

РЕЗЮМЕТА НА ТРУДОВЕТЕ

на доц. дн инж. Димитър Андонов Дичев

за участие в конкурс за заемане на академична длъжност "професор" в област на висше образование: 5. Технически науки, професионално направление: 5.1 Машинно инженерство, специалност: "Метрология и метрологично осигуряване", обявен в Държавен вестник, бр. 73 от 16.09.2016 г.

I. ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА НАУЧНА СТЕПЕН "ДОКТОР НА НАУКИТЕ"

Тема: МОДЕЛИ И МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗ НА ДИНАМИЧНАТА ТОЧНОСТ НА СИСТЕМИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ОБЕКТИ

Кратка анотация: В дисертационната работа са представени нови модели и методи за изследване на динамичната грешка на средства и системи за измерване на параметри на движещи се обекти, които позволяват да се повиши в значителна степен точността на анализа, защото се основават на особеностите на функциониране на измервателните системи и обхващат възможно най-широкия спектър от параметри на измервателната среда. Предложените модели и методи са теоретична база не само за анализа на динамичната точност, но въз основа на функционално-структурната организация при формиране на динамичната грешка е разработен и представен нов метод за създаване на измервателни средства и системи за безжироскопно определяне на параметри на движещи се обекти. Методът дава възможност за създаване на измервателни системи от ново поколение, притежаващи значително по-добри качествени показатели и метрологични характеристики от досега съществуващите средства в това направление. Основната концепция на метода се базира от една страна на опростено техническо изпълнение на опорната координатна система в основния модул, с цел намаляване на инструменталните грешки, и от друга на допълнителен измервателен канал, работещ паралелно с основния, чиято хардуерно-софтуерна платформа позволява реализация на алгоритми, насочени към отстраняване на динамичната грешка в реално време. По този начин, както и чрез използването на подходящи адаптивни алгоритми в измервателните процедури, могат да се реализират измервателни системи с ниска себестойност, работещи с висока точност в условия на инерционни въздействия, параметрите на които (интензивност и честота на максимума в спектъра) се променят в широки граници.

II. НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ. СТАТИИ В СПИСАНИЯ И ДОКЛАДИ НА КОНФЕРЕНЦИИ

II.A. НУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ В ТЕМАТИЧНА ОБЛАСТ "ПРИЛОЖНА МЕТРОЛОГИЯ. МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ДИНАМИЧНИ ВЕЛИЧИНИ"

Обобщена характеристика на публикациите в тематичната област

Публикациите в тази тематична област се отнасят до една специфична група измервателни средства и системи, работещи на движещи се обекти, и измерващи определени техни параметри. Тази област на метрологичната теория и практика е особено актуална в днешно време, защото е свързана с развитието и усъвършенстването на измервателната техника за определяне на параметрите, характеризиращи пространствено-времето положение, режима на движение и др. на кораби, самолети и сухопътни транспортни средства. От качеството (точност, надеждност, форма и темп на представяне) на измервателната информация зависи ефективността на управление и безопасността на движение на тези подвижни обекти. Характерна особеност на цитираните по-горе измервателни средства е, че те работят в условия на динамични въздействия, обусловени от движението на подвижните обекти или от клатенето на корабите, колебанията на самолетите и сухопътните транспортни средства, както и от вибрациите в мястото на установяване на измервателните уреди. Тези движения пораждат появата на инерционни сили и моменти, които действат върху измервателните средства и системи, предизвиквайки появата на динамична грешка в резултата от измерване. При липса на подходящи решения в метрологичните вериги и процедури на измервателните средства, динамичната грешка може да приема значителни стойности, което води до голяма неточност на резултата от измерване [II.3].

Анализирани са характеристиките на съществуващите измервателни средства и системи в обсъжданата област [II.2, II.4, II.6]. Установени са определени техни недостатъци като: сложна конструкция; недостатъчна надеждност в екстремални условия; необходимост от специални системи, осигуряващи работата на жировертикалата; големи габарити; висока цена на уреда и др. [II.6]. По отношение на точността на измерване, основен недостатък е сложното конструктивно изпълнение, ориентирано към осигуряване на висока динамична точност. Това обаче води до увеличаване на размера на инструменталната грешка [II.2, II.4].

Предложен е нов метод [II.2, II.4, II.5, II.6] за създаване на измервателни средства и системи за безжироскопно определяне на параметри на движещи се обекти, който отстранява недостатъците на съществуващите измервателни средства, тъй като се базира от една страна на чувствително опростен механичен модул, а от друга – на съвременните високи постижения в областта на нанотехнологиите, микропроцесорната и компютърната техника. Методът се базира на различна концепция от досега съществуващите, насочена не към стабилизиране на тези инерционни елементи от уреда, които моделират опорната координатна система, а към отстраняване, в реално време, на динамичната грешка, предизвикана от тяхното отклонение в инерциалното пространство.

Създаден е математическият апарат [II.2, II.4, II.5, II.6], позволяващ разработването на анализа и синтеза на измервателни системи по предложения метод. Математическите модели са съставени въз основа на възможно най-широкия спектър от характеристики, интегрирани във функционалната цялост на системата среда - движещ се обект - измервателно средство, което дава възможност за създаване на оптимални алгоритми за обработване на измервателните сигнали в реално време, като например използването на адаптивни модели в измервателните процедури. Изведените диференциални уравнения се базират на различни динамични системи, включващи схема с два акселерометъра [II.4], схема с четири акселерометъра [II.6] и схема, в която не са включени акселерометри [II.2].

В съответствие с основните принципи на предложения метод са разработени две конкретни измервателни системи, предназначени за измерване на бордово и килево клатене,

крен и диферент на кораб [II.2, II.4]. Високата динамична точност на първата измервателна система се обезпечава от допълнителен измервателен канал, работещ паралелно с основния. Принципът на работа на допълнителния измервателен канал се основава на подходящ коригиращ алгоритъм, използващ сигнали от линейни MEMS акселерометри [II.4].

Втората измервателна система се основава на моделите на динамиката на самата система и движещия се обект [II.2]. Допълнителният измервателен канал, обезпечаващ високата динамична точност, е изграден на базата на измервателно-изчислителен метод, в който е заложено предположението, че информация за състоянието на системата може да бъде получена посредством теоретичния модел на динамиката му, чийто входен вектор се формира като резултат от текущите стойности на измерване.

Една от най-сложните задачи в измервателната техника е свързана с обезпечаване на необходимата динамична точност на измервателните системи, определящи параметри на движещи се обекти. При търсене на оптимални алгоритми за обработване на сигналите в някои измервателни системи, неизбежно се налага да се използват някои статистически модели на измервателните сигнали и смущаващите въздействия. Много често при формиране на тези модели се използва концепцията за линейност, стационарност и нормалност (разпределение по закона на Гаус). Изброените принципи обаче не винаги се изпълняват на практика.

Като възможно решение на този проблем в част от обсъжданите публикации [II.1, II.3] са използвани адаптивни алгоритми, които позволяват на измервателната система да се поднастройва автоматически в зависимост от статистическите параметри на входния сигнал, при което различията между линейния модел и нелинейната същност на системата не оказват съществено влияние при формирането на резултата от измерване. Във връзка с това в цитираните по-горе работи са разработени математическите модели на два алгоритъма за повишаване на динамичната точност. Първият алгоритъм е съставен въз основа на метода на Калман и има за цел да отстрани влиянието на редица смущаващи източници, всеки от които е с второстепенно значение, но сумарното им действие може да предизвика значително изкривяване на измервателния сигнал [II.1]. Този алгоритъм може да се прилага и в редица други измервателни средства и системи за автоматизация, работещи в динамичен режим, тъй като математическият модел е разработен на базата на широко разпространения в тези системи елемент, какъвто е физичното махало.

Вторият алгоритъм е разработен така, че да работи в края на метрологичната верига [II.3]. Алгоритъмът може да повиши съществено точността на измервателната система, защото той се основава на действителния модел на динамиката на движещия се обект. Математическият модел на алгоритъма е съставен по критерия за минимум на средно-квадратичната грешка. Този алгоритъм осигурява не само адаптивността на измервателната система по отношение на широкия диапазон на изменение на параметрите, определящи условията на измерване, но дава възможност за елиминиране на влиянието на редица източници за грешка. Източниците могат да бъдат вътрешни смущения със случайни характеристики, допълнителни външни второстепенни процеси с непредсказуемо поведение, както и такива, които се дължат на преобразуващите процеси в системата.

За обезпечаване на теоретичните експерименти са разработени имитационни модели на съответните динамични системи "движещ се обект – измервателно средство" в средата на пакета Sim Mechanics, влизащ в състава на програмния комплекс Matlab [II.5, II.6].

Резултатите, получени от експерименталните изследвания в условия на динамични въздействия, близки до реалните, доказват както високите качества на измервателните системи, разработени въз основа на предложения метод [II.2, II.4], така и ефективността на съставените алгоритми за подобряване на динамичната точност на системи за измерване на движещи се обекти [II.1, II.3].

РЕЗЮМЕТА НА ТРУДОВЕТЕ В ТЕМАТИЧНАТА ОБЛАСТ

СТАТИИ В МЕЖДУНАРОДНИ СПИСАНИЯ С ИМПАКТ ФАКТОР

II.1. Dichev, D., Koev, H., Bakalova, T., Louda, P. A Kalman Filter-Based Algorithm for Measuring the Parameters of Moving Objects. Measurement Science Review, 15 (1), 2015, pp. 19-26. ISSN 1335-8871. IMPACT FACTOR 2014: 0.989 (Journal Citation Report®, Thomson Reuters)

One of the most complex problems in measuring equipment is related to the provision of the required dynamic accuracy of measuring systems determining the parameters of moving objects. The present paper views an algorithm for improving the dynamic accuracy of such measuring systems. It is based on the Kalman method. The algorithm aims to eliminate the influence of a number of interference sources, each of which is of secondary significance. However, their total effect can cause considerable distortion of the measurement signal. The algorithm model is designed for gyro-free measuring systems. It is based on one of the most widely used elements in the dynamic systems, namely the physical pendulum, due to which measuring systems of high dynamic accuracy and low cost can be developed. The presented experimental results confirm the effectiveness of the proposed algorithm with respect to the dynamic accuracy of measuring systems of this type.

II.2. Dichev, D., Koev, H., Bakalova, T., Louda, P. A Measuring Method for Gyro-Free Determination of the Parameters of Moving Objects. Metrology and Measurement Systems. Volume 23, Issue 1, 2016, pp. 107-118. ISSN 0860-8229 (Online: ISSN 2300-1941). IMPACT FACTOR 2015: 1.14 (Journal Citation Report®, Thomson Reuters)

The article views a new method for building measuring instruments and systems for gyro-free determination of the parameters of moving objects. To illustrate the qualities of this method, a system for measuring the roll, pitch, heel and trim of a ship has been developed on its basis. The main concept of the method is based, on one hand, on the simplified design of the base coordinate system in the main measurement channel so as to reduce the instrumental errors, and, on the other hand, on the additional measurement channel operating in parallel with the main one and whose hardware and software platform makes possible the realization of algorithms intended for eliminating the dynamic error in real time. In this way, as well as by using suitable adaptive algorithms in the measurement procedures, low cost measuring systems operating with high accuracy under conditions of inertial effects and whose parameters (intensity and frequency of the maximum in the spectrum) change within a wide range can be implemented.

II.3. Dichev, D., Koev, H., Bakalova, T., Louda, P. An Algorithm for Improving the Accuracy of Systems Measuring Parameters of Moving Objects. Volume 23, Issue 4, 2016, pp. 555-565. ISSN 0860-8229 (Online: ISSN 2300-1941). IMPACT FACTOR 2015: 1.14 (Journal Citation Report®, Thomson Reuters)

The paper considers an algorithm for increasing the accuracy of measuring systems operating on moving objects. The algorithm is based on the Kalman filter. It aims to provide high measurement accuracy for the whole range of change of the quantity being measured and the interference effects, as well as to eliminate the influence of a number of interference sources, each of which is of secondary importance but their total impact can cause a considerable distortion of the measuring signal. The algorithm is intended for gyro-free measuring systems. It is based on the model of the dynamics of the moving object. The mathematical model is developed in such a way that it allows an automatic adjustment of the algorithm parameters depending on the current state of the measurement conditions. This makes possible the

development of measuring systems of high dynamic accuracy and low cost. The presented experimental results prove the effectiveness of the proposed algorithm in terms of the dynamic accuracy of measuring systems of that type.

СТАТИИ В БЪЛГАРСКИ СПИСАНИЯ

II.4. Dichev, D. Gyroscope-free Method for Measuring the Parameters of Moving Objects. Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 50, 2014, pp. 17-24, ISSN 1310-6686.

This paper presents a novel gyroscope-free method for measuring dynamic values that define oscillations in moving objects as related to the local vertical. The method is based on appropriate algorithm which utilizes signals from linear MEMS accelerometers interconnected in a differential way. High dynamic accuracy is obtained through real time processing of measuring signals by means of algorithm that has been developed as optimization criterion for the minimum of a mean quadratic error. Said algorithm is composed according to Kalman's method and is intended to eliminate the impact of certain sources of interference each of which, individually, is of secondary importance though their cumulative action may cause a considerable distortion of the measuring signal. The method proposed mechanical module, and on the achievements in nanotechnologies, microprocessor and computer engineering on the other. In compliance with the fundamental principles of this method there has been developed a special-purpose measuring system designed to measure board and keel rolling, heeling and trim of a ship. Results from experimental investigations, carried out with specially designed test-stand equipment in shape of a hexapode and operating with six degrees of freedom, prove the efficiency of proposed measuring approach.

ДОКЛАДИ НА МЕЖДУНАРОДНИ КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМИ В БЪЛГАРИЯ

II.5. Dichev, D., S. Petkov, Hr. Koev, G. Dimitriva. Measuring System Simulation for Determination Parameters Characteristics of Vessel Position Towards the Sea Level Under Dynamic Excitation. Eighth international conference on marine sciences and technologies "Black Sea 2006", Varna, 2006, pp. 102-106. ISBN-10: 954-90919-9-6.

The sensors of measuring systems for determination of the current parameters as a part of the metrological assessment on vessel are based on typical inertial elements. They work in a kinematics force induced field due to degrees of freedom (DOF): rolling, surge, sway, pitch, heave and yaw of the vessel as well the vibrations at the fixing point of the measuring instrument. Kinematics excitation influences the measuring devices inertial elements resulting in dynamic reading error. In some cases mainly the rolling excitation, leads to dynamic increase of error behind the stated tolerances. A sensor based on oscillating body was design. A feed-back system is added to the basic oscillating body in attempt to increase the dynamic accuracy. Simulated model of the dynamic system is developed by means of SimMechanics package of MATLAB. Analysis of the dynamic accuracy of the designed and constructed model is performed. Results of analyses in graphs and tables are presented.

П.6. Дичев Д., Хр. Коев. Повишаване на динамичната точност в системи за измерване на параметри на подвижни обекти. XXII^{-ви} ННС "Метрология и метрологично осигуряване", Созопол, 2012. ISSN 1313-9126.

В доклада се представя измервателна система за определяне на крен и диферент на кораб. Системата се отличава с висока точност на измерване както в статичен, така и в динамичен режим на работа. Тази нейна характеристика, както и ниската ѝ себестойност, разширяват областите на приложение. Опростеният механичен модул, основаващ се на безжироскопно построяване на вертикалата, осигурява минимална стойност на инструменталната грешка. В работата е предложен способ, реализиран чрез допълнителен измервателен канал, който подобрява многократно точността на измерване в динамичен режим. Предлаганият подход се базира на методика, отстраняваща динамичната грешка в реално време. Представените в доклада резултати от теоретичното изследване доказват приложимостта на системата за измерване на крен и диферент на кораб.

П.В. НУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ В ТЕМАТИЧНА ОБЛАСТ "ПРИЛОЖНА МЕТРОЛОГИЯ. ДИНАМИЧНА ТОЧНОСТ НА ИЗМЕРВАТЕЛНИТЕ СРЕДСТВА"

Обобщена характеристика на публикациите в тематичната област

Публикациите в тази тематична област могат да бъдат групирани в следните два раздела:

- характеристики на динамичната грешка и методи за нейното отстраняване;
- методи и средства за изследване на динамичната точност.

В публикациите, обединени в първия раздел, се разглеждат характеристиките динамичната грешка, присъща на измервателни средства, работещи на движещи се обекти [П.11, П.13, П.14, П.19]. В обхвата на изследване са включени измервателни средства и системи, които съдържат в метрологичните си вериги махалови датчици, тъй като последните са основни елементи в системите за позициониране, корекция и автоматизация. В цитираните работи е уточнено, че основната особеност на тези измервателни средства се определя от условията им на работа, характеризиращи се с динамичните въздействия, обусловени от движението на подвижните обекти. Движенията на подвижните обекти пораждаат инерционни сили и моменти. Под въздействието на инерционното силово поле инерционните елементи променят законите си на движение. Това води до появата на динамична грешка в резултата от измерване. Всъщност, това е една от съставляващите на динамичната грешка, но при уредите за измерване на параметри на движещи се обекти това е основната компонента на тази грешка и често пъти придобива такива стойности, че може да бъде отъждествена със сумарната динамична грешка, т.е. останалите съставляващи имат незначително влияние върху формирането ѝ. Поради естеството на своя произход тази компонента на динамичната грешка е наречена инерционна съставляваща.

Представена е структурна схема на инерционната съставляваща на динамичната грешка, въз основа на която е написано операторното уравнение на грешката [П.13]. Последното изразява в математическа форма характеристиките и взимовръзките на елементите от динамичната система "морска среда – кораб – измервателно средство" [П.13].

Резултатите от проведените изследвания в тази област [П.13, П.19] показват, че при липса на адекватни решения в метрологичните процедури на измервателните средства, инерционната съставляваща може да приема значителни стойности, които водят до голяма неточност на резултата от измерване. Разработените математически модели в публикациите [П.11, П.13, П.19] дават възможност да се изследват характеристиките на динамичната грешка при различни входни въздействия. В резултат на проведените теоретични изследвания са получени важни резултати, необходими както при синтеза на подобни измервателни средства и системи, така и за установяване на мястото на монтиране на уредите върху подвижния обект. Така например, при наличие на ъглови колебания по диферента е установено че, махаловите датчици извършват своето колебателно движение с

фазово закъснение и с амплитудни изкривявания [II.11]. При монтиране на датчика на височина $L < 0,5 \text{ m}$ амплитудата му на колебание намалява в сравнение с измерваната амплитуда на колебателното движение на основата, а при височина на окачване $L > 0,5 \text{ m}$, съответно се увеличава.

Теоретичните изследвания, проведени въз основа на математическите модели, дефиниращи поведението на махаловите датчици при наличие на вибрационни смущения в мястото на монтиране, показват, че тези въздействия водят до изместване от нулата [II.14, II.19]. Това предизвиква появата на "лъжлив" сигнал в уреда за наличието на отклонение на основата от вертикалата [II.19]. Изведена е зависимост за теоретично определяне на систематичното отклонение на чувствителния елемент на махаловите датчици от вертикалата при вибрационни смущения [II.14]. Въз основа на разработените имитационни модели в средата на програмния продукт MATLAB е установено е, че наличието на вертикални вибрации може да доведе до възникването на параметричен резонанс при движението на физичното махало. При едновременна вибрация на основата във вертикално и хоризонтално направление е възможно систематичното отклонение на чувствителния елемент от вертикалата да бъде значително. Затова е важно да се установят вибрационните смущения в мястото на монтиране на измервателните средства, както и да се вземат необходимите мерки за отстраняване на тяхното влияние върху резултата от измерване [II.14].

Изведени са математическите модели, определящи поведението на махалови датчици с две степени на свобода [II.13]. Моделите са съставени въз основа на възможно най-широкия спектър от характеристики, интегрирани във функционалната цялост на системата вода - кораб - измервателно средство, което дава възможност за създаване на оптимални алгоритми за обработване на измервателните сигнали в реално време, като например използването на адаптивни модели в измервателните процедури.

С цел повишаване на точността на измерване в условията на инерционни въздействия, както и на изменящите се външни условия (изменението на температурата, влажността, налягането на околната среда, промяната на захранващото напрежение, влиянието на външните електрически и магнитни полета и др.), са разработени и представени няколко измервателни метода, съдържащи канали за корекция на грешката [II.15, II.16]. При разработване на структурните методи за намаляване на влиянието на условията на измерване върху точността на измервателните средства е използван принципа на инвариантност [II.15]. В този случай под инвариантност се разбира компенсиране на външните смущения, т.е. достигане на пълна или частична независимост на резултата на измерване от дестабилизиращите фактори. Предложени са следните структурни методи: метод с отрицателна обратна връзка; метод на допълнителните измервания; метод на сумиране на сигналите с обратен знак; метод с компенсация относно нулата; метод с адаптиране на алгоритъма на работа. Всеки един от тези методи има своите специфични особености и съответно - положителни или отрицателни страни в зависимост от условията на метрологичната задача, които са разгледани подробно в [II.15].

Чрез разработената и представена в [II.16] структурна схема на измервателна система се отстраняват динамичните грешки, дължащи се на инерционните въздействия. Схемата съдържа коригиращ канал, чийто изходен вектор се формира въз основа на информацията, получавана от MEMS-акселерометър.

От метрологична гледна точка експерименталното изследване на измервателни средства и системи, работещи в динамичен режим, включва определянето и изследването на две групи показатели - динамични характеристики и точностни характеристики. Познаването на тези характеристики дава възможност да се решат редица метрологични задачи, свързани с: избора на измервателното средство, обработването на резултатите от измерване, корекция на грешките и др. Поради това определянето на динамичните и точностните характеристики на измервателните средства е централен въпрос от задачата за обезпечаване на единството на динамичните измервания. Без достатъчна информация за характеристиките на използваните измервателни средства по същество е невъзможно провеждането на измервания с изключение на отделни случаи на измервания по стандартизирани методики.

Публикациите в раздела "методи и средства за изследване на динамичната точност" [II.7,

II.8, II.9, II.10, II.12, II.17, II.18] разглеждат въпросите, свързани с експерименталното изследване на тази характеристика, както и въпросите, свързани с определяне на динамичните характеристики на измервателните средства.

Съставени са обобщените структурни схеми от отворен и затворен тип за определяне на динамичните и точностните характеристики на уреди, измерващи параметри на подвижни обекти [II.8]. Разработената теоретична база и имитационни модели позволяват да бъдат уточнявани оптималните стойности на функционалните параметри, както на апаратната част на стендовата апаратура за изследване на динамичните и точностните характеристики, така и на измервателните уреди.

Предложена е конкретна структурна схема на измервателна апаратура за изследване на динамичните характеристики на уреди за измерване на параметрите на подвижни обекти [II.9]. На базата на представената структурна схема е разработено конструктивното решение на апаратния модул на стендовата апаратура, като за целта е използван софтуера за автоматизирано инженерно проектиране SolidWorks. Въз основа на програмната среда LabVIEW и модула NI USB-6211 е реализиран необходимия интерфейс за връзка и управление на трите канала от структурната схема. Разработени са необходимите виртуални уреди за изследване основните динамични характеристики на уреди за измерване на параметрите на подвижни обекти.

Съставени са математичните модели, обезпечаващи всички необходими условия за създаване на стенд-симулатори за изследване на метрологичните характеристики на измервателни средства, работещи на кораби. Разработените модели и създаденият въз основа на тях интерфейс за връзка и управление са достатъчно универсални за да могат да бъде използвани при проектиране на други системи за калибриране на уреди, работещи на различни движещи се обекти, например - автомобили, самолети и др. [II.17, II.18]. Създадена е стендова апаратура за изследване на динамичната точност на измервателни средства и системи, работещи на движещи се обекти, и по специално - на кораби. Апаратурата представлява стенд-симулатор, разработен на базата на шестстепенна платформа на Стюард, което осигурява необходимата чувствителност, маневреност и точност на движение на работната платформа [II.17, II.18].

В днешно време, MEMS – технологиите предоставят възможности за прости решения на много, преди тяхното създаване сложни, системни задачи в измерването и управлението на динамични величини и процеси благодарение, не само на техните метрологични характеристики, но и поради лесното интегриране на този миниатюрен компонент към всяка динамична система. Във връзка с това е съставена структурна схема [II.10] за изследване на динамичните характеристики на MEMS – акселерометър, на базата на разработената и представена в [II.9] стендова апаратура. Изведен е математичният модел на изследваната в [II.10] MEMS-система, който се отнася за конкретен вид чувствителен елемент. Въз основа на структурната схема и изведените диференциални уравнения е разработен имитационен модел за изследване на динамичните характеристики на MEMS – акселерометър. Разработената теоретична база и имитационни модели в [II.10] позволяват да се изследват динамичните характеристики на MEMS – акселерометри и жироскопи, въз основа на което да се извършва оптимален избор на тези системи с оглед използването им в конкретна измервателна задача.

Както беше казано по-горе вибрационните смущения в мястото на монтиране на измервателните средства оказват съществено влияние върху тяхната точност. Ето защо изследванията в [II.7, II.12] са посветени на метрологичните аспекти при модални изпитания на метални конструкции. Показано е, че основен критерий за точността при тези изпитания, са грешките от отклонение и нелинейност. Въз основа на изведените модели са представени методики за експериментално изследване на вибрациите при метални конструкции, което предоставя решения на много вибрационни проблеми, възникващи в корпусите на движещите се обекти, преди всичко при машинните вибрации.

РЕЗЮМЕТА НА ТРУДОВЕТЕ В ТЕМАТИЧНАТА ОБЛАСТ

СТАТИИ В МЕЖДУНАРОДНИ СПИСАНИЯ

II.7. Petkov, S. I., D. A. Dichev, Chr. C. Koev. Estimation of bias error by modal testing of mechanical vibrating structures. Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources. Taylor&Francis Group, London, UK, 2007, pp. 277-283. ISBN 13-978-0-415-45523-7

This paper metrological aspects of bias error and linearity by modal testing mobility measurements. Verification of an analytical mathematical model by the use of experimental results was performed. A single Frequency Response Function (FRF) for each natural mode was obtained to reveal weak structural condition in terms of "inertance". Variety of excitation type is discussed in attempt to study the dynamic error generation by mechanical mobility measurements. Results from analytical mathematical model and experiments are presented.

СТАТИИ В БЪЛГАРСКИ СПИСАНИЯ

II.8. Дичев, Д., Хр. Коев. Модели за изследване на динамичната грешка. Научни известия на ТУ-София, брой 4/124, АДП-2011, 2011, 24-31. ISSN 1310-3946.

В доклада са представени основните модели, които се използват при изследване на динамичната грешка, допускана при измервателни средства, определящи параметрите на подвижни обекти. Разработени са схемни решения за експериментално определяне на основните характеристики на динамичната грешка. С помощта на пакета Sim Mechanics от програмния комплекс Matlab и въз основа на разработените структурни схеми са моделирани необходимите механични системи за теоретично изследване на динамичната точност.

II.9. Коев, Хр., Д. Дичев. Стендова апаратура за изследване на динамичните характеристики на уреди за измерване на параметри на подвижни обекти. Научни известия на ТУ-София, брой 4/124, АДП-2011, 2011, 495-500. ISSN 1310-3946.

В доклада е представена структурната схема на стендова апаратура за изследване на метрологичната точност на уреди, работещи в динамичен режим. Въз основа на структурната схема е разработена и представена апаратната част на стенда, като за целта е използван софтуера за автоматизирано инженерно проектиране SolidWorks. Потребителският интерфейс, както и интерфейсът за връзка са изпълнени в програмната среда LabVIEW. Разгледани са инструменталните грешки на апаратния модул на стендовата апаратура.

II.10. Коев, Хр., Д. Дичев. Изследване на точностните характеристики на микроелектромеханични системи за измерване на кинематични параметри. Научни известия на ТУ-София, брой 4/124, АДП-2011, 2011, 391-397. ISSN 1310-3946.

Микроелектромеханичните системи (MEMS) намират все по-широко приложение при измерване на кинематичните параметри на подвижни обекти. В доклада са представени структурни схеми за изследване на точностните характеристики на конкретни MEMS системи. Въз основа на структурните схеми са разработени математическите модели за изследване. Числовото решаване е изпълнено чрез Simulink модели на диференциалните уравнения, описващи динамичните характеристики.

П.11. Дичев, Д. Динамична грешка на датчици за вертикала. Сп. “Механика на машините”, кн. 1, ТУ – Варна, 2016, 66-70, ISSN 0861-9727.

В настоящата работа е представен математическият модел, дефиниращ характеристиките на динамичната грешка на системи за измерване на параметри на движещи се обекти. Моделът е разработен за датчици за вертикала, основаващи се на свойствата на физичното махало. Получените уравнения дават възможност за теоретичен анализ на влиянието на функционалните параметри на динамичната система върху големината и характеристиките на динамичната грешка при подобен вид измервателни средства.

ДОКЛАДИ НА МЕЖДУНАРОДНИ КОНФЕРЕНЦИИ В ЧУЖБИНА

П.12. Petkov, S., D. Dichev, H. Koev, P. Kolev. Operational deflection shape measurement and modal analysis. 13th Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranean IMAM 2009, İstanbul, Turkey, 12-15 Oct. 2009. ISBN 978-975-561-355-0.

In the study signal analysis as a process of determining the response of a system and system analysis are discussed. Noise and vibration in the environment or in the ships building are caused by particular processes where dynamic forces excite structures. Most noise and vibration problems are related to resonance phenomena. Measuring systems for signal analysis or operational deflection shape does not give much useful information. On the other hand, the system analysis deals with vibration source, located in advance by signal analysis. The combination between two measurement procedure have been applied in attempt to precise the vibration sources and modal parameters of several modes.

ДОКЛАДИ НА МЕЖДУНАРОДНИ КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМИ В БЪЛГАРИЯ

П.13. Дичев, Д. А. Анализ на динамичната точност на компютърно-измервателни системи, определящи положението на плаващи обекти. XVI-ти ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2006. ISBN-10: 954-334-035-8.

В доклада е представен модел на динамичната система морска среда – кораб – измервателна система. При създаването на модела са взети предвид всички функционални параметри на участващите в него обекти. Въз основа на разработения S-модел на системата в средата на Simulink е извършен анализ на динамичната точност на компютърно-измервателната система. Резултатите от анализа са представени в работата.

П.14. Дичев, Д.А. Изследване на точността на измервателни средства, съдържащи инерционни елементи във вибрационна среда. XVI-ти ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2006. ISBN-10: 954-334-035-8.

Наличието на хоризонтални и вертикални вибрации в мястото на монтиране на уредите върху подвижните обекти води до възникване на динамични грешки. Последните могат да приемат недопустимо големи стойности при някои отношения между динамичните характеристики на изследваните обекти. В работата е представен модел на динамичната система подвижен обект – измервателен уред. Въз основа на разработения S-модел на системата в средата на SimMechanics е извършен анализ на динамичната точност на измервателни средства, съдържащи инерционни елементи във вибрационна среда. Резултатите от анализа са представени в работата.

П.15. Дичев, Д. А. Методи и алгоритми, използвани при решаване на задачата за адаптиране към условията на измерване. XVII-ти ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2007, ISBN 978-954-334-061-3.

Външните въздействия и променящите се външни условия предизвикват случайни и променливи систематични грешки. Първите грешки имат динамични характеристики, докато изменящите се външни условия обуславят наличието преди всичко на статични грешки. В доклада се разглеждат методите за намаляване на променливите систематични грешки и възможностите за приспособяване на алгоритмите им за отстраняване на динамичните грешки.

П.16. Дичев, Д. А. Характеристики на инерционната съставляваща на динамичната грешка при средства за измерване на крен и диферент на кораб. МК по МТТ “АМТЕХ-2007”, Габрово, 2007. ISBN 978-954-683-384-6.

Смущаващите въздействия, предизвикани от морското вълнение, водят до появата на инерционната съставляваща на динамичната грешка при уреди, измерващи параметри на движещи се обекти. В някои случаи, тази компонента на динамичната грешка може да достигне до значителни стойности. В доклада са представени диференциалните уравнения, описващи формирането на инерционната съставляваща на динамичната грешка при средства за измерване на крен и диферент на кораб, както и структурна схема за нейното отстраняване в реално време. Разработен е имитационен модел на динамичната система в средата на програмния продукт MATLAB. Представени са резултатите от теоретичното изследване на конкретни измервателни системи.

П.17. Дичев Д., Х. Хасанов. Апаратура за обезпечаване на единството на измерванията на средства за определяне на параметри на подвижни обекти. МНК „УНИТЕХ’12”, Габрово, Ноември 2012. ISSN 1313-230X.

В доклада са представени резултатите, свързани с решаване на задачи за осигуряване на единството в областта на динамичните измервания. Разработени са структурни схеми за еталонна апаратура за изследване на уреди, измерващи параметри на подвижни обекти. Представен е 3D модел на механичния модул, който представлява хексапод с шест степени на свобода. Моделът е разработен в средата на SolidWorks. На базата на този модел е построен математичен модел с помощта на Matlab/Simulink.

П.18. Дичев Д., Х. Хасанов, Хр. Коев. Стендова апаратура с паралелна структура за контрол на измервателни уреди, работещи в динамичен режим. XXIII^{BN} ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2013, ISSN 1313-9126.

В доклада са представени резултатите, свързани с решаване на задачи за осигуряване на единството в областта на динамичните измервания. Разработена е структурната схема на измервателна апаратура за метрологично изследване на уреди, измерващи параметри на колебателното движение на кораб. Механичният модул на апаратурата е разработен във вид на хексапод с шест степени на свобода. Тези механизми притежават редица достойнства, такива като висока чувствителност, маневреност, точност, големи допустими натоварвания, надеждност и др. Управлението на механичния модул се осъществява от компютър, свързан с електрическите модули на актуаторите чрез подходящ интерфейс за връзка.

П.19. Дичев Д., Х. Коев. Изследване влиянието на вибрационните смущения върху точността на измерване с махалови датчици за вертикала. XXV-^{ти} ННС "Метрология и метрологично осигуряване", Созопол, 2015, 137-143, ISSN 1313-9126.

В работата са представени математическите модели, определящи поведението на махалови чувствителни елементи в среда на вибрационни смущения. Моделите са съставени за условия, при които работят подобни измервателни средства, монтирани на подвижни обекти. Изведени са зависимостите, чрез които могат да бъдат определяни систематичните отклонения на чувствителните елементи от местната вертикала. Резултатите от направените изследвания показват, че вибрационното изместване от нулата води до появата на "лъжлив" сигнал в уреда за наличието на отклонение на основата от вертикалата.

П.С. НУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ В ТЕМАТИЧНА ОБЛАСТ "ПРИЛОЖНА МЕТРОЛОГИЯ. МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ИЗМЕРВАНЕ В СТАТИЧЕН РЕЖИМ"

Обобщена характеристика на публикациите в тематичната област

Публикациите, попадащи в тази тематична област, могат да бъдат класифицирани в следните две основни групи:

- методи и средства за измерване на линейни и ъглови величини;
- статични характеристики на измервателните средства.

В докладите от първата тематична група (методи и средства за измерване на линейни и ъглови величини) [П.21, П.24, П.25, П.26, П.27, П.29] са представени резултатите, получени както при разработването на нови, така и при усъвършенстването на характеристиките на съществуващите системи за координатни измервания. Показано е [П.29], че в днешно време, тази област на метрологичната наука придобива все по-голяма актуалност, защото един от най-важните аспекти в машиностроителното производство е свързан с контрола на геометрията на изработваните детайли. Огромната номенклатура от произвежданите изделия води до изисквания за максимална универсалност на измервателните средства. Най-използваните в световен мащаб универсални средства са координатно-измервателните машини. Направеното изследване [П.25, П.29] показва, че към настоящия момент най-използваните координатно-измервателни машини имат кинематични вериги от незатворен тип, т.е. те са разработени на базата на механизми с последователна структура. Анализирани са характеристиките на тези измервателни системи [П.21, П.25], в резултат на което е установено, че положението, скоростта и ускорението на изходното звено от водящия механизъм съвпадат с тези на входното звено от водимия механизъм, но силите в тях са еднакви по стойност и противоположни по направление. Всичко това обуславя появата на големи подвижни маси и определя възникването на инерционни сили и моменти, които предизвикват еластични деформации в направляващите, водещи до неточности в позиционирането. Уточнено е, че втората основна причина за неточността на позициониране на измервателната глава са инструменталните грешки на тези функционални елементи от механизмите, които реализират абсолютното и относителното им движение. При което, общата точност на позициониране ще зависи от сумарната грешка на системата от последователно съединени механизми.

Предложен е нов способ за корекция на указаната по-горе сумарна грешка, а именно - чрез въвеждане на референтна координатна система [П.25]. Уточнено е, че един от най-рационалните способности за нейното въвеждане в реалните метрологични процедури е на базата на компютърно моделирани референтни елементи. Представен е математичен модел на виртуален еталон за координатни измервания, който е разработен въз основа на действителния закон за разпределение на измерваната величина. Формулирани са основните

свойства, които притежава грешката, характеризираща точността на виртуалния референтен елемент.

Тематиката на материала в останалата част публикации в тази група е развита в търсене на нови нетрадиционни решения за проектиране и изработка на три-координатни измервателни системи. При разработването на тази тематична област са систематизирани следните четири направления в развитието на измервателните системи: създаване на измервателни роботи с антропоморфна конструкция, притежаващи добри манипулационни свойства, както и приложение на универсални промишлени роботи, снабдени с измервателна глава; създаване на прости по конструкция измервателни роботи с ортогонални направляващи (такива роботи, макар и да не притежават високите манипулационни свойства на антропоморфните роботи, позволяват да се измерват сложни детайли чрез едновременната работа на няколко робота в една измервателна установка); създаване на измервателни роботи въз основа на традиционната компоновка на три-координатните измервателни машини, като се повишават техните манипулационни свойства чрез увеличаване на броя на управляемите координати до 5 - 6; създаване на измервателни роботи на базата на концепцията на механизмите с паралелна кинематика [II.27]. Установено е, че едно от най-перспективните направления в това отношение е свързано с разработване на механичните конструкции на тези системи въз основа на механизми с паралелна кинематика [II.26, II.27]. Проведените изследвания показват, че тези механизми осигуряват висока чувствителност, маневреност, както и висока точност на позициониране, което създава добри предпоставки за използването им в конструкциите на три-координатните измервателни системи [II.26]. Уточнено е, че поради редица причини механизмите с паралелна структура все още не се използват в достатъчна степен в измервателната техника [II.29]. Основните причини, които са изведени в това отношение, са: сложността на управлението на този вид системи; недостатъчното усъвършенстване на методиките, които позволяват да се получат както оптималните конструктивни модели, така и най-подходящите за избраната конструкция алгоритми за автоматично или автоматизирано управление на задвижванията.

Формулирани са основните етапи на проектиране на три-координатни измервателни системи с паралелна кинематика [II.27]. Построена е структурната схема на координатни измервателни системи, чиито механичен модул е реализиран във вид на делта-робот [II.21]. Схемата представлява затворена кинематична верига от три паралелни звена, свързващи носещата плоча и притежаващия три степени на свобода подвижен крайник. Въз основа на структурната схема и характеристиките, които трябва да притежава измервателната система, е разработен конструктивният модел на механичния модул на измервателната система [II.26, II.27]. С оглед повишаване на общия обем на работното пространство, както и на чувствителността и точността на измервателната система, е избрана схема на делта-робот с начално звено, извършващо постъпателно движение спрямо направляваща, наклонена под ъгъл 45° спрямо основата.

На базата на конструктивния модел на механичния модул е разработена кинематичната схема на делта-робота [II.27]. Съставената кинематична схема дава възможност за дефиниране на задачата на кинематиката, която дава решение за зависимостите на изходните координати на подвижния крайник (измервателната глава), т.е. на обобщените координати от линейното изместване на подвижните елементи. Задачата на кинематиката е разделена на две части - права и обратна задача. Разработен е математическият модел на кинематиката на делта-робота [II.26], който се базира на правата задача. Тази задача е основна при системите за координатни измервания, защото чрез нея се определят изходните координати, когато е известно преместването на управляемите подвижни елементи. Създаденият математически модел дава възможност за създаване на управляващи алгоритми, въз основа на които да се организират процедури за три-координатен измервателен процес [II.26]. В работите от тази тематична група е доказано, че съществуват измервателни процедури, които се основават на обратната задача на кинематиката [II.21, II.29]. Ето защо в [II.29] е съставен математическият модел на обратната задача на кинематиката на делта-робота. На практика чрез модела на тази задача могат да бъдат съставяни алгоритми, които при конкретно дефинирани (описани) команди и едно зададено начално състояние, определят преминаването на подвижния крайник през точно

дефинирана поредица от последователни състояния, така че той да се позиционира в едно крайно състояние.

Основен елемент, определящ точността на позициониране на подвижния крайник, в измервателните системи с паралелна кинематика са линейните актуатори. Ето защо е разработена стендова апаратура за изследване на точността на позициониране на линейни актуатори, представена в [П.24]. Апаратурата притежава свойствата на референтно средство, установяващо действителното съотношение между еталона за дължина и калибрираната величина.

Една от метрологичните характеристики, които оказват основно влияние при формирането на резултата от измерване в статичен режим, защото може да бъде разглеждана като изходна величина, фокусираща в себе си резултатите от повечето действителни свойства на измервателните уреди, включително и точностните свойства, е статичната характеристика. Ето защо по-голямата част от публикациите във втората група (статични характеристики на измервателните средства) [П.20, П.23, П.28, П.30, П.31] обсъждат както характеристиките и влиянието на тази функция върху формирането на резултата от измерване, така и възможностите за повишаване на точността на измерване чрез провеждане на процедура за нейната корекция в реално време. Разработени са основните задачи на анализа и синтеза на статичната характеристика на измервателните средства [П.30]. В този контекст са формулирани петте подзадачи на анализа на статичната характеристика на уредите, работещи в статичен режим [П.30]. Въз основа на проведен анализ на структурните схеми на съвременните измервателни средства е установено, че с все по-голямото интегриране на възможностите на микропроцесорните системи в тях, става реално изпълнимо както разширяването на вида на измервателната информация, така и повишаването на точността на измерване [П.20]. Благодарение на разширените възможности на съвременните микропроцесорни измервателни средства става възможно решаването на нови задачи както на анализа, така и на синтеза, свързани със статичната характеристика. За съставяне на необходимите алгоритми за анализ и синтез е разработен математическият модел на измервателно средство, изразен чрез статичната характеристика [П.30]. Извършен е теоретичен анализ на статичната характеристика, въз основа на който са дефинирани моделите на действителната и номиналната статични характеристики, както и матричната форма на запис на грешката от нелинейност, разпределена по съответния начин в диапазона на измерване [П.28]. Доказано е чрез характеристиките на функционалните параметри, че действителната статична характеристика в интервала на измерване представлява нелинейна функция на измерваната величина [П.28].

За реализиране на необходимите алгоритми за определяне и корекция на грешките от нелинейност на статичната характеристика са съставени съответните математически модели, адекватно отразяващи характеристиките на тази грешка [П.20, П.28, П.30, П.31]. Установено е, че от методологична гледна точка проблемите, свързани с нелинейността на статичната характеристика, поставят за решаване следните две основни метрологични задачи: задача за оценка на грешките от нелинейност; задача за корекция на грешките от нелинейност [П.20].

За оценката на грешката от нелинейност са използвани методите на максималната приведена грешка и на средно-квадратичната приведена грешка. В първия случай апроксимиращата права се построява по метода на най-малките модули, а във втория - по метода на най-малките квадрати [П.28]. От условието за минимална стойност на максималното отклонение между номиналната и действителната функции е изведено уравнение с два аргумента, даващо възможност за оптимален избор в съответствие с цитираното условие [П.28]. Показано е, че максималното отклонение има минимум, тогава когато правата на статичната характеристика е равноотдалечена от екстремумите на грешката от нелинейност. Геометричното тълкувание на понятието равноотдалечена се изразява на практика посредством такова построяване на правата на статичната характеристика, при което максималните стойности на модула на абсолютната грешка от нелинейност да бъдат равни помежду си [П.20, П.28]. Въз основа на това условие е съставена система от определен брой нелинейни алгебрични уравнения, чието решение дава

възможност да се определят параметрите, дефиниращи положението на правата на най-малките модули. Формулирани са начините за практическо решаване на задачата за определяне на статичната характеристика по метода на най-малките модули, които се свеждат до: решаване на системата уравнения, дефинираща построяването на правата на най-малките модули по принципа за равноотдалеченост спрямо действителната статична характеристика за границите на зададения диапазон на измерване; определяне на координатите на точките, определящи двата аргумента, в условието на задачата за минимизиране на неявно зададената функция на тези два аргумента [П.28]. Изведена е зависимост, дефинираща максималната приведена грешка от нелинейност, която може да се използва като относителен критерий за правилността на получените решения.

В много от реалните случаи в практиката обаче, изборът на условието за равноотдалеченост при сложна функция в известна степен е субективен. За отстраняване на тази неопределеност е съставена програма в средата на програмния продукт Mathcad [П.31], в която изборът на двата аргумента е подчинено не на условието за равноотдалеченост, а на условието за минимума на основната функция.

За корекция на грешките от нелинейност на статичната характеристика е използван методът на най-малките квадрати, формулиран въз основа на вероятностните характеристики на конкретните измервания [П.30]. Ето защо това е един от най-ефективните способности за построяване на статичната характеристика възможно най-близко до кривата на действителната характеристика. Построен е конкретен модел на статичната характеристика, при който функцията за плътността на разпределение на вероятностите на измерваната величина е подчинена на нормалния закон (закон на Гаус) [П.30]. В този аспект могат да бъдат разгледани резултатите от изследванията, публикувани в [П.23]. Анализът е проведен въз основа на характеристиките на статичната функция на фотоелектричните кодови преобразуватели. Използван е вероятностният модел за определяне на оптималните стойности на аргументите по метода на най-малките квадрати. При което установената функция на плътността на разпределение е в съответствие със закона на Симпсън. Представени са конкретни решения в средата на програмния продукт Mathcad [П.23]. Последният е използван като среда за съставяне на приложни програми по разработените в [П.22] методики за статистическата обработка на резултатите от измерване, получени от компютърно-измервателна система за линейни измервания Mitutoyo. Задачите, свързани със статистическата обработка на данните, са формулирани в алгоритмична структура. Чрез автоматизираното прехвърляне на масивите от данни, получени при многократните измервания, преобразуването им в матричен формат и последваща статистическа обработка се постига както автоматизиране на измервателния процес, така и съществено повишаване на точността на измерване.

РЕЗЮМЕТА НА ТРУДОВЕТЕ В ТЕМАТИЧНАТА ОБЛАСТ

СТАТИИ В МЕЖДУНАРОДНИ СПИСАНИЯ (SCOPUS)

П.20. Dichev, D., F. Kogia, H. Koev, D. Diakov. Method of analysis and correction of the error from nonlinearity of the measurement instruments. Journal of Engineering Science and Technology Review, Volume 9, Issue 5, 2016, ISSN 1791-2377. SJR (SCImago Journal Rank): 0,160; IPP: 0,834; SNIP: 0,552 (2015-Scopus) (под печат)

In this work are examined the characteristics of the error from nonlinearity of the static characteristic of the measuring instruments. The possibilities to correct this error are analyzed. Mathematical models are presented, in order to allow evaluation of the error from nonlinearity regarding the permissible error of the measurement result, as well as to draw the necessary algorithms for correction of this error. The models are developed, based on the method of the smallest modules.

ДОКЛАДИ НА МЕЖДУНАРОДНИ КОНФЕРЕНЦИИ В ЧУЖБИНА

П.21. Dichev, D., A. Donchev, H. Koev. A Three-Coordinate Measuring System with Parallel Kinematics. SFITES' 2015, Kavala, May 2015, 37-40, ISBN 978-954-8483-34-6.

The present paper views the block diagram and design model of a three-coordinate system for measuring linear and angular quantities. The mechanical model has been developed on the basis of parallel mechanisms. The design has been realized in the form of a delta-robot with a translational motion of the measuring head.

ДОКЛАДИ НА МЕЖДУНАРОДНИ КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМИ В БЪЛГАРИЯ

П.22. Дичев, Д. А. Програмно обработване на резултатите от измерване, получени чрез компютърно-измервателна система. НК – CAD/CAM ТЕХНОЛОГИИ. Варна, 2006. ISSN 1312-0859.

Статистическата обработка на резултатите от измерване се използва често в метрологичната практика. Тя е средство за повишаване на точността при измерване. В настоящата работа са представени конкретни методики, подходящи за програмно решаване в средата на Mathcad, за обработване на резултатите, получени от компютърно-измервателна система за линейни измервания.

П.23. Дичев, Д., Хр. Коев. Параметричен синтез на предавателната характеристика на измервателни уреди с фотоелектрични кодови преобразуватели. МНК „УНИТЕХ’11”, Габрово, Ноември 2011. ISSN 1313-230X.

В доклада е представена методика за определяне на оптималните стойности на основните параметри от предавателните характеристики на измервателни уреди, съдържащи фотоелектрични кодови преобразуватели. Всеки един от тези параметри се формира под влияние на определена група отклонения, съществуващи в структурните схеми на разглежданите уреди. Въз основа на този метод могат да се определят максимално допустимите стойности на инструменталните и методичните грешки в процеса на проектиране на този тип измервателни средства. Математическият апарат на представената методика е разработен на базата на метода на най-малките квадрати, а практическата реализация е изпълнена в средата на програмния продукт Mathcad.

П.24. Коев, Хр., Д. Дичев, Х. Хасанов. Стендова апаратура за изследване точността на позициониране на линейни актуатори. МНК „УНИТЕХ’13”, Габрово, Ноември 2013. ISSN 1313-230X.

В доклада е представена стендова апаратура за изследване на точността на позициониране на линейни актуатори. Апаратурата притежава свойствата на референтно средство, установяващо действителното съотношение между еталона за дължина и калибрираната величина. Конструктивната реализация на апаратния модул е осъществена с помощта на софтуера за инженерно проектиране SolidWorks. Необходимият интерфейс за управление на стенда и виртуалните уреди за изследване характеристиките на линейните актуатори е разработен в програмната среда LabVIEW.

П.25. Митева Р., Д. Дичев, Д. Дяков. Модел за реализиране на виртуална еталонна база за координатни измервания. XXIV-ти ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2014, ISSN 1313-9126.

Средствата и системите, обезпечаващи координатните измервания, се характеризират с редица отклонения, свързани с практическата реализация на опорната координатна система. За компенсация на указаните грешки и отстраняване на некоректността при преобразуване е необходимо да се въведе референтна координатна система. Един от най-рационалните способи за нейното въвеждане в реалните метрологични процедури е на базата на компютърно моделирани референтни елементи. В настоящата работа се представя математичен модел на виртуален еталон за координатни измервания. Моделът е разработен въз основа на действителния закон за разпределение на измерваната величина. Формулирани са основните свойства, които притежава грешката, характеризираща точността на виртуалния референтен елемент.

П.26. Дичев, Д., А. Дончев, Х. Коев. Кинематика на делта-робот, предназначен за три-координатна измервателна система. МНК „УНИТЕХ’15”, Габрово, Ноември 2015, 282-287. ISSN 1313-230X.

В работата е представена цялостната конструкция на три-координатна измервателна система, разработена въз основа на механизми с паралелна кинематика. Системата е предназначена за измерване на линейни и ъглови размери, отклонения от формата и взаимното разположение на повърхнините и осите на машинните елементи и съединения. Разработен е математическият модел на кинематиката на делта-робота, който дава възможност за създаване на управляващи алгоритми, въз основа на които да се организират процедури за три-координатен измервателен процес.

П.27. Дичев, Д., П. Феодоров, Х. Коев. Разработване на система за координатни измервания на геометрични параметри. МНК „УНИТЕХ’15”, Габрово, Ноември 2015, 288-292. ISSN 1313-230X.

В работата е представен един нов модел на три координатна система за измерване на геометрични параметри. Механичният модул на системата е проектиран като делта-робот с наклонена направляваща и възвратно-постъпателно движение на началното звено. Систематизирани са основните направления в развитието на измервателните работи. Формулирани са основните етапи на проектиране на подобни измервателни системи. Въз основа на конструктивния модел е разработена кинематичната схема на делта-робот за координатни измервания. Кинематичната схема позволява решаването на правата и обратната задача на кинематиката на делта-робота по векторния метод.

П.28. Дичев, Д., Ф. Когиа, Х. Коев. Модели за анализ на грешките от нелинейност на статичната характеристика. XXVI-ти ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2016, 52-57, ISSN 1313-9126.

В работата са представени математически модели, даващи възможност за оценка и корекция на грешките от нелинейност на статичната характеристика на измервателните средства. Чрез моделите могат да се създават алгоритми за оптимално построяване на номиналната статична характеристика. Алгоритмите се основават на критерия за минимум на максималните стойности на модула на абсолютната грешка от нелинейност в зависимост от текущите граници на диапазона на измерване.

П.29. Дичев, Д., А. Дончев, Х. Коев. Обратна задача на кинематиката на делта-робот, предназначен за координатни измервания. XXVI-ти ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2016, 66-72, ISSN 1313-9126.

В работата е представен конструктивният модел на три-координатна измервателна система. Механичният модул на системата е изграден на базата на механизми с паралелна кинематика във вид на делта-робот. Тези механизми притежават редица достойнства, такива като: висока точност; надеждност; компактност; товароносимост и др. Представено е решението на обратната задача на кинематиката на разработения вид делта-робот. Чрез модела на тази задача могат да бъдат съставяни алгоритми, които при конкретно дефинирани (описани) команди и едно зададено начално състояние, определят преминаването на подвижния крайник през точно дефинирана поредица от последователни състояния, така че той да се позиционира в едно крайно състояние.

П.30. Дичев, Д., Ф. Когна, Х. Коев. Повишаване на точността на измерване чрез корекция на статичната характеристика. МНК „УНИТЕХ’16”, том 3, Габрово, Ноември 2016, 258-263. ISSN 1313-230X.

В доклада са представени два метода за построяване на статичната характеристика на измервателните средства. Първият е разработен на базата на метода на най-малките модули. При този метод грешката от апроксимиране не превишава в нито една точка от целия измервателен диапазон някаква предварително зададена максимална стойност. Вторият способ се основава на метода на най-малките квадрати. Този метод осигурява провеждането на измервания, за които може да се твърди, че големите по стойност грешки са много по-малко вероятни в обхвата на конкретното измерване.

П.31. Дичев, Д., Ф. Когна, Х. Коев. Модели за построяване на статичната характеристика на измервателните средства. МНК „УНИТЕХ’16”, том 3, Габрово, Ноември 2016, 283-288. ISSN 1313-230X.

В работата са представени математически модели, даващи възможност за оценка и корекция на грешките от нелинейност на статичната характеристика на измервателните средства. Чрез моделите могат да се създават алгоритми за програмно построяване на номиналната статична характеристика. Моделите се базират на условието за минимум на функцията, определяща отклоненията по метода на най-малките модули.

П.Д. НУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ В ТЕМАТИЧНА ОБЛАСТ "ТЕОРЕТИЧНА МЕТРОЛОГИЯ"

Обобщена характеристика на публикациите в тематичната област

В публикациите от тази тематична област са разработени теоретични въпроси от метрологията, свързани с формирането на резултата от измерване [П.33, П.34] и характеристиките на грешките [П.32, П.35] както в статичен, така и в динамичен режим на измерване. Класическият подход (подходът на грешката) счита, че измерваната величина може цялостно да се опише с една истинска стойност, но уредите и измерванията не представят тази стойност, което се дължи на прибавянето на систематични и случайни грешки. Едни от най-съществените проблеми в това отношение са свързани със сумирането на грешките [П.32]. От гледна точка на теория на вероятностите, случайните грешки най-точно могат да бъдат описани посредством своите закони на разпределение, а тяхното съвместно действие – чрез съответните многомерни разпределения. На практика обаче, тази

постановка на задачата за сумиране на грешките не е решима даже и за няколко съставляващи. Поради което определянето на доверителния интервал, равен на произведението от полученото средно-квадратично отклонение и квантилния множител, зависещ от закона на разпределение на сумарната грешка, по този метод е на практика невъзможно. Във връзка с това в [П.32] е предложена методика за сумиране, която се базира на разделянето на съставните грешки на адитивни и мултипликативни съставляващи, както и на правилата за сумиране на силно и слабо корелирани величини. Представени са емпирични зависимости за определяне на квантилния множител както за класа на експоненциалните и трапецвидните разпределения, така и за тъповърхите двумодални разпределения, представляващи композиция на нормалния закон. Разработени са методики за сумиране на систематични грешки, сумиране на случайни грешки и сумиране на систематични и случайни грешки, както и условията за тяхното прилагане [П.32].

Измерванията в динамичен режим се отличават и съответно се характеризират с редица специфики относно измерванията в статичен режим. Поради това може да се твърди, че характеристиките на динамичната грешка имат своите характерни особености, които са разработени подробно в [П.35]. Определена е целта на метрологичното осигуряване на динамичните измервания. Формулирани са нови дефиниционни понятия на основните характеристики в теория на динамичните измервания, а именно - динамичен режим на измерване и динамична грешка, които са изведени въз основа на анализа на съставените математични модели, дефиниращи измервателните режими, както и условията, които ги обуславят. Формулиран е подходът на изследване на грешките в динамичен режим на измерване. Изведен е базовият модел на динамичната грешка. Въз основа на анализа на динамичната точност на някои по-характерни линейни стационарни измервателни средства, са изведени математическите модели на съответните им динамични грешки [П.35]. Използваният математичен подход позволява извеждане на опростени, но точни аналитични изрази за динамичната грешка на сложни системи, състоящи се от няколко инерционни звена.

Разработени са математически модели за формиране на резултата от измерване както за отворена структурна схема с адитивно въздействие, действащо на входа на измервателното средство [П.33], така и за затворена структурна схема с приложени адитивни въздействия на входа и изхода на уреда [П.34]. Получени са формули за определяне на мултипликативната и адитивната съставляващи на резултата, както и на математическото му очакване при отворена схема, дефинираща образуването на резултата от измерване [П.33]. Разработени са методики за определяне и изследване на характеристиките на резултата от измерване, базиращи се съответно на интеграла на конволюцията и спектралния метод, както за отворена [П.33], така и за затворена схема на формиране на резултата [П.34]. Съставен е алгоритъм за определяне на корелационната функция. Представени са конкретни решения, изпълнени в средата на приложната програма Mathcad [П.33]. Изведени са моделите на мултипликативната съставляваща на резултата от измерване както за статичен, така и за динамичен режим на работа на измервателните средства [П.34]. Направени са изводи за характеристиките на дисперсията на мултипликативната грешка в динамичен и статичен режим на работа.

РЕЗИЮМЕТА НА ТРУДОВЕТЕ В ТЕМАТИЧНАТА ОБЛАСТ

ДОКЛАДИ НА МЕЖДУНАРОДНИ КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМИ В БЪЛГАРИЯ

П.32. Дичев, Д. Методики за сумиране на грешки, допускани при измерване. МНК „УНИТЕХ’08”, Габрово, Ноември 2008. ISSN 1313-230X.

Главният проблем, възникващ при сумиране е този, че всички съставляващи грешки

трябва да се разглеждат като случайни величини. В метрологичната практика задачата за сумиране на грешките от измерване не се решава чрез използване на многомерни функции за разпределение. В настоящата работа са представени методики за решаване на задачата за сумиране, които се базират на реализуеми практически числови оценки, участващи като вероятностни аргументи във функции за определяне на доверителната вероятност. Дадени са практически правила за сумиране на систематични и случайни грешки. Разгледани са правилата за образуване на сумарната грешка.

П.33. Дичев, Д., Ц. Караджов. Математически модели на резултата от измерване в динамичен режим. МНК „УНИТЕХ’09”, Габрово, Ноември 2009. ISSN 1313-230X.

В доклада са представени основните модели и алгоритми за изчисляване на характеристиките на резултата от измерване в динамичен режим. Тези характеристики са математическото очакване и дисперсията на резултата. Разработена е структурната схема на резултата от измерване със смущаващо въздействие във вид на случаен процес, действащ на входа на системата. При извеждане на математическия модел, дефиниращ формирането на резултата от измерване, е използван подход, при който грешката е разграничена на две основни съставляващи - адитивна и мултипликативна. Представени са конкретни решения, изпълнени в средата на приложната програма Mathcad.

П.34. Дичев, Д., Е. Колев, С. Начев, Фл. Бауер. Математичен модел на резултата от измерване при наличие на мултипликативна съставляваща на грешката. МНК „УНИТЕХ’10”, Габрово, Ноември 2010. ISSN 1313-230X.

В доклада са представени резултатите от теоретичното изследване на измервателния процес в статичен и динамичен режим на работа. Разработени са математичните модели на формиране на мултипликативните съставляващи на грешката и алгоритмите за определяне на техните математически очаквания и корелационните им функции. Направени са изводи за характеристиките на дисперсията на мултипликативната грешка в динамичен и статичен режим на работа.

П.35. Дичев, Д. Характеристики на динамичната грешка. XXVI-ти ННС “Метрология и метрологично осигуряване”, Созопол, 2016, 59-65, ISSN 1313-9126.

В работата са разгледани основните постановки, свързани с понятието точност на динамичните измервания. Представени са подробно характеристиките на динамичната грешка, както и моделите на тази грешка за някои характерни линейни стационарни измервателни средства. Дефинирани са моделите за формиране на инерционната съставляваща на динамичната грешка.

Ш. УЧЕБНИЦИ

Ш.1. Дичев, Д. Метрология. Унив. издателство "Васил Априлов", Габрово, 2016, 264 стр., ISBN 978-954-683-548-2.

Разгледани са основните понятия в метрологията, нейните научни и приложни аспекти. Учебникът обхваща широк кръг въпроси, включващи теория за възпроизвеждане на единиците на физичните величини и предаване на техните стойности, теория на грешките и необходимите сведения от теория на вероятностите и математическата статистика, обработването на резултатите от измерване, основните теоретични аспекти, свързани с

неопределеността на измерване, измервателните средства, тяхната структура, класификация и метрологични характеристики. Отчетени са последните решения на международните организации в областта на метрологията. Основните теми са илюстрирани с примери, способстващи за по-разбираемото представяне на теоретичния материал.

Учебникът е предназначен за студентите от техническите университети, изучаващи дисциплината "Метрология", но може да се използва от докторанти, научни работници и специалисти, работещи в областта на метрологията.

III.2. Дичев, Д. Динамични измервания. Унив. издателство "Васил Априлов", Габрово, 2016, 199 стр., ISBN 978-954-683-549-9.

Разгледани са основните понятия в теория на динамичните измервания, нейните научни и приложни аспекти. Учебникът обхваща широк кръг въпроси, включващи елементите, участващи в процеса на измерване на динамични величини, видовете режими на измерване, динамичните характеристики на измервателните средства, моделите за преобразуване на измервателни сигнали, методите за оценка и корекция на динамичните грешки. Отчетени са последните решения на международните организации в областта на метрологията. Примерите, илюстриращи решенията на отделните типове задачи, са реализирани в средата на съвременната компютърна програма Mathcad.

Учебникът е предназначен за студентите от специалност "Мехатроника" на ТУ-Габрово, изучаващи дисциплината "Компютърна измервателна техника", но може да се използва от всички студенти от факултет "Машиностроене и уредостроене" по дисциплините "Метрология" и "Метрология и измервателна техника", както и от научни работници и специалисти, работещи в областта на метрологията.

IV. МОНОГРАФИИ

IV.1. Дичев, Д. Методи и средства за измерване на параметри на движещи се обекти. Унив. издателство "Васил Априлов", Габрово, 2016, 215 стр., ISBN 978-954-683-557-4.

В монографията са представени основите на метрологичното осигуряване на измерванията на параметри на движещи се обекти. Формулирани са основните проблеми, дадени са определения на изходните понятия. Книгата обхваща широк кръг въпроси, включващи: характеристиките на измерваните и информативните величини; свойствата на обекта и средата на движение; анализа за влиянието на инерционните сили и моменти, предизвикани от движението на обектите, върху точността на измервателните уреди и системи; свойствата на средствата и системите за построяване на вертикала; динамичните и точностните характеристики на средствата за измерване на параметри на движещи се обекти.

Математическите модели за изследване на динамичната точност са съставени по отношение на методите и средствата за измерване на крен и диферент, бордово и килево клатене на кораб, но могат да бъдат използвани при точностния анализ на измервателни средства, установени на други движещи се обекти. Материалът в монографията дава достатъчно пълна представа за състоянието, перспективите на теоретичните изследвания и решенията на приложните метрологични задачи в разглежданата област.

Монографията е предназначена за докторанти, научни работници и специалисти, работещи в областта на динамичните измервания.

V.I. Dichev, D., H. Koev, P. Louda, T. Bakalova. Zpusob stanoveni předožadního naklonu a boeniho naklonu lodi ci letadla s vyloucenim dynamických chyb a merici modulovy system k provadeni tohoto zpusbu. Patent № CZ 305251 B6/01.07.2015, Úrad průmysloveho vlastnictví, Czech Republic.

Метод за измерване на бордовото и килевото клатене на кораб или самолет с изключване на динамичната грешка и модулна измервателна система за осъществяване на този метод

Изобретението описва метод за точно определяне на бордовото и килевото клатене на кораб или самолет, а също така и модулна измервателна система за осъществяване на този метод. Основният принцип при разработването на тази системата е опростена техническа реализация на местното вертикално направление във формата на физическо махало. Целта е да се отстранят грешките на местната вертикала в инерциалното пространство, възникнали в резултат на динамичните ефекти от движението на кораба или самолета. Грешката на местната вертикала може да бъде отстранена чрез получаване на допълнителна информация за действителното отклонение на махалото, поставено в измервателната система, в реално време. Споменатата измервателна система също е обект на решение в представеното изобретение.

12.12.2016 г.

гр. Габрово

Подпис:

/доц. дн инж. Димитър Дичев/