування та виявлення несправностей.

Це надасть можливість ретельно діагностувати стан здоров'я громадян, а також скоротити час вводу до експлуатації техніки.

Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України “Про затвердження Положення про метрологічну службу Міністерства оборони України та Збройних Сил України № 288 від 24.05.2017” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/MUS31534.html.
2. Наказ Міністра оборони України “Про затвердження Концепції розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року № 12 від 18.01.2010”.
3. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України № 2 від 14.05.2007”.

4. Кононов В.Б. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації. – 2017. – № 1(147). – С. 88-92.
5. Кононов В.Б. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів виміральної техніки військового призначення / В.Б. Кононов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 8(85). – С. 231-234.
6. Основи експлуатації засобів виміральної техніки військового призначення в умовах проведення АТО / В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Водолажко, О.В. Коваль, І.І. Кондрашова. – Х.: ХНУПС, 2017. – 288 с.
7. Кононов В.Б. Застосування електричних вимірювань засобами виміральної техніки в умовах проведення АТО / В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль. – Х.: ХНУПС, 2018. – 392 с.
8. Кононов В.Б. Instrumentation and general principles of sensors. Part 1: / В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль. – Х.: ХНУПС, 2018. – 64 с.
9. Кузнецов І.Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
10. Кузнецов І.Б. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
11. Удосконалення парку пересувних лабораторій виміральної техніки як фактор підвищення оперативності та ефективності метрологічного обслуговування складних систем / І.Б. Кузнецов, В.Т. Марценківський, О.В. Ярошенко, О.В. Буяло, В.О. Проценко // Збірник наукових праць Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2011. – № 32. – С. 33-46.
12. Інструкція з організації роботи виїзних метрологічних груп метрологічних частин, затверджена начальником Центрального управління метрології і стандартизації – головним метрологом ЗС України від 09.10.2006.

References

1. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2017), “Pro zatverdzhennia Polozhennia pro metrolohichnu sluzhbu Ministerstva obrony Ukrainy ta Zbroinykh Syl Ukrainy No. 288 vid 24.05.2017” [About approval of the Provision on metrological service of the Ministry of Defence of Ukraine and Armed Forces of Ukraine No. 288 dated 24.05.2017], available at: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/MUS31534.html.
2. The Order of the Minister of Defense of Ukraine (2010), “Pro zatverdzhennia Kontseptsii rozvytku systemy metrolohichnoho zabezpechennia u sferi obrony na period do 2015 roku ta na perspektivu do 2025 roku No. 12 vid 18.01.2010” [About approval of the Concept for the development of the metrological support system in the field of defense for the period up to 2015 and for the perspective up to 2025 No. 12 dated 18.01.2010].
3. The Order of the Head of the Central Department of Metrology and Standardization (2007), “Pro zatverdzhennia Kerivnytstva z orhanizatsii vyrobnychoi diialnosti viiskovykh metrolohichnykh laboratorii v Ministerstvi obrony Ukrainy ta Zbroinykh Sylakh Ukrainy No. 2 vid 14.05.2007” [About approval of the Manual for the organization of production activities of military metrology laboratories in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine No. 2 dated 14.05.2007].
4. Kononov, V.B. and Burtseva, V.V. (2017), “Matematychni modeli vyznachennia kilkosti zamovlen na harantovane metrolohichne obsluhovuvannia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki z urakhuvanniam yikh vazhlyvosti” [Mathematical models for determination of the number of orders for guaranteed metrological maintenance of weapons and military equipment samples taking into account their importance], *Information Processing Systems*, No. 1(147), pp. 88-92.
5. Kononov, V.B. (2011), “Metodyka prohnozuvannia mozhlyvosti metrolohichnykh pidrozdiliv z vidnovlennia poskodzhennykh zasobiv vymiryvalnoi tekhniki viiskovoho pryznachennia” [Methodology of forecasting of possibilities of metrological units for the repair of damaged measuring equipment of military purpose], *Aerospace technic and technology*, No. 8(85), pp. 231- 234.
6. Kononov, V.B., Naumenko, A.M., Vodolazhko, O.V., Koval, O.V. and Kondrashova, I.I. (2017), “Osnovy ekspluatatsii zasobiv vymiryvalnoi tekhniki viiskovoho pryznachennia v umovakh provedennia ATO” [Fundamentals of Operation of Means of Measuring Equipment for Military Purposes under the conditions of ATO], KNAFU, Kharkiv, 288 p.
7. Kononov, V.B., Naumenko, A.M. and Koval, O.V. (2018), “Zastosuvanya elektrych ykh vymiryvan zasobam vumiryvalnoi tekhniki v umovakh provedennia ATO” [Application of electrical measurements by means of measuring equipment in the condition of ATO], KNAFU, Kharkiv, 392 p.
8. Kononov, V.B., Naumenko, A.M. and Koval, O.V. (2018), *Instrumentation and general principles of sensors. Part 1*, KNAFU, Kharkiv, 64 p.
9. Kusnetsov, I.B. and Yablonskiy, P.M. (2009), “Orhanizatsiia metrolohichnoho zabezpechennia viisk (syl)” [Organization of metrological support of troops (forces)], National University of Defense of Ukraine, Kyiv, 356 p.
10. Kusnetsov, I.B. and Yaroshenko, O.V. (2009), “Orhanizatsiia zastosuvannia peresuvnykh zasobiv metrolohichnoho obsluhovuvannia” [Organization of the using of mobile metrological services], National University of Defense of Ukraine, Kyiv, 356 p.
11. Kusnetsov, I.B., Martcenivskiy, V.T., Yaroshenko, O.V., Buyalo, O.V. and Protsenko, V.O. (2011), “Udoskonalennia parku peresuvnykh laboratorii vymiryvalnoi tekhniki yak faktor pidvyshchennia operatyvnosti ta efektyvnosti metrolohichnoho obsluhovuvannia skladnykh system” [Improvement of park of mobile laboratories of measuring technique as a factor of increasing efficiency and efficiency of metrological service of complex systems], *Collection of Scientific Works of Taras Shevchenko Kyiv National University*, No. 32, pp. 33-46.
12. Head of the Central Department of Metrology and Standardization - the main metrologist of the Armed Forces of Ukraine (2006), “Instruktsiia z orhanizatsii roboty vyiznykh metrolohichnykh hrup metrolohichnykh chastyn vid 09.10.2006” [Instruction of the organization of work of the visiting metrological groups of metrological units dated 09.10.2006].

Надійшла до редколегії 09.09.2019

Схвалена до друку 19.11.2019

Відомості про авторів:

Науменко Анатолій Миколайович
старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9021-5854>

Ольшевський Іван Петрович
старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9710-687X>

Спанчак Олена Вячеславівна
курсант Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9693-6847>

Information about the authors:

Anatolii Naumenko
Senior Instructor
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9021-5854>

Ivan Olshevski
Senior Instructor
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9710-687X>

Olena Spanchak
Cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9693-6847>

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

А.Н. Науменко, И.П. Ольшевский, Е.В. Спанчак

Предметом изучения статьи являются анализ методов томографических измерений изображения внутренней структуры объектов и их применение. Целью статьи является анализ методов томографических измерений изображения внутренней структуры объектов и их применение. Задачей является обоснование целесообразного использования томографических измерений, внедрение которых в практику выездных метрологических групп позволят повысить качество и скорость обнаружения неисправностей систем управления объектов. В статье рассматривается: анализ, общая методика и методы воспроизведения пространственного распределения физических измерений. Выводы: на основе анализа можно сделать вывод, что томографические измерения применяются в различных отраслях народного хозяйства. Силами расчета выездных метрологических групп проводится поверка приборов и контроль различных параметров, в основе которых могут быть использованы и методы томографических измерений.

Ключевые слова: томографические измерения, прямая задача томографии, обратная задача томографии.

ANALYSIS OF METHODS OF TOMOGRAPHIC MEASUREMENTS OF IMAGE OF INTERNAL STRUCTURE OF OBJECTS AND THEIR APPLICATION

A. Naumenko, I. Olshevski, O. Spanchak

The subject of the study in the article is the analysis of methods of tomographic measurements of the image of the internal structure of objects. The purpose of the article is to substantiate the feasibility of analyzing the methods of tomographic measurement of the image of the internal structure of objects. The task to be solved is the substantiation of expedient use of tomographic measurements, introduction of which in the practice of work of outbound metrological groups will allow to improve the quality and speed of detection of malfunctions of fire control systems, weapons samples, self-reference to the target, thermal intelligence of the enemy, etc. The article deals with: analysis, general methodology and methods for reproduction of the image of the spatial distribution of physical size in tomographic measurements. Experience in the use of metrological devices indicated the need to involve them in the detection of equipment malfunction, disease prediction and disease in the public. Measurements using tomographic devices have certain advantages over traditional ones, the most important of which is that as a result of tomographic measurements information about the spatial distribution (rather than local value) of the studied parameter of the object is obtained, with the selection of measurement information being carried out without placement of measuring transducers inside the object, but only at its outer boundary. That is, we can refer to tomographic measurements as contactless measurements. Conclusions Spatial distribution of temperature which is based on tomographic measurements is the basis for apparatus for detecting minefields, devices based on tomographic methods for detection of malfunctions of control systems of warning systems, thermal reconnaissance (detection of subjects and technology), aerospace, thermal imaging perspective directions of development of equipment and modern technology.

Keywords: tomographic measurement, direct tomography task, inverse tomography task.