

ВМ 3/2023 (Основан в 2005 году)

ВЕСТНИК МЕТРОЛОГА

Научно-технический журнал
Решением ВАК от 18.12.2017 года
включен в «Перечень рецензируемых
научных изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук, на
соискание ученой степени доктора наук»
(«Перечень...» от 23.09.2022 г. за № 442).

Учредитель и издатель

Федеральное государственное
унитарное предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский
институт физико-технических и
радиотехнических измерений»

Почтовый адрес:

п/о Менделеево, Солнечногорский
район, Московская область, 141570

Редакционный совет:

И.Ю. Блинов, доктор технических наук
В.А. Вышлов, доктор технических наук,
профессор.
С.С. Голубев, кандидат технических наук
О.В. Денисенко, доктор технических наук
Ю.А. Клейменов, доктор технических наук
Д.А. Кузнецов
И.М. Малай, доктор технических наук
Б.А. Сахаров, доктор технических наук
Ф.И. Храпов, доктор технических наук
В.В. Швыдун, доктор технических наук
А.Н. Щипунов, доктор технических наук

Главный редактор

В.Н. Храменков, доктор технических
наук, профессор

Заместитель главного редактора

О.В. Надеина, кандидат педагогических
наук

В подготовке номера участвовали:

Надеин В.В., к.п.н., доцент,
Крупская Д.Л.

Адрес редакции: 141006, г. Мытищи
Московской обл., Олимпийский
проспект, владение 12, строение 1

Адрес для переписки, размещения
рекламы и приобретения журнала
«Вестник метролога»:

п/о Менделеево, Солнечногорский
район, Московская область, 141570

Тел./факс (495) 586–23–88; (495)586–01–00.
E-mail:32gniii_vm@mail.ru

Отпечатано ООО «ПРИНТ»

Юридический адрес:125413, Россия,
г. Ижевск,

Сдано в набор 11.07.2023

Подписано в печать 11.08.2023

Тираж 300 экз.

Зарегистрирован ISSN 2413–1806 в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77- 60016 от 21 ноября 2014 г.

Материалы журнала размещаются на сайте Научной
электронной библиотеки и включаются в национальную
информационно-аналитическую систему РИНЦ

СОДЕРЖАНИЕ

Общие вопросы метрологии

Зуйков М.Ю., ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»,
Рыбачев И.И., ФГБОУ ВО «УГТУ», Попова Е.В., д.т.н.,
ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», Храменков А. В., к.т.н.,
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России.

Автоматизация метрологической деятельности предприятия 3

Храменков В.Н. , д.т.н, профессор, ФГБУ «ГНМЦ»
Минобороны России

Обоснование требований к точности воспроизведения
системой управления технического объекта управляющих
воздействий на показатели его назначения 9

Апрелева М.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

Результаты анализа состояния парка осциллографов,
применяемых в сфере государственного регулирования 12

Козырев Г.И., д.т.н., профессор, ФГБВОУ ВО "Военно-
космическая академия имени А.Ф. Можайского", Юдицких
Е.О., ФГБВОУ ВО "Военно-космическая академия имени А.Ф.
Можайского", Усиков В. Д., к.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны
России

Повышение точности телеметрических датчиков на основе
использования принципа многоканальности 15

Радиотехнические измерения

Голик А.М., д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский военный
ордена Жукова институт войск национальной гвардии
Российской Федерации, Шишов Ю.А., д.т.н., профессор,
Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск
национальной гвардии Российской Федерации,

Клейменов Ю.А., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Калибровка приемных каналов приемо-передающих модулей
раскрываемых цифровых антенных решеток 24

Кузнецов А.А., к.т.н., Жуков Ю.О., Кузнецова О.Н., к.т.н.,
ВУНЦ ВВС «ВВА», Воронеж

Методика повышения точности траекторных измерений с
использованием алгоритмов оперативной оценки координат
маневрирующих летательных аппаратов 31

Оптические и оптико-физические измерения

Надеин В.В., к.п.н., доцент, Осина А.А., ФГБУ «ГНМЦ»
Минобороны России

Новые проектные решения и способы эффективного
применения искусственного интеллекта в области лазерной,
оптической и оптоэлектронной техники 35

Информация

К сведению авторов 40

VM 3/2023

Research magazine «Vestnik Metrologa»
«Vestnik Metrologa» magazine is published
and extends in Russian since 2005

«Vestnik Metrologa»

Scientific and technical journal

By the solution of VAK of 18.12.2017 it is
included in «The list of the reviewed
scientific

publications in which have to be the main
scientific results of theses for a degree of
the candidate of science, for a degree of the
doctor of science are published» («List»...
of 23.09.2022 for No. 442).

FSUE VNIIFTRI Russian Metrological
Institute of Technical Physics and
Engineering You are: Publisher

Address: 141570, Moscow region,
Solnechnogorsk district., Township
Mendeleevo

The Editorial advice:

I.Y. Blinov, doctor of the technical sciences.
sciences.

V.A. Vyshlov, doctor of the technical
sciences, professor.

S.S. Golubev, candidate of the technical
sciences

O.V. Denisenko, doctor of the technical
sciences.

Y.A. Kleymenov, doctor of the technical
sciences

D.A. Kuznetsov

I.M. Malai, doctor of the technical sciences.

B.A. Saharov, doctor of the technical
sciences.

F.I. Hrapov, doctor of the technical
sciences.

V.V. SHvydun, doctor of the technical
sciences,

A.N. Shchipunov, doctor of the technical
sciences.

Editor-in-chief

V.N. Khramenkov, doctor of the technical
sciences, professor

Deputy main of the editor

O.V. Nadeina, candidate of the pedagogical
sciences

Address to editings: 141006, Mytitschi
Moscow obl., Olympic avenue, possession
12, construction 1

Address: 141570, Moscow region,
Solnechnogorsk district., Township
Mendeleevo

telephone/fax (495) 586–01–00;
(495) 586–23–88.

E-mail: 32gniii_vm@mail.ru

It is Printed by OOO «Print»

Legal address: 426035, Russia, Izhevsk,
Timiryazeva st., 5.

telephone (3412) 56–95–53

The Circulation
300 copies

ISSN 2413–1806 Are Registered

in Federal service on control in sphere relationship, information
technology and mass communication. Certificate about registrations PI
№ FS77–60016 from November 21, 2014 Material of the journal take
seats on put Scientific electronic library and are included in national
information-analytical system RINC

CONTENTS

Common questions of a metrology

*Zuikov M.Y., postgraduate student of the Plekhanov Russian
University of Economics, Rybachev I.I., postgraduate student of
Ukhta State Technical University, Khramenkov A.V., Candidate of
Technical Sciences, FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry
of Defense, Popova E.V., Doctor of Economics, Professor of the
Plekhanov Russian University of Economics*
Automation of metrological activity of the enterprise 3

*Khramenkov V.N., d.t.s., FSBI «MSHC» of Russian Federation
Ministry of Defense*
Substantiation of requirements for accuracy of reproduction of a
technical object of control actions on its function indicators by the
control system 9

Apreleva M.A., FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry of Defense
The results of the analysis of the oscilloscope fleet state, which
apply in the field of governmental regulation 12

*Kozyrev G.I., d.t.s., Military Space Academy named after
A.F. Mozhaisky, YUdickih E.O., Military Space Academy named
after A.F. Mozhaisky, Usikov V. D., k.t.s., FSBI «MSHC» of
Russia Federation Ministry of Defense*
Increasing to accuracy telemetry sensor on base of the use the
principle to channelling 15

Measurements of radio engineering quantities

*Golik A.M., d.t.s., St. Petersburg Military Institute of the National
Guard forces of the Russian Federation, Shishov YU.A., d.t.s.,
St. Petersburg Military Institute of the National Guard forces of
the Russian Federation, Kleymenov Yu.A., d.t.s., Federal State
Budgetary Institution «Metrology Scientific Head Center» Russian
Federation Ministry of Defense*
Calibration of receiving channels of receiving-transmitting modules
of expandable digital antenna arrays 24

*Kuznetsov A.A., k.t.s., Zhukov Yu.O., Kuznetsova O.N., k.t.s.,
MTRC AF "AFA", Voronezh,*
Technique for improving the accuracy of trajectory measurements
using algorithms for the operational evaluation of the coordinates
of maneuvering aircraft 31

Optic and optic-physical measurements

*Nadein V.V., k.p.s., FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry
of Defense Osina A.A., FSBI «MSHC» of Russia Federation
Ministry of Defense*
The new design solutions and ways of efficient use of artificial
intelligence in the field of lazer, optical and optoelectronic
technology 35

linformation 40

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ AUTOMATION OF METROLOGICAL ACTIVITY OF THE ENTERPRISE

Зуйков М.Ю., ФГБОУ ВО «РЭУ им Г.В. Плеханова», Рыбачев И.И., ФГБОУ ВО «УГТУ», Храменков А.В., к.т.н.,
ФГБУ "ГНМЦ" Минобороны России, Попова Е.В., д.э.н., ФГБОУ ВО «РЭУ им Г.В. Плеханова»

Zuikov M.Y., postgraduate student of the Plekhanov Russian University of Economics, Rybachev I.I., postgraduate student of
Ukhta State Technical University, Khramenkov A.V., Candidate of Technical Sciences, SSC of the Ministry of Defense of the Russian
Federation, Popova E.V., Doctor of Economics, Professor of the Plekhanov Russian University of Economics

maxzuykov@yandex.ru, +7 (916) 095-86-25

ilyarybachev@mail.ru, +7 (925) 057-17-56

Khramenkov@gmail.com, +7 (915) 033-71-17

popova.ev@rea.ru, +7 (909) 647-05-07

Аннотация: Развитие современных информационных систем и цифровых технологий ведет к значительным изменениям в обеспечении деятельности предприятий различных отраслей экономики, что актуализирует целесообразность поиска адекватных новым условиям цифровых решений по автоматизации метрологических процессов. Цель данной работы заключалась в рассмотрении основных подходов к автоматизации метрологической деятельности предприятия и существующих современных программных решений в данной области. В качестве методов проведения исследования были использованы сравнительный, структурный и системный анализ. В ходе исследования проведен анализ ряда современных отечественных разработок за 2020–2022 годы в рассматриваемой области знаний, а также рассмотрены материалы иностранных изданий в отношении автоматизации метрологической деятельности на предприятии. Представлены основные подходы к автоматизации метрологической деятельности, как в аспекте отдельных предприятий, так и холдинговых структур. Особое внимание уделено проблемным аспектам осуществления автоматизации метрологической деятельности российских компаний в условиях санкционной экономики, уже действующих и возможных новых ограничений со стороны иностранных технологических компаний. По результатам исследования обозначена необходимость разработки отечественных решений по автоматизации метрологической деятельности предприятия на основе открытого программного обеспечения, активного использования облачных хранилищ и дистанционных систем обработки данных.

Annotation: The development of modern information systems and digital technologies leads to significant changes in the provision of activities of enterprises in various sectors of the economy, which actualizes the feasibility of finding digital solutions adequate to the new conditions for automating metrological processes. The purpose of this work was to review the main approaches to automating the metrological activities of an enterprise and the existing modern software solutions in this area. Comparative, structural and system analysis were used as research methods. In the course of the study, an analysis was made of a number of modern domestic developments for 2020–2022 in the field of knowledge under consideration, as well as materials from foreign publications regarding the automation of metrological activities at the enterprise. The main approaches to the automation of metrological activities are presented both in the aspect of individual enterprises and holding structures. Particular attention is paid to the problematic aspects of the automation of the metrological activities of Russian companies in the conditions of the sanctions economy, existing and possible new restrictions on the part of foreign technology companies. According to the results of the study, the need to develop domestic solutions for automating the metrological activity of an enterprise based on open source software, the active use of cloud storage and remote data processing systems is indicated.

Ключевые слова: метрология, метрологическая деятельность, цифровизация, цифровая метрология, автоматизация, облачные технологии.

Key words: metrology, metrological activity, digitalization, digital metrology, automation, cloud technologies.

В условиях новой индустриальной революции (Индустрии 4.0), определяющими трендами выступают цифровизация и автоматизация производственных и управленческих процессов. Под влиянием развития современных информационных систем и цифровых технологий происходят значительные изменения в обеспечении деятельности предприятий различных отраслей экономики, что актуализирует

целесообразность поиска адекватных новым условиям цифровых решений по автоматизации метрологических процессов, а также анализу имеющихся разработок в этой области.

Цифровая метрология дает возможность проводить операции с цифровыми данными и формирует на их основе цифровые базы (как локальные – серверные, так и виртуальные – облачные).

страции программы для ЭВМ 2021662444, 29.07.2021. Заявка № 2021661713 от 28.07.2021.

11. Попов А.А. Цифровизация обеспечения метрологической прослеживаемости средств измерений и стандартных образцов через облачные технологии: современное состояние и перспективы развития / А.А. Попов // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. Т. 18, № 3. С. 57–70. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-57-70>.

12. Majstorovic V.D., Durakbasa N., Takaya Y., Stojadinovic S. Advanced Manufacturing Metrology in Context of Industry 4.0 Model. In Proceedings of the 12th International Conference on Measurement and Quality Control, Belgrade, Serbia, 4–7 June 2019. URL: <https://www.springerprofessional.de/en/advanced-manufacturing-metrology-in-context-of-industry-4-0-mode/16699846>.

13. Sousa M.C., Almeida M.F. Smart revolution and metrology: A longitudinal science mapping approach. *Meas. Sens.* 2021, 18, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100340>.

14. Moni M., Melo W.S., Peters D., Chapetta W. The Inter-NMI Experiment: An Experimental Blockchain Network among National Metrology Institutes. 2021. URL: <https://github.com/wsmelojr/nmiblocknet#the-inter-nmi-experiment-anexperimental-blockchain-network-among-national-metrology-institutes>.

15. Gadelrab M.S., Abouhogail R.A. Towards a new generation of digital calibration certificate: Analysis and survey. *Measurement* 2021, 181, 109611. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109611>.

16. Varshney A., Garg N., Nagla K.S., Nair T.S., Jaiswal S.K., Yadav S., Aswal D.K. Challenges in sensors technology for Industry 4.0 for futuristic metrological applications. *Mapan-J. Metrol. Soc. India* 2021, 36, 215–226.

Reference

1. Ponomarev K.S. Automated modular system for metrological maintenance of measuring instruments in the context of modern digital representation of information / K.S. Ponomarev // *Engineering technology*. 2022, 10, 46–53 (in Rus).

2. Software complex “Automated control system for the metrological service version 7” (MS ACS version 7). Certificate of registration of the computer program 2020662576, 10/16/2020. Application No. 2020618654 dated 08/06/2020 (in Rus).

3. ACS MS // PALETTE OF SYSTEMS. URL: <https://palitra-system.ru/products/asu-ms> (in Rus).

4. Iceberg II – a system for the complete automation of business processes of the metrological activity of an enterprise based on 1C. Certificate of registration of the computer program 2020664649, 11/16/2020. Application No. 2020663922 dated 11/12/2020 (in Rus).

5. Metrology management – a system for the complete automation of the metrological activity of an industrial

enterprise based on 1C. Certificate of registration of the computer program 2021662357, 07/27/2021. Application No. 2021661483 dated 07/21/2021 (in Rus).

6. SUP 1.0 – a package of extensions for automating the metrological activity of an enterprise based on 1C. Certificate of registration of the computer program 2021662254, 07/26/2021. Application No. 2021661501 dated 07/21/2021 (in Rus).

7. “Unified metrological platform” – automation of business processes of the metrological service based on 1C. Certificate of registration of the computer program 2020614942, 04/29/2020. Application No. 2020613965 dated 04/22/2020 (in Rus).

8. MIAS (metrological information and analytical system). Tyurikov I.I., Zakharov S.N. Certificate of registration of the computer program 2022617925, 04/26/2022. Application No. 2022617386 dated 04/26/2022 (in Rus).

9. IS «Workstation of metrologist». Serebryakov M.A., Polyarush P.V., Rizaev A.Kh., Myakishev P.V. Certificate of registration of the computer program 2021662444, 07/29/2021. Application No. 2021661713 dated 07/28/2021 (in Rus).

10. Popov A.A. Digitalization of ensuring metrological traceability of measuring instruments and reference materials through cloud technologies: current state and development prospects / A.A. Popov // *Standards. Standard samples*. 2022, 18(3), 57–70. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-57-70> (in Rus).

11. Majstorovic V.D., Durakbasa N., Takaya Y., Stojadinovic S. Advanced Manufacturing Metrology in Context of Industry 4.0 Model. In Proceedings of the 12th International Conference on Measurement and Quality Control, Belgrade, Serbia, 4–7 June 2019. URL: <https://www.springerprofessional.de/en/advanced-manufacturing-metrology-in-context-of-industry-4-0-mode/16699846>.

12. Sousa M.C., Almeida M.F. Smart revolution and metrology: A longitudinal science mapping approach. *Meas. Sens.* 2021, 18, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100340>.

13. Moni M., Melo W.S., Peters D., Chapetta W. The Inter-NMI Experiment: An Experimental Blockchain Network among National Metrology Institutes. 2021. URL: <https://github.com/wsmelojr/nmiblocknet#the-inter-nmi-experiment-anexperimental-blockchain-network-among-national-metrology-institutes>.

14. Gadelrab M.S., Abouhogail R.A. Towards a new generation of digital calibration certificate: Analysis and survey. *Measurement* 2021, 181, 109611. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109611>.

15. Varshney A., Garg N., Nagla K.S., Nair T.S., Jaiswal S.K., Yadav S., Aswal D.K. Challenges in sensors technology for Industry 4.0 for futuristic metrological applications. *Mapan-J. Metrol. Soc. India* 2021, 36, 215–226.

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЕГО НАЗНАЧЕНИЯ
SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS FOR ACCURACY OF REPRODUCTION OF A TECHNICAL OBJECT
OF CONTROL ACTIONS ON ITS FUNCTION INDICATORS BY THE CONTROL SYSTEM**

*Храменков В.Н. , д.т.н., профессор, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Khramenkov V.N., d.t.s., FSBI "MSHC" of Russian Federation Ministry of Defense*

Аннотация: Проведен анализ целей и задач измерений, выполняемых при эксплуатации технического объекта, обоснованы требования к их погрешности, приведены модели погрешности воспроизведения управляющих воздействий на управляемые показатели технического объекта.

Annotation: The article analyses goals and objectives of measurements performed during the operation of a technical object and substantiates the requirements of control actions errors on manageable values of a technical object.

Ключевые слова: измерения, управляющие воздействия, воспроизведение управляющих воздействий, технический объект, модель погрешности, управляемый показатель технического объекта.

Keywords: measurements, control actions, control actions reproduction, technical object, error model, manageable values of a technical object.

Анализ тенденций развития технических систем показывает, что наряду с проведением измерений параметров технического объекта (ТО) для оценки его соответствия заданным требованиям в состав ТО включается система управления его показателями с целью повышения эффективности применения объекта. В связи с этим согласно [1] в состав требований, задаваемых в техническом задании на ОКР по созданию объекта, в разделе «Требования к метрологическому обеспечению» устанавливаются требования к включению в его состав системы управления, воспроизводящей управляющие воздействия на его управляемые показатели с целью обеспечения требуемой эффективности объекта.

Необходимо отметить, что массовое применение систем управления в составе объекта для повышения его эффективности стало возможным с появлением глобальных и локальных навигационно-измерительных систем, позволяющих измерять с высокой точностью текущие координаты и моменты времени как самого объекта, так и объекта противника. На основе этих данных в системе управления объектом в соответствии с алгоритмом его управления формируются управляющие воздействия, устанавливающие требуемые значения показателей объекта с целью нанесения ущерба объекту противника [1].

Требуемое состояние показателей объекта и их перевод из одного состояния в другое обеспечивается управлением, которое представляет собой комплекс действий, направленных на достижение цели управления объектом. Цели управления объектом определяются исходя из его назначения и, как показано в [2], могут предусматривать:

- управление для поддержания (стабилизации) показателей объекта в заданных пределах для обеспечения его требуемой эффективности;
- управление для изменения значений показателей объекта в соответствии с заданным алгоритмом управления его показателями;
- управление для слежения за регулируемым показателем объекта, находящимся в зависимости от другого показателя объекта.

Параметры объекта включают [2]:

- входные показатели объекта, воздействующие на значения его управляемых показателей (природные, условия эксплуатации, созданные намеренно и т.д.);
- выходные параметры объекта, реализующие цели управления (стабилизирующие, следящие за регулируемым показателем объекта, реализующие алгоритм управления объектом др.).

Входные параметры объекта, вызывающие изменения выходных показателей объекта, делятся на две группы:

выражением (1) определяется в соответствии с [4] по формуле (2):

$$S_{\delta}(t_k) = \frac{\partial f_1}{\partial Y(t_k)} \cdot S_{\Sigma} Y(t_k), \quad (2)$$

где:

– $S_{\phi}(t_k)$ – среднее квадратическое отклонение управляемого показателя объекта, обусловленное погрешностью воспроизведения управляющего воздействия $Y(t)$ его системой управления в момент времени t_k ;

– $\partial f_1 / \partial Y(t_k)$ – производная от функции f_1 по $Y(t_k)$;

– $S_{\Sigma Y(t_k)}$ – среднее квадратическое отклонение суммарной погрешности воспроизведения управляющего воздействия системой управления объекта.

Математическая модель зависимости управляющего воздействия $Y(t)$, воспроизводимого системой управления объекта для момента времени t_k , имеет следующий вид:

$$Y(t_k) = f_2 \{X_3(t_k); X_k(t_k); X_0(t_k); X_d(t_k)\}. \quad (3)$$

При линейной зависимости функции $Y(t_k)$ от ее аргументов результат косвенного измерения управляющего воздействия $Y(t_k)$ определяется по формуле [4]:

$$Y(t_k) = \sum_{i=1}^4 b_i \cdot x_i(t_k), \quad (4)$$

где b_i – постоянный коэффициент в функции (4) при (i - м) аргументе $x_i(t_k)$ функции $Y(t_k)$.

Измеренное значение управляющего воздействия $Y(t_k)$ и на управляемый показатель объекта определяется по формуле (5):

$$Y(t_k)^u = \sum_{i=1}^4 b_i \cdot x_i(t_k)^u, \quad (5)$$

где $x_i(t_k)^u$ – измеренное значение i -го аргумента функции (4).

Значение среднего квадратического отклонения S_{Σ} и суммарной погрешности воспроизведения управляющего воздействия $Y(t_k)$ при линейной зависимости функции (4) от ее аргументов определяется по формуле [4]:

$$S_{\Sigma}^n(t_k) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 b_i^2 \cdot S^2(x_i(t_k)^u)}, \quad (6)$$

где $S(x_i(t_k))$ – среднее квадратическое отклонение погрешности результата измерения i -го аргумента $x_i(t_k)$ и функции $Y(t)$.

При нелинейной зависимости функции $Y(t_k)$ от аргументов $x_i(t_k)$ в соответствии с [4] проводится ее линейризация путем разложения функции (3) в ряд Тейлора:

$$Y(t_k) = f_2(x_1(t_k), \dots, x_4(t_k)) = f_2(x_1(t_k)^u, \dots, x_4(t_k)^u) + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial f_2}{\partial x_i(t_k)} \Delta x_i(t_k) + R, \quad (7)$$

где:

– $f_2(x_1(t_k), \dots, x_4(t_k))$ – нелинейная зависимость измеряемой величины $Y(t_k)$ от ее аргументов $x_i(t_k)$;

– $\partial f_2 / \partial x_i(t_k)$ – первая производная функции f_2 по аргументу $x_i(t_k)$, рассчитываемая по результату измерений значения $x_i(t_k)^u$;

– $\Delta x_i(t_k)$ и – отклонение результата измерения аргумента $x_i(t_k)$ и от его среднего арифметического значения;

– R – остаточный член разложения функции $Y(t)$.

Учет остаточного члена разложения R функции $Y(t)$ проводится в соответствии с алгоритмом, приведенным в [5].

Требуемое значение среднего квадратического отклонения погрешности воспроизведения системой управления объекта управляющего воздействия, как следует из выражения (2), определяется по формуле (8):

$$S_{\Sigma}(t_k) = S_{\phi}(t_k) \cdot (\partial Y(t_k) / \partial f_1) \cdot K, \quad (8)$$

где K – коэффициент, значение которого устанавливается таким образом, чтобы величина $[(\partial Y(t_k) / \partial f_1) \cdot K]$ была согласно [5] не более 0,3.

Литература:

- Петраков Ю.В. Теория автоматического управления: учебное пособие / Ю.В. Петраков, О.И. Драчев. – М.: Машиностроение, 2008. – 336 с.
- Федосов Е.А., Красовский А.А., Попов Е.П. и др. Энциклопедия. Автоматическое управление. Теория. – Машиностроение, - М., 2000, 688 с.
- ГОСТ 15.016-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.
- МИ 2439 – 97. Рекомендация. ГСИ. Метрологические характеристики измерительных систем. Номенклатура. Принципы регламентации, определения и контроля.
- МИ 2083-90. Рекомендация. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПАРКА ОСЦИЛЛОГРАФОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В СФЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
THE RESULTS OF THE ANALYSIS OF THE OSCILLOSCOPE FLEET STATE, WHICH APPLY IN THE FIELD OF
GOVERNMENTAL REGULATION**

*Апрелева М.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Apreleva M.A., FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry of Defense
apreleva.m.a@mail.ru
tel.*

Аннотация: Представлены результаты анализа состояния парка осциллографов, применяемых в сфере государственного регулирования, по данным, приведенным в федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

Annotation: The results of the analysis of the oscilloscopes fleet state used in the field of governmental regulation are presented, according to the data given in the federal information fund to ensure the uniformity of measurements.

Ключевые слова: осциллограф, полоса пропускания.

Keywords: oscilloscope, bandwidth.

Для оценки состояния единства измерений и принятия решения о направлениях дальнейшего развития средств измерений различных величин с целью обеспечения растущих потребностей производственных предприятий и организаций необходимо определить актуальное состояние парка. Выполненные Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии организационные и технические мероприятия,

направленные на создание повсеместного электронного учета результатов утверждения типа, поверки и калибровки средств измерений уже сейчас позволяют выполнить достаточно подробный анализ существующего парка средств измерений.

В настоящей статье приведены результаты такого анализа в части осциллографов с использованием общедоступной информации.

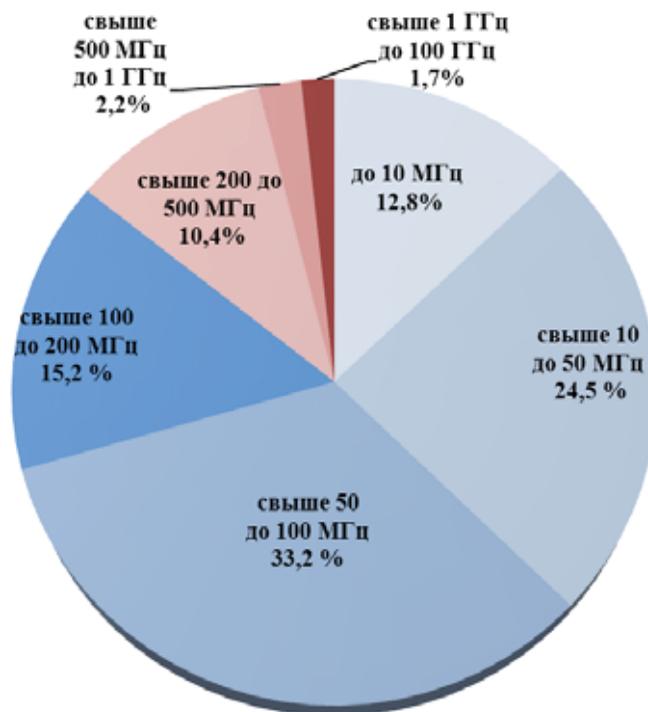


Рисунок 1 – Распределение осциллографов по полосе пропускания

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПА МНОГОКАНАЛЬНОСТИ INCREASING TO ACCURACY TELEMETRY SENSOR ON BASE OF THE USE THE PRINCIPLE TO CHANNELLING

Козырев Г.И., д.т.н., профессор, г. Санкт-Петербург, ФГБВОУ ВО "Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского", Юдицких Е.О., г. Санкт-Петербург, ФГБВОУ ВО "Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского", Усиков В. Д., к.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Kozyrev G.I., d.t.s., Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, YUdickih E.O., Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, Usikov V. D., k.t.s., FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry of Defense
e-mail: gen-kozyrev@yandex.ru; тел. 8-911-217-33-99;
eug-89@yandex.ru; тел. 8-916-497-32-47;
usikov_1989@list.ru; тел. 8-981-797-19-58;

Аннотация: В работе рассмотрены два метода повышения точности телеметрических датчиков, основанные на введении структурной избыточности (использовании принципа многоканальности) при известной и неизвестной совокупности неопределенных дестабилизирующих факторов. Для известной совокупности дестабилизирующих факторов представлены необходимые и достаточные условия синтеза обратного оператора статического структурно-избыточного датчика в явном виде. Приведен пример применения метода для двухканального тензометрического датчика давления с компенсацией температурной погрешности, показано его преимущество по сравнению с аналоговой термокомпенсацией. Дано теоретическое обоснование для синтеза телеметрических датчиков с минимальной избыточностью при неизвестной совокупности дестабилизирующих факторов. Приведен пример построения интеллектуального датчика на основе предварительного функционального преобразования над входным сигналом и встроенным метрологическим самоконтролем.

Annotation: Two methods of improving the accuracy of telemetry sensors are considered, based on the introduction of structural redundancy (using the principle of multi-channel) with a known and unknown set of undefined destabilizing factors. For a known set of destabilizing factors, the necessary and sufficient conditions for the synthesis of the inverse operator of the static structure-excess sensor are explicitly presented. An example of using the method for a two-channel strain gauge pressure sensor with temperature error compensation is shown, its advantage over analog thermal compensation is shown. A theoretical justification is given for the synthesis of telemetry sensors with minimal redundancy with an unknown set of destabilizing factors. An example of building an intelligent sensor based on the preliminary functional transformation over the input signal and built-in metrological self-control is given.

Ключевые слова: телеметрический датчик, дестабилизирующие факторы, инвариантность, многоканальность, обратный оператор, идентификация.

Keywords: telemetric sensor, destabilizing factors, invariance, multi-channel, reverse operator, identification.

Введение

Операции телеконтроля являются составной частью технологических процессов обслуживания, запуска и управления в полете подвижных изделий ракетно-космической техники (РКТ). Результаты телеизмерений (ТИ) в значительной степени определяют достоверность получаемой информации об условиях применения и состояния космических средств и, следовательно, адекватность принимаемых решений реальному состоянию условий и техники [1,2]. Отклонение параметров измерительного тракта от их номинальных значений объясняется влиянием различного рода дестабилизирующих факторов (ДФ), которые в наибольшей степени воздействуют на первичные элементы системы ТИ – датчиков-преобразующую аппаратуру (ДПА). Относительно низкая точность датчиков является

следствием того, что они преобразуют в электрический сигнал не только контролируемый параметр, но и мешающие воздействию или ДФ. Так как конкретные значения ДФ в процессе проведения ТИ являются неизвестными (неконтролируемыми), то при отсутствии информации относительно законов их распределения подобные факторы относятся к разряду неопределенных [3].

Влияние ДФ приводит со временем к появлению скрытых (метрологических) отказов, проявляющихся в постепенном ухудшении точностных характеристик ДПА, выходящих в ряде случаев за пределы допустимых значений. Это, в свою очередь, влечет за собой получение неправильных результатов измерений и, в зависимости от места применения ДПА, может привести к непредсказуемым последствиям.

идентификации необходимо интервал наблюдения T_n выбирать с таким расчетом, чтобы динамика выходного (входного) сигнала $\Delta/L \geq 0.01$ (1%). Результаты моделирования показали, что наилучшая точность идентификации обеспечивается при степени нелинейности в дополнительном измерительном канале СИД $m = 2$. Это объясняется тем, что при $m > 2$ ухудшается обусловленность информационной матрицы МНК – оценок искомых параметров, причем рост данной составляющей суммарной погрешности при увеличении m значительно опережает уменьшение составляющей погрешности за счет увеличения степени некоммутативности (асимметрии) операторов основного и дополнительного каналов СИД [16].

Следует отметить, что возможности создания нелинейных измерительных каналов в датчиках существуют практически для каждого вида измерений, основанного на том или ином физическом принципе [4,5].

Заключение

В работе рассмотрены два метода повышения точности телеметрических датчиков, основанные на использовании принципа многоканальности при известной и неизвестной совокупности дестабилизирующих факторов.

Показано, что при синтезе двухканальных датчиков давления с инверсным представлением его преобразовательной характеристики удается снизить результирующую погрешность оценки телеметрируемого параметра в широком диапазоне изменения температур в 3-5 раз (с 2-3% до 0,6%) по сравнению с аналоговыми методами термокомпенсации.

При создании минимально-избыточных датчиков с квадратичным преобразованием над входным сигналом в дополнительном измерительном канале и инвариантных к неизвестной совокупности дестабилизирующих факторов, удается добиться суммарной погрешности измерений на уровне 0,5-1%, что соответствует требованиям к перспективным системам телеизмерений изделий РКТ, а также позволяет построить интеллектуальную измерительную систему с высокой степенью метрологической надежности.

Литература:

1. Телеметрия: учебник А.И. Лоскутов, А.А. Бянкин, Г.И. Козырев и др., под общей редакцией А.И. Лоскутова. – СПб, ВКА имени А.Ф. Можайского, 2017. – 343с.
2. Назаров, А.В., Козырев, Г.И., Шитов, И.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике. – СПб: Наука и техника, 2007. – 667 с.
3. Бахшиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения (гарантирующий подход). – М.: Наука, 1980. – 360с.
4. Багдатыев Е.Е., Чернышов Ю.Н. Датчиковая аппаратура информационно-измерительных систем. М.: Московский государств. университет леса, 2008. – 64 с.
5. Аш Ж., Андре П., Бофрон Ж. и др. Датчики измерительных систем. – М.: Мир, 1992. – ч.1. – 480 с., ч.2. – 419с.
6. Белозубов Е. М., Васильев В. А., Чернов П. С. Метрологический самоконтроль интеллектуальных датчиков измерительных и управляющих систем // Измерительная техника. 2018. № 7. – С. 11–17.
7. Петров, Б.Н., Викторов, В.А., Лукин, Б.В. Принцип инвариантности в измерительной технике. – М.: Наука, 1976. – 244 с.
8. Ортега, Дж., Рейнболдт, В. Итерационные методы решения нелинейных систем со многими неизвестными. – М.: Мир, 1975. – 558 с.
9. Яблонский, С.В. Введение в дискретную математику. – М.: Высш. шк., 2003. – 384 с.
10. Амосов, А.А., Дубинский, Ю.А., Копченова, Н.В. Вычислительные методы. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 672 с.
11. Козырев Г.И., Усиков В.Д. Особенности синтеза обратного оператора статической структурно-избыточной измерительной системы // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2021. – №4 (38). – С. 5–12.
12. Козырев Г. И., Кибенко А. В., Усиков В. Д. Расчёт допустимой временной задержки дискретных отсчётов при измерениях в режиме реального времени // Измерительная техника. – 2022. – № 6. – С. 23–27.
13. Белорусец В.Б. Метод вспомогательных систем для идентификации динамических объектов при неизвестном входном сигнале // Автоматика и телемеханика. 1– 981. – № 8. – С. 76–82.
14. Marshall J.E. Commutativity of time-varying systems // Electronic Letters. 1977. vol.13, 18 Pp.539–540.
15. ГОСТ Р 8.734–2011. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. М., 2012. 20 с. (Государственная система обеспечения единства измерений).
16. Козырев Г.И., Назаров А.В., Солдатенков В.С., Усиков В.Д. Синтез интеллектуальных датчиков на основе введения минимальной структурной избыточности // Измерительная техника. – 2020. – №11. – С 22–27.

КАЛИБРОВКА ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ РАСКРЫВАЕМЫХ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК CALIBRATION OF RECEIVING CHANNELS OF RECEIVING-TRANSMITTING MODULES OF EXPANDABLE DIGITAL ANTENNA ARRAYS

*Голик А.М.З., д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт
войск национальной гвардии Российской Федерации, Шишов Ю.А., д.т.н., профессор,
Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации,
Клейменов Ю.А., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России*

*Golik A.M., d.t.s., St. Petersburg Military Institute of the National Guard forces of the Russian Federation,
Shishov YU.A., d.t.s., St. Petersburg Military Institute of the National Guard forces of the Russian Federation,
Kleymenov Yu.A., d.t.s., Federal State Budgetary Institution «Metrology Scientific Head Center»
Russian Federation Ministry of Defense*

Аннотация: Предложен подход к калибровке приемных каналов приемно-передающих модулей раскрываемых цифровых антенных решеток, позволяющий повысить точность реализации требуемого амплитудно-фазового распределения на их раскрыве. Рассмотрены основные процедуры, раскрывающие сущность подхода. Описана структурная схема, обеспечивающая его техническую реализацию.

Annotation: An approach is proposed to calibrate the receiving channels of receiving-transmitting modules of deployable digital antenna arrays, which makes it possible to increase the accuracy of the implementation of the required amplitude-phase distribution on their opening. The main procedures that reveal the essence of the approach are considered. The block diagram providing its technical implementation is described.

Ключевые слова: раскрываемые антенные решетки, приемно-передающие модули, амплитудно-фазовое распределение на раскрыве антенны, цифровое формирование диаграммы направленности.

Keywords: expandable antenna arrays, receiving-transmitting modules, amplitude-phase distribution on the antenna opening, digital beamforming.

Введение

Для достижения высокой разрешающей способности, точности определения геометрических размеров и положения разрешаемых участков в зоне обзора широкое применение в комплексах дистанционного зондирования земной поверхности (ДЗЗ) находят антенные решетки (АР). В зависимости от решаемых задач такие АР могут иметь большие геометрические размеры, вследствие чего до установки на носитель радиолокационной станции (либо на мачту) антенна находится в сложенном состоянии. Как правило, конструктивно это реализуется путем разделения апертуры АР на несколько секций, которые тем или иным способом размещаются вдоль внешних конструкций или корпуса носителя радиолокационной станции (РЛС). Здесь и далее под носителем РЛС и входящей в её состав АР понимается космический аппарат (КА), летательный аппарат (ЛА) или высотное наземное сооружение (мачта), позволяющее поднять АР на максимально возможную высоту для обеспечения прямой видимости по наземным и маловысотным целям.

В антенных решетках, функционирующих после развертывания на борту КА, ЛА в составе бортовых РЛС комплексов ДЗЗ, а также устанавливаемых на

мачтах и подвергающихся ветровым нагрузкам, необходима коррекция амплитудно-фазового распределения (АФР) на их раскрывах.

Достижение близких к предельно возможным значениям, указанных выше характеристик РЛС при проведении дистанционного зондирования земной поверхности, возможно только при наиболее точном соответствии формируемой диаграммы направленности (ДН) расчетной, как в режиме излучения, так и режиме приема сигналов. Однако в процессе эксплуатации на антенну воздействуют различные факторы, такие как высокие механические нагрузки и вибрация, изменение температуры, изменение параметров элементов в процессе функционирования. Это может приводить к отклонению электродинамических и геометрических параметров излучающего раскрыва от расчетных значений. Результатом указанных изменений является изменение формы ДН как в передающем, так и приемном режимах, и, как следствие, снижение разрешающей способности РЛС, а также снижение точности определения координат разрешаемых участков земной поверхности и объектов на ней [1–3].

Влияние указанных факторов может быть учтено и в последующем скомпенсировано при коррекции

$i \in 0, N-1$ подаются на первые входы соответствующих i -х КП (рисунок 3), на вторые входы которых подаются выходные сигналы калибруемых приемных каналов соответствующих ППМ. В результате, на выходах i -х КП получаются калиброванные значения комплексных амплитуд выходных сигналов калибруемых приемных каналов ППМ \dot{U}_1^k , квадратурные составляющие которых в точности равны квадратурным составляющим комплексной амплитуды выходного сигнала нулевого (опорного) приемного канала, т. е. выходные сигналы приемных каналов всех ППМ ЦАР оказываются одинаковыми как по амплитуде, так и по фазе. Непосредственно с выхода нулевого (опорного) канала и с выходов соответствующих комплексных перемножителей на вход БЦФДН (рисунок 1) поступают равноамплитудные и синфазные сигналы, путем взвешенного суммирования которых формируется диаграмма направленности ЦАР.

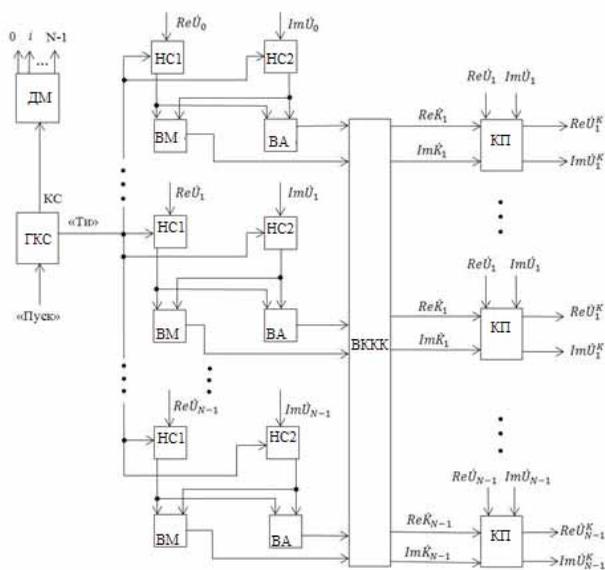


Рисунок 3 – Структурная схема блока калибровки: ГКС – генератор калибровочного сигнала; НС – накапливающий сумматор; ВМ – вычислитель модуля; ВА – вычислитель аргумента; ВККК – вычислитель комплексных калибровочных коэффициентов; КП – комплексный перемножитель

Заключение

Предлагаемый подход к калибровке приемных каналов ППМ раскрываемых ЦАР позволяет повысить точность реализации требуемого АФР на раскрытии ЦАР при одновременном существенном упрощении его технической реализации и высокой оперативности.

Литература

1. Гарбук С.В., Гешензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство «А и Б». – 1997. – 296 с.
2. Голик А.М., Илюхин А.Н., Габдулин М.А. Методика оценки технического состояния многофункциональной радиолокационной станции в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / Вопросы оборонной техники». Серия 16: Технические средства противодействия терроризму № 9–10 (99–100), 2016. – С-Пб.: НПО «Специальных материалов», С. 58–62.
3. Санталов А.А. Голик А.М. и др. Определение средних квадратических отклонений установки луча многофункциональной радиолокационной станции на воздушном носителе, функционирующей в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611209 от 25.01.2018.
4. Урюпин С. А., Даниленко А. И. Калибровка коэффициентов передачи цифровой приемной решетки // Научные технологии. 2014. – Т. 15 – № 4 – С. 14–19.
5. Фишер Х., Кляйн Б. Фазированная антенная решетка с калибровочной сетью. Патент РФ № 2131160, H01Q21/08 / Заявлено 13.03.1996. Опубликовано 27.05.1999.
6. Задорожный В.В., Ларин А.Ю., Марущак Н.Г., Оводов О.В. Способ калибровки активной фазированной решетки. Патент РФ № 2467346, G01S7/40 / Заявлено 04.07.2011. Опубликовано 20.11.2012.
7. Россельс Н.А. Активные фазированные антенные решетки. Некоторые вопросы настройки и обслуживания / Н.А. Россельс, А.В. Шишлов, А.М. Шитиков // Радиотехника. 2009. – № 4. С. 64–70.
8. Базин И.Б. Способ встроенной калибровки активной фазированной антенной решетки. Патент РФ № 2568968, G01S7/40 / Заявлено 16.05.2014. Опубликовано 20.11.2015.
9. Шитиков А. М. Сравнение методов обработки сигнала при калибровке цифровых приемных ФАР // Радиотехника, 2019. – Т. 83. – № 4 – С. 40–46.
10. Шишов Ю.А., Вахлов М.Г. Калибровка приемных модулей крупноапертурных антенных фазированных антенных решеток РЛС // Радиотехника. – 2017. – №2. – С. 85–92.
11. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г. и др. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
12. Шишов Ю.А., Подольцев В.В., Подъячев В.В., Губанов Д.В., Вахлов М.Г., Луцко И.С. Способ и устройство для калибровки приемной фазированной антенной решетки. Патент РФ № 2641615, H01Q21/00 / Заявлено 04.05.2016. Опубликовано 18.01.2018. Бюл. № 2.
13. Габриэлян Д.Д., Демченко В.И., Кузнецов Ю.В., Петин В.О., Федоров Д.С., Шлаферов А.Л. Способ коррекции амплитудно-фазового распределения раскрываемой антенной решетки. Патент РФ № 2655655, G01S 7/40 / Заявлено 13.07.2017. Опубликовано 30.05.2018. Бюл. № 16.
14. Голик А.М., Шишов Ю.А., Толстуха Ю.Е., Заседателев А.Н. Способ коррекции амплитудно-фазового распределения раскрываемой антенной решетки. Патент РФ № 2792222, H01Q21/00 / Заявлено 22.02.2022. Опубликовано 21.03.2023. Бюл. № 9.

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ МАНЕВРИРУЮЩИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ TECHNIQUE FOR IMPROVING THE ACCURACY OF TRAJECTORY MEASUREMENTS USING ALGORITHMS FOR THE OPERATIONAL EVALUATION OF THE COORDINATES OF MANEUVERING AIRCRAFT

Кузнецов А.А., к.т.н., Жуков Ю.О., Кузнецова О.Н., к.т.н., ВУНЦ ВВС «ВВА», Воронеж
Kuznetsov A.A., Zhukov Yu.O., Kuznetsova O.N., MTRC AF «AFA», Voronezh,
smithaa@yandex.ru, yur1jzh@yandex.ru, belyavceva_oksana@mail.ru
tel. +7(903)656-23-32; +7(926)981-88-92, +791003410412

Аннотация: Предложена методика повышения точности траекторных измерений, в основу которой положены алгоритмы оперативной оценки координат маневрирующих летательных аппаратов, полученные на основе динамической модели движения.

Annotation: A technique for improving the accuracy of trajectory measurements is proposed, which is based on algorithms for the operational evaluation of the coordinates of maneuvering aircraft, obtained on the basis of a dynamic motion model.

Ключевые слова: траекторные измерения, модель движения, динамические ошибки, оперативная оценка, экстраполяция, летательные аппараты, маневрирование.

Keywords: trajectory measurements, motion model, dynamic errors, operational assessment, extrapolation, aircraft, maneuvering.

В последнее время наблюдается устойчивый рост номенклатуры и количества современных летательных аппаратов (ЛА), маневренные характеристики которых постоянно эволюционируют [1]. Для определения параметров движения ЛА (в том числе маневрирующих) посредством оптических, радиотехнических, акустических и др. средств выполняют траекторные измерения [2]. Объектом настоящей работы являются радиотехнические средства – радиолокационные станции, в которых реализуется обработка результатов измерений в оперативном режиме – в темпе поступления измерительной информации [2]. Под параметрами движения в рамках настоящей работы понимаются наблюдаемые координаты ЛА (наклонная дальность, азимут, угол места). Предметом настоящей работы является повышение точности траекторных измерений с использованием алгоритмов обработки измерительной информации – траекторной информации.

Для обработки траекторной информации, применяются алгоритмы экстраполяции и последующего оценивания координат. Несмотря на имеющееся разнообразие таких алгоритмов, существуют проблемные вопросы, связанные с оперативным получением высокоточных оценок координат маневрирующих летательных ЛА. Это обусловлено несовершенством моделей движения ЛА, положенных в основу таких алгоритмов.

Согласно [3] для рассматриваемой системы математическая модель строится на основе всестороннего анализа поведения системы и широкого использования результатов проведенных ранее статистических исследований. Модель должна быть достаточно полной, чтобы адекватно описывать систему, но также и достаточно простой, чтобы получающиеся алгорит-

мы можно было реализовать в виде программ для электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Движение ЛА является чрезвычайно сложным, поскольку оно происходит под действием системы сил, зависящих от параметров движения, свойств среды, в которой совершается полет, конструкции ЛА, его системы управления и других факторов. Сложность процесса движения ЛА затрудняет его изучение в полном объеме. Поэтому при теоретическом исследовании действительный процесс движения заменяется некоторой упрощенной моделью. Модель движения ЛА описывается определенной системой уравнений, выражающих основные закономерности процесса движения [3].

Модели движения, используемые для описания движения ЛА, разделяют на динамические и кинематические в соответствии с использованием или неиспользованием в них сведений об инерции движущегося объекта и сил воздействующих на него [4].

Большинство из алгоритмов оценки координат ЛА представляют собой алгоритмы калмановской структуры. В их основе, как правило, лежат кинематические модели движения, представляющие собой полиномы, коэффициенты которых – параметры траектории – координаты и их производные [5]. В кинематических моделях учитывается движение центра масс ЛА без выявления причин [6], что определяет их относительную простоту и послужило их широкому распространению. Однако, аппроксимация истинного закона движения на ограниченном участке траектории является причиной возникновения динамических ошибок, существенно возрастающих в случае маневра ЛА. Так, в процессе маневрирования, при посадке, возникновении нештатной ситуации и т.д. могут появляться

грамм для ЭВМ, на которые получены свидетельства о государственной регистрации [14, 15].

Алгоритмы АЭККП (5) и АООК (6) сравнивались с α - β фильтром и фильтром Калмана с моделью Зингера (ФКЗ) [6, 8].

Качественный анализ представленных в [10] результатов показал, что при равномерном движении ЛА синтезированные алгоритмы и ФКЗ обеспечивают сопровождение практически с равной точностью. Однако на участке маневрирования разработанные алгоритмы во всех рассмотренных вариантах реагируют быстрее на маневр ЛА и превосходят по точности ФКЗ. Использование разработанных алгоритмов позволяет повысить точность оценки координат маневрирующих ЛА за счет снижения динамических погрешностей до 19 % в сравнении фильтром ФКЗ.

Кроме того, АЭККП (5) и АООК (6) не сложны в программной реализации и в сравнении с известными – требуют меньших вычислительных затрат. Было установлено, что для реализации ФКЗ (за один такт) потребуется 214 элементарных операций сложения, вычитания, умножения, деления, для α - β фильтра – 74, для АОКП – 88, и АО – 33. Таким образом, оценка вычислительных затрат позволяет сделать вывод о возможности реализации АОКП и АООК в оперативном режиме.

Исходя из результатов исследования свойств разработанных алгоритмов, а также того, что АООК требует меньших вычислительных затрат (в сравнении с АЭККП), рекомендуется:

использовать АООК для высокоманевренных и маневренных ЛА, а также в случаях решения задачи оценки координат большого числа ЛА,

использовать АЭККП для ограниченно маневренных и неманевренных ЛА,

перед проведением траекторных измерений осуществлять выбор между АООК и АООК, исходя из маневренных характеристик ЛА.

Разработанные алгоритмы: АООК и АООК – могут быть реализованы в радиолокационных станциях, входящих в состав траекторных измерительных комплексов, в виде:

программ для ЭВМ [14, 15],

технического устройства обработки траекторных измерений – адаптивного экстраполятора координат с коррекцией прогноза [13].

Обработка траекторной информации с использованием описанной выше методики (с использованием алгоритмов оперативной оценки координат маневрирующих ЛА) позволит снизить динамические погрешности траекторных измерений, возникающие при маневрировании ЛА, и тем самым повысить точность траекторных измерений на 19 %.

Литература:

1. Ашурбейли, И.Р. Основные направления развития средств воздушно-космической обороны Российской Феде-

рации / И.Р. Ашурбейли, А.И. Лаговьер // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – № 12. – С. 46–54.

2. Иванющенко А.С. Информационное обеспечение испытаний летательных аппаратов / А.С. Иванющенко, В.В. Пирожник, Ю.Н. Третьяков. – М.: Знание, 2013. – 724 с.

3. Жданюк, Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений / Б.Ф. Жданюк. – М.: Сов.радио, 1978. – 384 с.

4. Васин А.А. Информационные технологии в радиотехнических системах. Уч. Пособие. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 768 с.

5. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.

6. Bar-Shalom, Y., Li, X. R., and Kirubarajan, T. Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory, Algorithms, and Software. New York: Wiley, 2001. – 558 p.

7. Канащенков А.И. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения / А.С. Богачев, В.И. Меркулов, В.С. Чернов, И.Р. Загребельный. – М.: ИПРЖР, 2002. – 176 с.

8. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

9. Богачев А.С., Меркулов В.И., Чернов В.С., Загребельный И.Р. Математические модели относительного движения воздушных объектов в процедурах наблюдения в авиационных бортовых РЛС. Часть 2. Математические модели в антенной, лучевой и сферической системах координат. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. №2. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/feb18/6/text.pdf>. (дата обращения 20.06.2023).

10. Кузнецов А. А., Жуков Ю.О. Снижение динамических ошибок траекторных измерительных комплексов с использованием алгоритмов обработки измерительной информации, полученных на базе динамических моделей движения // Вестник метролога, 2020. № 3. С. 33–39.

11. Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11): специализированный справочник // ВТУ ГШ ВС РФ. – 2021. – Режим доступа: <https://structure.mil.ru/files/pz-90.pdf>. (дата обращения 20.06.2023).

12. Жуков, Ю.О. Динамическая фильтрация методом объединенного принципа максимума / Д.С. Андрашитов, А.А. Костоготов, С. В. Лазаренко, А. А. Кузнецов, И.В. Пугачев, Ю.О. Жуков // Информация и Космос. Информатика, вычислительная техника и управление. – 2018. – № 3 (8). – С. 70–74.

13. Адаптивный экстраполятор с коррекцией прогноза: пат. RU 2 740 337 С1. Рос. Федерация / Кузнецов А.А., Жуков Ю.О., Несмеянов Н.Н., Чивардов М.Н., Костоготов А.А., Лазаренко С.В., Андрашитов Д.С.; заявитель и патентообладатель ВУНЦ ВВС «ВВА». №2020114002; заявл. 03.04.2020; опубл. 13.01.2021, Бюл. № 2, 10 с.

14. Оперативная оценка параметров движения маневрирующих объектов / Жуков Ю.О., Кузнецов А.А., Лазаренко С.В., Чивардов М.Н. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020615493 от 25 мая 2020 г.

15. Экстраполяция координат маневрирующего объекта с коррекцией прогноза / Жуков Ю.О., Кузнецов А.А., Костоготов А.А., Несмеянов Н.Н. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020615350 от 21 мая 2020 г.

НОВЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ И СПОСОБЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ ЛАЗЕРНОЙ, ОПТИЧЕСКОЙ И ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ THE NEW DESIGN SOLUTIONS AND WAYS OF EFFICIENT USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FIELD OF LAZER, OPTICAL AND OPTOELECTRONIC TECHNOLOGY

Надеин В.В., к.п.н., доцент, Осина А.А., ФГБУ «ГНМИЦ» Минобороны России
Nadein V.V., k.p.s., Osina A.A., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the
Russian Federation

E-mail: Nadein_vl@mail.ru; osina-alla@mail.ru
tel. 8 (495) 586 01 00; +7 926 673 58 72

Аннотация: В статье описаны новые подходы, методики и методы применения искусственного интеллекта и машинного обеспечения для уменьшения погрешности интерферометров, а также использование машинного обучения в автоматизации процессов, с подключением анализа данных и оптимизации настроек для значительного повышения точности и надежности измерений.

Annotation: The article describes new approaches, techniques, and methods of artificial intelligence and machine provision use to decrease the interferometer error, as well as the use of machine learning in process automation along with data analysis and optimization adjustment for a significant increase in accuracy and reliability of measurements.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, интерферометр, оптический элемент, эталон координат местоположения.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, interferometer, optical element, location coordinates standard.

Оптико-электронные системы (далее – ОЭС) – одна из ключевых технологий в развитии системы обеспечения единства измерений. Важно подчеркнуть, что метрологическое обеспечение средства измерений играет здесь решающую роль, т.к. только качественные и точные средства измерений позволяют создавать высокоточные и высокоэффективные виды техники.

Современные ОЭС получают данные от различных типов измерительных приборов, включающих в себя ультрафиолетовый (далее – УФ), видимый (далее – ВД), инфракрасный (далее – ИК) – диапазоны и дальномерные лазерные приборы. Источники света в этих диапазонах помогают собирать информацию о различных объектах и их параметрах. В свою очередь, качество полученных измерительных данных напрямую зависит от точности и погрешности приборов и далее образцов. Поэтому производители средств технического наблюдения (далее – СТ) должны уделить особое внимание тщательному метрологическому обеспечению своих средств измерений. В современных условиях сократить время выполнения задач, улучшить точность исследования, повысить надежность результатов, снизить человеческий фактор могут искусственный интеллект и машинное обучение [1].

В ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном – диапазонах, искусственный интеллект и машинное обучение революционизируют измерения

и обработку данных. Они позволяют улучшить точность и скорость измерений, а также расширить спектр исследуемых параметров. Одним из главных преимуществ искусственного интеллекта и машинного обучения в измерительных приборах является способность справляться с большим объемом данных и проводить анализ в реальном времени. Это позволяет быстро получать и обрабатывать информацию, что способствует принятию более точных и обоснованных решений [2].

Кроме того, с учетом обострения геополитической обстановки в мире, роста угроз, быстрого технологического прогресса в области ОЭС, непрерывно совершенствоваться метрологическое обеспечение в соответствии с требованиями современной обстановки, современных стандартов – это необходимость. Особенную актуальность приобретает качество создаваемых образцов, которое напрямую зависит от эффективности процессов их разработки и испытаний, обеспечивающих соответствие фактических значений показателей требованиям разработки. Поскольку наращивание производственных возможностей и разработка новых приборов потребует значительных материальных затрат, а также времени, то для решения неотложных измерительных задач необходимо воспользоваться возможностями искусственного интеллекта и машинного обучения.

Развитие системы обеспечения единства измерений и метрологического обеспечения средств измерений

методы и алгоритмы для анализа и диагностики системы, и позволяет произвести оперативное исправление выявленных проблем.

Также рекомендуется применять методики проверки и верификации результатов, чтобы убедиться в правильности работы искусственного интеллекта. В целом, работа с искусственным интеллектом требует учета множества факторов для достижения максимальной точности и надежности результатов. Необходимо обладать большим объемом обучающих данных, полученных из различных источников, а также строго следить за техническим состоянием системы, используя соответствующие программы, мониторинг, диагностику и методики проверки. Только так можно обеспечить эффективную и надежную работу искусственного интеллекта. Сравнение результатов работы искусственного интеллекта с ожидаемыми результатами поможет убедиться в правильности работы искусственного интеллекта. Для этого можно предусмотреть контрольную выборку тестовых данных и заранее известные правильные ответы на них. При сравнении полученных результатов с эталонными значениями можно оценить точность работы искусственного интеллекта. Также для проверки и верификации результатов работы искусственного интеллекта можно использовать методы проверки гипотез, статистический анализ или анализ протоколов общения искусственного интеллекта с внешними системами.

Для верификации результатов работы важно провести сравнительный анализ с уже известными и проверенными данными. Одним из методов верификации является сравнение экспериментальных результатов с результатами, полученными при выполнении ранее проведенных исследований. При этом применяется формула для подсчета коэффициента корреляции Пирсона (согласованное изменение двух признаков, отражающее тот факт, что изменчивость одного признака находится в соответствии с изменчивостью другого):

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - M_x)(y_i - M_y)}{\sqrt{\sum (x_i - M_x)^2 \cdot \sum (y_i - M_y)^2}},$$

где: x_i – значения, принимаемые в выборке X; y_i – значения, принимаемые в выборке Y; M_x – средняя по X; M_y – средняя по Y.

Расчет коэффициента корреляции Пирсона предполагает, что переменные X и Y

измеряются в шкале отношений, распределены нормально и число значений переменной X равно числу значений переменной Y.

Полученные значения позволяют оценить степень согласованности между экспериментальными и контрольными данными, остановиться на достоверности результатов работы: проверки погрешности и верификации для подтверждения достоверности исследований и повышения доверия к полученным результатам. Важно учитывать, что выбор определенной формулы и методики зависит от конкретного исследования и его характеристик.

Внедрение искусственного интеллекта в процесс калибровки и мониторинга интерферометра может значительно ускорить время калибровки и повысить точность и надежность его работы. Это позволит эффективно использовать данное оборудование при больших расстояниях до эталона, улучшая качество измерений и сокращая время всего процесса. Использование искусственного интеллекта в мониторинге интерферометра позволяет автоматизировать этот процесс и делать его более точным и эффективным.

Литература:

1. Мосягин Г.М. Теория оптико-электронных систем. – М: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. – 348 [4] с.
2. Федосеев В.И., Колосов М.П. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов: учебное пособие. – М.: Логос, 2007. – 248 с.
3. Н. Аль Битар, Гаврилов А.И., Халаф В. / Методы на основе искусственного интеллекта для повышения точности интегрированной навигационной системы при отсутствии сигнала ГНСС // Гироскопия и навигация. Том 27. № 4 (107), 2019. – С. 4–10.
4. Гирин Р.В. Интеллектуальная информационно-измерительная система тепловизионного диагностирования технических объектов на основе нейронной сети, специальность 05.11.16 – Информационные измерительные и управляющие системы (технические системы): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/ Гирин Роман Викторович; Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Самара, 2019. – 24 с. – С. 5–9.
5. Шейников А.А., Коваленко А.М., Санько А.А. / Точность определения координат беспилотного летательного аппарата с навигационным комплексом, включающим оптико-электронную систему позиционирования // Научный вестник МГТУ ГА, Том 26, № 1 2023. – С. 18–19.

Журнал «Вестник метролога» издается и распространяется на русском языке с 2005 года.

В журнале «Вестник метролога» публикуются научные статьи по всем разделам метрологии. К публикации принимаются законченные оригинальные работы по фундаментальным исследованиям в области метрологии; научные статьи, содержащие новые экспериментальные результаты; методические работы, включающие описание новых методов выполнения измерений; материалы теоретического характера с изложением новых принципов, подходов к обеспечению единства и точности измерений и др. Статья должна содержать четкую постановку задачи и выводы с указанием области применения результатов.

Направляя свою статью в журнал, автор подтверждает, что присланный в редакцию материал ранее нигде не был опубликован (за исключением статей, представленных на научных конференциях, но не опубликованных в полном объеме, а также тех, которые приняты к публикации в виде материалов научной конференции, обычно в форме тезисов, части лекции, обзора или диссертации) и не находится на рассмотрении в других изданиях.

Автор дает согласие на издание статьи на русском языке в журнале «Вестник метролога». При согласовании отредактированной статьи автор должен сообщить в редакцию по электронной почте о согласии на публикацию на русском языке.

Подавая статью, автор должен ставить в известность редактора о всех предыдущих публикациях этой статьи, которые могут рассматриваться как множественные или дублирующие публикации той же самой или близкой по смыслу работы. Автор должен уведомить редактора о том, содержит ли статья уже опубликованные материалы. В таком случае в новой статье должны присутствовать ссылки на предыдущую публикацию.

Все представленные статьи рецензируются. Датой принятия статьи считается дата получения положительной рецензии.

При разногласиях между автором и рецензентами окончательное решение о целесообразности публикации статьи принимает редакционный совет журнала. В случае отклонения статьи редакционным советом дальнейшая переписка с автором прекращается.

Авторам, гражданам России, следует представить экспертное заключение о том, что работа может быть опубликована в открытой печати. Экспертное заключение может быть прислано в печатном виде или по электронной почте в сканированном виде.

Публикация статей в журнале осуществляется бесплатно.

Оттиски опубликованных статей авторам не высылаются.

Статьи в редакцию следует представлять в напечатанном виде в 2-х экземплярах с приложением электронного носителя CD-R/CD-RW или присылать по электронной почте. Все файлы должны быть проверены антивирусной программой!

Объем статьи, включая аннотации на русском и английском языках, таблицы, подписи к рисункам, библиографический список, не должен превышать 15 машинописных страниц, количество рисунков – не более 4-х (рисунки а, б считаются как два).

Аннотация должна быть краткой, не более 10 строк (до 250 слов), коротко и ясно описывать основные результаты работы. Ключевые слов – не более 7.

Название статьи, фамилии авторов и место работы, аннотация и ключевые слова должны быть приведены на русском и английском языках.

Материал статьи – текст, включая аннотации на русском и английском языках, список литературы, подписи к рисункам и таблицы, оформляются одним файлом, графические материалы – отдельными файлами с соответствующей нумерацией (рисунок 1, рисунок 2 и т. д.).

Статья должна содержать УДК.

Статья должна быть подписана автором (авторами) с указанием фамилии, имени и отчества полностью, ученой степени, ученого звания, места работы, контактных телефонов, электронного адреса.

При подготовке материалов должны быть использованы следующие компьютерные программы и нормативные документы.

Текстовый материал должен быть набран в Microsoft Office Word 2007 (или более поздние версии); шрифт основного текста Times New Roman, размер шрифта – 14, межстрочный интервал – полуторный, выравнивание по ширине; параметры страницы – верхнее поле 2,3 см, нижнее 2,3 см, левое 3,9 см, правое 1,5 см; для оформления текста можно использовать курсив или полужирный.

Статьи присылать с минимумом форматирования, не использовать стили и шаблоны.

Все условные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснить в основном или подрисуночных текстах. Размер рисунка не должен превышать 14×20 см.

Формулы должны быть набраны в MS Word с помощью над- и подстрочных знаков, специальных символов или в программе MathType (версия 4.0 и выше). Показатели степеней и индексы должны быть набраны выше или ниже строки буквенных обозначений, к которым они относятся: K12, A3, B2.

Формулы должны быть единообразными и целыми, т. е. недопустимо величину в одной формуле набирать в разных программах.

После формулы должна быть приведена экспликация (расшифровка всех приведенных буквенных обозначений величин). Последовательность расшифровки буквенных обозначений должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле.

Нумеровать следует только наиболее важные формулы, на которые есть ссылка в последующем тексте.

Таблицы (и ссылки на них) должны иметь последовательные порядковые номера и заголовки.

Единицы измерений и буквенные обозначения физических величин должны отвечать требованиям ГОСТ 8.417–2002 «ГСИ. Единицы величин», а термины – требованиям соответствующих государственных стандартов.

В библиографических ссылках фамилии авторов и названия журналов и книг следует указывать в оригинальной транскрипции. Ссылки дают в соответствии с ГОСТ 7.0.5–2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Для книг указывают фамилию и инициалы автора, заглавие, том (часть, выпуск), место, название издательства, год издания. Для журнальных статей – фамилию и инициалы автора, название статьи и журнала, год издания, том или часть, номер (выпуск), страницы.

Ссылки в тексте на источники, указанные в списке используемой литературы, отмечаются цифрами в квадратных скобках, в порядке упоминания в тексте, например [1], [2–4].

В библиографическом списке должно быть указано не менее 2–3 работ, опубликованных за последние 10 лет.

ПОДПИСКА

Принимается подписка на ежеквартальный журнал
«Вестник метролога»

Читатели могут оформить подписку

talikova@vniiftri.ru;

nikiforova@vniiftri.ru

тел. 8(495) 944–56–41, Никифорова Надежда Николаевна,

Индекс – 45112 по Объединенному каталогу

«Пресса России»

<http://www.ppressa-rf.ru/cat/1/edition/e45112/>

