

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

№1(33)
2026

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

Выходит 4 раза в год

ISSN 2658-4727

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И
ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-
ПРИБОРОСТРОЕНИИ**
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Севастополь, 2026

Главный редактор
Филипович О.В., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Заместитель главного
редактора
Балакин А.И., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Научный редактор
Бохонский А.И., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)

Редакционная коллегия
Варганов М.В., д.т.н., проф.
(г. Москва)
Греков Н.А., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Доронина Ю.В., д.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Жмудь В.А., д.т.н., доц.,
(г. Новосибирск)
Краснодубец Л.А., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Моисеев Д.В., д.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Обжерин Ю.Е., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Осипов К.Н., д.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Песчанский А.И., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Петрешин Д.И., д.т.н., проф.
(г. Брянск)
Прейс В.В., д.т.н., проф.
(г. Тула)
Щенятский А.В., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Заморёнов М.В., к.т.н., доц
(г. Севастополь)
Майстришин М.М., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Рапацкий Ю.Л., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

- Димин М.Э., Крамарь О.А., Душко В.Р.** Разработка эффективных 4
методов кооперирующего взаимодействия подводных робототехнических
систем с использованием гидроакустического канала связи
Бурлака В.В., Гулаков С.В., Головин А.Ю. Экспериментальный 15
контроллер управления беспилотными аппаратами
Грушун А.И., Грушун Т.А., Осадченко А.Е. Анализ периодических 27
режимов в нелинейной системе автоматического управления
промышленного робота
Шаталова Ю.Г., Чаленков Н.И., Пестрякова А.В. Анализ моделей 36
реализации распределенной базы данных промышленного предприятия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

- Чернега В.С., Карлусов В.Ю., Лушина В.С.** Альтернативные 44
стохастические сетевые модели при планировании ремонтных работ в
машино- и приборостроении
Бохонский А.И., Варминская Н.И., Филипович О.В. Применение 55
функционалов законов распределения Гаусса и Рэлея в вероятностных
моделях
Мирзоян Н.Ю., Заморёнов М.В., Заморёнов И.М., Малицкая А.А. 61
Применение метода путей для оценки надежности электродвигателя

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

- Балакина Н.А.** Анализ производительности контрольно-сортировочных 69
автоматов с повторными измерениями
Васютенко А.П., Балакина Н.А. Тензометрическое весоизмерительное 81
устройство
Бурлака В.В. Модуль обработки изображения с аналоговой камеры для 90
беспилотных аппаратов
Балакин А.И., Васютенко А.П. Исследование точности подналадки 99
бесцентрово-шлифовальных станков
Теткин И.Ю., Рафиков М.Б., Калинин И.А., Марченко Ю.Г. Измерение 109
крутящего момента в бесщёточных двигателях постоянного тока: методы и
оценка границ применимости

Подписной индекс научного журнала 85768 по интернет-каталогу «Пресса России».

Научный журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», утвержденный ВАК Минобрнауки РФ, по следующим научным специальностям:

- 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ производствами (технические науки);
- 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды производствами (технические науки);
- 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Учредитель и издатель: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053.

Editor-in-Chief

Filipovich O.V., candidate of technical sciences, docent (Sevastopol)

Deputy Editor-in-Chief

Balakin A.I., candidate of technical sciences, docent (Sevastopol)

Scientific Editor

Bokhonsky A.I., doctor of technical sciences, professor (Sevastopol)

Editorial Board

Vartanov M.V., doctor of technical sciences, professor (Moscow)

Grekov N.A., doctor of technical sciences, professor (Sevastopol)

Doronina Yu.V., doctor of technical sciences, docent (Sevastopol)

Zhmud V.A., doctor of technical sciences, docent (Novosibirsk)

Krasnodubets L.A., doctor of technical sciences, professor (Sevastopol)

Moiseev D.V., doctor of technical sciences, docent (Sevastopol)

Obzherin Yu.E., doctor of technical sciences, professor (Sevastopol)

Osipov K.N., doctor of technical sciences, docent (Sevastopol)

Peschanskiy A.I., doctor of technical sciences, professor (Sevastopol)

Petreshin D.I., doctor of technical sciences, professor (Bryansk)

Preis V.V., doctor of technical sciences, professor (Tula)

Schenyatsky A.V., doctor of technical sciences, professor (Sevastopol)

Zamoryonov M.V., candidate of technical sciences, docent (Sevastopol)

Maystrishin M.M., candidate of technical sciences, docent (Sevastopol)

Rapatsky Yu.L., candidate of technical sciences, docent (Sevastopol)

CONTENTS

AUTOMATION AND CONTROL OF PROCESSES AND PRODUCTIONS

- Dimin M.E., Kramar O.A., Dushko V.R.** Development of an effective method for cooperative interaction of underwater robotic systems using a hydroacoustic communication channel 4
- Burlaka V.V., Gulakov S.V., Golovin A.Yu.** Experimental controller for unmanned vehicles 15
- Grushun A.I., Grushun T.A., Osadchenko A.E.** Analysis of periodic modes in a nonlinear automatic control system of an industrial robot 27
- Shatalova J.G., Chalenkov N.I., Pestryakova A.V.** Analysis of models for implementing a distributed database in an industrial enterprise 36

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES

- Chernega V.S., Karlusov V.Yu., Lushina V.S.** Alternative stochastic network models in planning repair work in mechanical engineering and instrumentation 44
- Bokhonsky A.I., Varminskaya N.I., Filipovich O.V.** Application of functionals of the Gaussian and Rayleigh distribution laws in probabilistic models 55
- Mirzoyan N.Y., Zamoryonov M.V., Zamoryonov I.M., Malitskaya A.A.** Application of the path method for reliability assessment of an electric motor 61

MEASURING INSTRUMENTS AND METHODS

- Balakina N.A.** Performance analysis of control and sorting automatic machines with repeated measurements 69
- Vasyutenko A.P., Balakina N.A.** Tenzometric weighing device 81
- Burlaka V.V.** Analog camera image processing module for unmanned vehicles 90
- Balakin A.I., Vasyutenko A.P.** Study on the accuracy of adjusting centerless grinding machines 99
- Tetkin I.Y., Rafikov M.B., Kalinin I.A., Marchenko Y.G.** Torque measurement in brushless DC motors: methods and assessment of the limits of applicability 109

Subscription index of the scientific journal is 85768 according to the Internet catalogue "Press of Russia".

The scientific journal is included in the "List of peer-reviewed scientific editions, in which the main results of dissertations for the degree of Candidate of sciences, for the degree of Doctor of sciences should be published", approved by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, in the following scientific specialties:

1.2.2. Mathematical modeling, numerical methods and software packages

2.2.8. Methods and devices for monitoring and diagnostics of materials, products, substances and the natural environment

2.3.3. Automation and control of technological processes and productions

Founder and publisher: FSAEI HE «Sevastopol State University» ul. Universitetskaya, 33. Sevastopol, 299053.

© FSAEI HE «Sevastopol State University»

© Authors of the articles

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ КООПЕРИРУЮЩЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДВОДНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Димин М.Э.¹, Крамарь О.А.², Душко В.Р.³

DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE METHOD FOR COOPERATIVE INTERACTION OF UNDERWATER ROBOTIC SYSTEMS USING A HYDROACOUSTIC COMMUNICATION CHANNEL

Dimin M.E.¹, Kramar O.A.², Dushko V.R.³

Аннотация. В работе рассматривается задача повышения эффективности взаимодействия подводных аппаратов, оснащённых гидроакустическими модулями связи. Основное внимание уделено ограничениям, которые возникают при передаче данных и координации группы роботов в условиях подводной среды. В качестве решения предложена концепция сетевой пользовательской надстройки, ориентированной на коммуникационные и навигационные модули, использующие гидроакустический канал для расширения функциональных возможностей существующих модемов. Такая надстройка позволяет организовать более устойчивый обмен информацией между аппаратами и повысить надёжность групповой работы. Дополнительно обсуждаются предпосылки необходимости создания надстройки, потенциальные выгоды внедрения сетевых механизмов в системы подводной связи и приводится анализ разработанного решения, в том числе, возможные сценарии применения в реальных условиях эксплуатации.

Abstract. This paper addresses the challenge of improving the efficiency of interaction among underwater vehicles equipped with hydroacoustic communication modules. Particular attention is given to the limitations that arise in data transmission and coordination of multiple robots in the underwater environment. As a solution, the concept of a network user overlay is proposed, designed for communication and navigation modules that utilize the hydroacoustic channel to extend the functional capabilities of existing modems. The proposed overlay enables more stable information exchange between vehicles and increases the reliability of cooperative operation. Furthermore, the paper discusses the prerequisites for developing such an overlay, the potential benefits of integrating networking mechanisms into underwater communication systems, and presents an analysis of the developed solution, including possible scenarios of practical deployment.

Ключевые слова. Подводные роботы, гидроакустические сети, беспроводная подводная связь, протоколы связи.

Keywords. Underwater robots, hydroacoustic networks, wireless underwater communication, communication protocols.

¹Димин Максим Эдуардович, лаборант-исследователь, dimin.maksim@yandex.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Крамарь Олег Александрович, старший преподаватель, rolets@yandex.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Душко Вероника Ростиславовна, канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой, vrdushko@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Dimin Maksim Eduardovich, Research Laboratory Technician, dimin.maksim@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Kramar Oleg Alexandrovich, Senior Lecturer, rolets@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Dushko Veronika Rostislavovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department, vrdushko@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

Бурлака В.В.¹, Гулаков С.В.², Головин А.Ю.³

EXPERIMENTAL CONTROLLER FOR UNMANNED VEHICLES

Burlaka V.V.¹, Gulakov S.V.², Golovin A.Yu.³

Аннотация. В работе предложен простой в изготовлении контроллер, позволяющий решать задачи управления беспилотными аппаратами (как воздушными, так и наземными). Контроллер оснащен гироскопом, акселерометром, магнитометром, барометром. Реализована функция вывода информации в аналоговый видеосигнал (OSD) либо самостоятельное формирование видеосигнала при отказе видеокамеры. Возможна маскировка картинки с видеокамеры за счет наложения псевдослучайного шума при сохранении OSD. Имеется также возможность переключения сигнала от разных видеокамер, а также выполнять простое шифрование видеосигнала, включающее сокрытие синхроимпульсов. Предусмотрена возможность подключения до двух модулей ультразвуковых дальномеров (например, для обеспечения автоматической мягкой посадки).

Abstract. In the paper, a simple-to-build controller is proposed that allows solving problems of controlling unmanned vehicles (both air and ground). The controller is equipped with a gyroscope, accelerometer, magnetometer, and barometer. The function of outputting information into an analog video signal (On Screen Display, OSD) or standalone formation of a video signal in case of a video camera failure is implemented. It is possible to mask the image from the video camera by superimposing pseudo-random noise while maintaining the OSD. It is also possible to switch the signal from different video cameras, as well as to perform simple encryption of the video signal, including hiding sync pulses. It is possible to connect up to two ultrasonic rangefinder modules (for example, to accomplish automatic soft landing).

Ключевые слова. Беспилотный аппарат, БПЛА, полетный контроллер, OSD, шифрование видео, низкая себестоимость, дополнительный функционал.

Keywords. Unmanned vehicle, UAV, flight controller, video encryption, low cost, additional functionality.

¹Бурлака Владимир Владимирович, д-р техн. наук, доцент, директор Научно-технического центра, vburlaka@rambler.ru, Россия, Мариуполь, ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет» – филиал НИУ МГСУ

²Гулаков Сергей Владимирович, д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник, gulakov.s.v@yandex.ru, Россия, Мариуполь, ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет» – филиал НИУ МГСУ

³Головин Андрей Юрьевич, младший научный сотрудник, a.golovin@tms-2022.ru, Россия, Мариуполь, ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет» – филиал НИУ МГСУ

Burlaka Vladimir Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department, vburlaka@rambler.ru, Russia, Mariupol, Pryazovskyi State Technical University – branch of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering

Gulakov Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, gulakov.s.v@yandex.ru, Russia, Mariupol, Pryazovskyi State Technical University – branch of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering

Golovin Andrey Yurievich, Research Assistant, a.golovin@tms-2022.ru, Russia, Mariupol, Pryazovskyi State Technical University – branch of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering

АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Грушун А.И.¹, Грушун Т.А.², Осадченко А.Е.³

ANALYSIS OF PERIODIC MODES IN A NONLINEAR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ROBOT

Grushun A.I.¹, Grushun T.A.², Osadchenko A.E.³

Аннотация. Рассматривается алгебраический метод параметрического анализа периодических режимов в нелинейной системе автоматического управления (НСАУ) промышленного робота. Классическое решение такой задачи на ЭВМ требует многократного построения и анализа кривых частотных годографов. Предлагается определять возможность существования периодических режимов в НСАУ без непосредственного построения частотных годографов по положительным вещественным корням специальным образом построенных алгебраических уравнений. Вычисление положительных вещественных корней, в отличие от вычисления комплексных корней, не представляет сложности.

Abstract. An algebraic method for parametric analysis of periodic modes in a nonlinear automatic control system (NACS) of an industrial robot is considered. The classical solution of such a problem on a computer requires multiple construction and analysis of frequency hodograph curves. It is proposed to determine the possibility of the existence of periodic modes in the NACS without directly constructing frequency hodographs using positive real roots of specially constructed algebraic equations. Calculating positive real roots, unlike calculating complex roots, is not difficult.

Ключевые слова. Промышленный робот, нелинейная система автоматического управления, периодический режим, положительные вещественные корни.

Keywords. Industrial robot, nonlinear automatic control system, periodic modes, positive real roots.

¹Грушун Андрей Иванович, канд. техн. наук, доц., доцент, a.gran69@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Грушун Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доц., доцент gai_gta@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Осадченко Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент, aeosadchenko@rambler.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Grushun Andrey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, a.gran69@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Grushun Tatiana Alexandrovna, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, gai_gta@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Osadchenko Alexander Evgenievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, aeosadchenko@rambler.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Шаталова Ю.Г.¹, Чаленков Н.И.², Пестрякова А.В.³

ANALYSIS OF MODELS FOR IMPLEMENTING A DISTRIBUTED DATABASE IN AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Shatalova J.G.¹, Chalenkov N.I.², Pestryakova A.V.³

Аннотация. В статье анализируется архитектура взаимодействия клиентов и распределённой базы данных промышленного предприятия. Рассматриваются три модели организации взаимодействия. Обосновывается выбор трёхуровневой модели с использованием двух серверов приложений. Осуществляется распределение функций по уровням выбранной модели. Проводится обоснование фрагментации базы данных. Анализируются возможные методы репликации, объясняется выбор классической модели с основной копией. Обосновывается выбор двухфазного метода синхронизации данных на узлах базы. Разрабатывается система репликации и синхронизации распределенной базы данных предприятия.

Abstract. The article analyzes the architecture of interaction between clients and a distributed database of an industrial enterprise. Three models of interaction organization are considered. The choice of a three-tier model using two application servers is substantiated. The distribution of functions across the levels of the chosen model is carried out. The justification of database fragmentation is provided. Possible replication methods are analyzed, and the choice of a classical model with a master copy is explained. The choice of a two-phase method for synchronizing data on database nodes is substantiated. A system for replicating and synchronizing the distributed database of an enterprise is developed.

Ключевые слова. Распределённая база данных, сервер приложений, методы синхронизации, репликация данных.

Keywords. Distributed database, application server, synchronization methods, and data replication.

¹Шаталова Юлия Георгиевна, канд. техн. наук, доц., доцент, ugshatalova@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Чаленков Никита Игоревич, старший преподаватель, nichalenkov@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Пестрякова Анна Вячеславовна, ассистент, pestryakova@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Shatalova Julia Georgievna, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, ugshatalova@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Chalenkov Nikita Igorevich, Senior Lecturer, nichalenkov@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Pestryakova Anna Vyacheslavovna, Assistant, pestryakova@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ В МАШИНО- И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Чернега В.С.¹, Карлусов В.Ю.², Лушина В.С.³

ALTERNATIVE STOCHASTIC NETWORK MODELS IN PLANNING REPAIR WORK IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENTATION

Chernega V.S.¹, Karlusov V.Yu.², Lushina V.S.³

Аннотация. Рассмотрена возможность использования альтернативных стохастических GERT-сетей для повышения точности оценки длительности ремонтных работ в машино- и приборостроении. Разработана модель GERT-сети обобщенной процедуры ремонта оборудования и получена формула для расчета эквивалентной передаточной функции обобщенной GERT-сети, являющейся основой для определения производящей функции моментов эквивалентной сети, по которой определяется математическое ожидание и дисперсия времени выполнения процедуры ремонта оборудования.

Abstract. The possibility of using alternative stochastic GERT networks to improve the accuracy of estimating the duration of repair work in mechanical engineering and instrument engineering is considered. A model of a GERT network of a generalized equipment repair procedure is developed and a formula is obtained for calculating the equivalent transfer function of the generalized GERT network, which is the basis for determining the generating function of the moments of the equivalent network, according to which the mathematical expectation and variance of the time of performing the equipment repair procedure are determined.

Ключевые слова. GERT-модель процедуры ремонта оборудования, производящая функция моментов эквивалентной сети, математическое ожидание длительности ремонта.

Keywords. GERT model of equipment repair procedure, generating function of moments of equivalent network, mathematical expectation and variance of repair duration.

¹Чернега Виктор Степанович, канд. техн. наук, доц., доцент, v_chernega@rambler.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Карлусов Вадим Юрьевич, канд. техн. наук, доц., доцент, kvyu_2015@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Лушина Виктория Сергеевна, ассистент, vsyanovskaya@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Chernega Viktor Stepanovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, v_chernega@rambler.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Karusov Vadim Yur'evich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, kvyu_2015@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Lushina Victoria Sergeevna, Assistant, vsyanovskaya@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛОВ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАУССА И РЭЛЕЯ В ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЯХ

Бохонский А.И.¹, Варминская Н.И.², Филипович О.В.³

APPLICATION OF FUNCTIONALS OF THE GAUSSIAN AND RAYLEIGH DISTRIBUTION LAWS IN PROBABILISTIC MODELS

Bokhonsky A.I.¹, Varminskaya N.I.², Filipovich O.V.³

Аннотация. Для законов распределения случайных величин Гаусса и Рэлея с привлечением алгоритма решения полной обратной задачи вариационного исчисления (названо реверсионным исчислением) восстановлены функционалы, в общем виде отражающие свойства случайных величин. Для этих функционалов с использованием теоремы о численном равенстве определенных интегралов из общего нелинейного алгебраического уравнения первообразных графически найдены корни, являющиеся верхним пределом интегрирования. Обсуждается возможность практического использования результатов, отражающих совместное применение теории вероятностей и вариационного исчисления.

Abstract. Functionals that generally reflect the properties of random variables are reconstructed for the distribution laws of Gaussian and Rayleigh random variables using the algorithm of the complete inverse problem of the calculus of variations (called reversal calculus). For these functionals, using the theorem on the numerical equality of definite integrals from a general nonlinear algebraic equation of antiderivatives, the roots, which are the upper limit of integration, are graphically found. The practical application of these results, reflecting the combined application of probability theory and the calculus of variations, is discussed.

Ключевые слова. Теория вероятностей, среднее квадратическое отклонение, законы Гаусса и Рэлея, восстановленные функционалы, приложения.

Keywords. Probability theory, standard deviation, Gauss and Rayleigh laws, reconstructed functionals, applications.

¹Бохонский Александр Иванович, д-р техн. наук, проф., профессор, bohon.alex@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Варминская Наталья Ивановна, канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой, nvarminska@gmail.com, Россия, Севастополь, Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова

³Филипович Олег Викторович, канд. техн. наук, доц., доцент, ophisl@yandex.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Bokhonsky Alexander Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, bohon.alex@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Varminskaya Natalia Ivanovna, Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department, nvarminska@gmail.com, Russia, Sevastopol, Black Sea Higher Naval School named after P.S. Nakhimov

Filipovich Oleg Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, ophisl@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПУТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Мирзоян Н.Ю.¹, Заморёнов М.В.², Заморёнов И.М.³, Малицкая А.А.⁴

APPLICATION OF THE PATH METHOD FOR RELIABILITY ASSESSMENT OF AN ELECTRIC MOTOR

Mirzoyan N.Y.¹, Zamoryonov M.V.², Zamoryonov I.M.³, Malitskaya A.A.⁴

Аннотация. В данной статье строится аналитическая модель для оценки надежности промышленного электродвигателя. Модель учитывает диагностику износа подшипников и основывается на аппарате полумарковских процессов, а также на оригинальном методе путей, предложенном авторами. Ключевым выходным параметром моделирования выбрано время безотказной работы системы. Верификация модели осуществляется путем сравнения математического ожидания времени пребывания системы в подмножестве работоспособных состояний с результатами, полученными при моделировании такой системы методом траекторий.

Abstract. This paper constructs an analytical model for assessing the reliability of an industrial electric motor. The model takes into account data from bearing wear diagnostics and is based on the apparatus of semi-Markov processes, as well as an original method of paths proposed by the authors. The system's time to failure is chosen as the key output parameter of the simulation. Verification of the model is carried out by comparing the mathematical expectation of the system's sojourn time in the subset of operable states with the results obtained by modeling such a system using the method of trajectories.

Ключевые слова. Полумарковская модель, электродвигатель, диагностика, безотказная работа, метод путей.

Keywords. Semi-Markov model, electric motor, diagnostics, trouble-free operation, trajectory method.

¹Мирзоян Наталья Юрьевна, ассистент, nataly2997@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Заморёнов Михаил Вадимович, канд. техн. наук, доцент, zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Заморёнов Илья Михайлович, ассистент, imzamoryonov@sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

⁴Малицкая Александра Александровна, старший преподаватель, malitskaya@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Mirzoyan Natalia Yurievna, Assistant, nataly2997@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zamoryonov Ilya Mikhailovich, Assistant, imzamoryonov@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Malitskaya Alexandra Alexandrovna, Senior Lecturer, malitskaya@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНТРОЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫХ АВТОМАТОВ С ПОВТОРНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

Балакина Н.А.¹

PERFORMANCE ANALYSIS OF CONTROL AND SORTING AUTOMATIC MACHINES WITH REPEATED MEASUREMENTS

Balakina N.A.¹

Аннотация. Использование многократных измерений является эффективным методом повышения точности за счет компенсации случайных погрешностей. Показано, что применение повторных измерений 100% контролируемых деталей снижает производительность контрольно-сортировочного автоматов с последовательным циклом выполнения операций на 34...43% при постоянном времени вспомогательных операций. Для автоматов с параллельным циклом предложена схема с двумя последовательно расположенными измерительными позициями для повторных измерений и блоком самоподнастройки для компенсации систематических составляющих погрешности измерения без снижения производительности автоматов.

Abstract. The use of repeated measurements is an effective method of accuracy increase due to compensation of random errors. It is shown that the use of repeated measurements of 100% of controlled parts reduces the productivity of the control and sorting automatic machine with a sequential cycle of operations by 34...43% at constant time of auxiliary operations. The scheme with two sequentially arranged measuring positions for repeated measurements and self-tuning block for compensation of systematic components of measurement error without reducing the productivity of automatic machines is proposed for automatic machines with parallel cycle.

Ключевые слова. Производительность, автомат, цикл, сортировка, повторные измерения, поднастройка, погрешность.

Keywords. Productivity, automatic, cycle, sorting, repeat measurements, tweaking, uncertainty.

¹Балакина Наталья Анатольевна, старший преподаватель, ANBalakina@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Balakina Natalia Anatolievna, Senior Lecturer, ANBalakina@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЕ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Васютенко А.П.¹, Балакина Н.А.²

TENZOMETRIC WEIGHING DEVICE

Vasyutenko A.P.¹, Balakina N.A.²

Аннотация. Приведена структурная схема весоизмерительной системы, конструкция измерительного устройства на базе тензометрических преобразователей и методика его расчета. Сформулирована цель работы. Приведены выражение, описывающее статическую характеристику измерительного устройства и результаты моделирования характеристик при различных сочетаниях конструктивных параметров. Рассчитаны чувствительности измерения, позволяющие определять числовые значения параметров устройства, обеспечивающие заданный диапазон и точности измерения.

Abstract. The paper presents a structural diagram of a weighing system, the design of a measuring device based on strain gauge transducers, and a method for calculating it. The purpose of the work is formulated. The paper presents an expression describing the static characteristic of the measuring device and the results of modeling the characteristics for various combinations of design parameters. The paper calculates the measurement sensitivities, which allow determining the numerical values of the device parameters that ensure the specified range and measurement accuracy.

Ключевые слова. Измерение, тензопреобразователь, чувствительность, статическая характеристика, пружинный параллелограмм.

Keywords. Measurement, strain gauge, sensitivity, static characteristic, spring parallelogram.

¹Васютенко Александр Павлович, канд. техн. наук, доц., доцент, APVasutenko@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Балакина Наталья Анатольевна, старший преподаватель, ANBalakina@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Vasyutenko Alexander Pavlovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, APVasutenko@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Balakina Natalia Anatolievna, Senior Lecturer, ANBalakina@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

МОДУЛЬ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С АНАЛОГОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ

Бурлака В.В.¹

ANALOG CAMERA IMAGE PROCESSING MODULE FOR UNMANNED VEHICLES

Burlaka V.V.¹

Аннотация. В работе предложен простой в изготовлении модуль, позволяющий проводить несложный анализ изображения, получаемого с аналоговой видеокамеры. Такой модуль может быть использован, например, на беспилотных аппаратах для облегчения решения задач стабилизации и визуальной навигации, либо для автоматического обнаружения в кадре движущихся объектов. Схема построена на однокристальном микроконтроллере с ядром Cortex-M4. Для связи с внешними устройствами предусмотрено два асинхронных последовательных порта и выходы ШИМ сигналов. Имеется также возможность переключения сигнала от разных видеокамер, а также выполнять простое шифрование видеосигнала, включающее сокрытие синхросигналов.

Abstract. The paper proposes a simple-to-manufacture module that allows for simple analysis of image received from an analog video camera. Such a module can be used, for example, on unmanned vehicles to facilitate the solution of stabilization and visual navigation tasks, or for automatic detection of moving objects in the image from camera. The circuit is built around a single-chip microcontroller with a Cortex-M4 core. Two asynchronous serial ports and PWM signal outputs are provided for communication with external devices. It is also possible to switch signals from different cameras, as well as to perform simple encryption of the video signal, including hiding synchronization pulses.

Ключевые слова. Обработка изображения, аналоговый видеосигнал, визуальная одометрия, беспилотный аппарат, оптическое отслеживание объекта.

Keywords. Image processing, analog video signal, visual odometry, unmanned vehicle, optical object tracking.

¹Бурлака Владимир Владимирович, д-р техн. наук, доцент, директор Научно-технического центра, vburlaka@rambler.ru, Россия, Мариуполь, ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет» – филиал НИУ МГСУ

Burlaka Vladimir Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department, vburlaka@rambler.ru, Russia, Mariupol, Pryazovskiy State Technical University – branch of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОДНАЛАДКИ БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Балакин А.И.¹, Васютенко А.П.²

STUDY ON THE ACCURACY OF ADJUSTING CENTERLESS GRINDING MACHINES

Balakin A.I.¹, Vasyutenko A.P.²

Аннотация. Приведена схема обработки и измерения деталей на бесцентрово-шлифовальном станке, сформулирована цель работы. Представлены график изменения размеров деталей при подналадке и зависимости погрешности обработки и подналадки бесцентрово-шлифовальных станков от параметров процесса обработки и точности измерительного устройства. Приведены результаты моделирования погрешности подналадки для различных методов формирования управляющей команды: по одной детали (импульсу), по повторным импульсам, по среднему арифметическому. Дана сравнительная оценка погрешности подналадки для указанных методов.

Abstract. The scheme for the processing and measurement of components on a centreless grinding machine is presented, along with the objectives of the work. A graph illustrating the variation in component dimensions during setup is included, as well as the relationships between machining error and the setup of centreless grinding machines, influenced by processing parameters and the accuracy of the measuring device. The results of simulating setup errors for various methods of generating control commands are provided: for a single component (impulse), for repeated impulses, and for the arithmetic mean. A comparative assessment of the setup errors for the specified methods is also given.

Ключевые слова. Бесцентровое шлифование, подналадка, метод формирования команды на подналадку, погрешность подналадки.

Keywords. Centreless grinding, adjustments, team formation method for adjustments, adjustment error.

¹Балакин Алексей Игоревич, канд. техн. наук, доц., доцент, AIBalakin@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Васютенко Александр Павлович, канд. техн. наук, доц., доцент, APVasutenko@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Balakin Alexey Igorevich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, AIBalakin@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Vasyutenko Alexander Pavlovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, APVasutenko@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol,

ИЗМЕРЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В БЕСЩЁТОЧНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА: МЕТОДЫ И ОЦЕНКА ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ

Теткин И.Ю.¹, Рафиков М.Б.², Калинин И.А.³, Марченко Ю.Г.⁴

TORQUE MEASUREMENT IN BRUSHLESS DC MOTORS: METHODS AND ASSESSMENT OF THE LIMITS OF APPLICABILITY

Tetkin I.Y.¹, Rafikov M.B.², Kalinin I.A.³, Marchenko Y.G.⁴

Аннотация. В статье рассматриваются методы измерения крутящего момента бесщёточных двигателей постоянного тока (BLDC), применяемых в робототехнике, медицинском оборудовании, а также беспилотной авиации. Проведён анализ тензометрических, реактивных, косвенных токовых, а также инерционных методов, выявлены их преимущества и ограничения с точки зрения точности, стоимости и сложности проведения испытаний. Разработана концепция малогабаритного лабораторного стенда на базе контроллера Arduino/STM32, позволяющего получать данные с погрешностью 5–10 % в диапазоне моментов до 2 Н·м и частот вращения до 40 000 об/мин. Показано, что предложенный подход обеспечивает низкую стоимость, простоту конструкции и широкие возможности учебного применения. Определены ограничения инерционного метода: чувствительность к шумам датчиков, необходимость калибровки потерь и учёта дисбаланса маховика. Результаты исследования демонстрируют перспективность предложенного метода для испытаний электродвигателей малой мощности в лабораторных условиях.

Abstract. The article discusses methods for measuring the torque of brushless DC motors (BLDC) used in robotics, medical equipment, and unmanned aircraft. The analysis of strain gauges, reactive, indirect current, and inertial methods has been carried out, and their advantages and limitations in terms of accuracy, cost, and complexity of testing have been identified. The concept of a small-sized laboratory stand based on the Arduino/STM32 controller has been developed, which allows obtaining data with an error of 5-10% in the range of torques up to 2 Nm and rotational speeds up to 40,000 rpm. It is shown that the proposed approach provides low cost, simplicity of design and wide possibilities of educational application. The limitations of the inertial method are determined: sensitivity to sensor noise, the need to calibrate losses and take into account the imbalance of the flywheel. The results of the study demonstrate the prospects of the proposed method for testing low-power electric motors in laboratory conditions.

Ключевые слова. Крутящий момент, бесщёточный двигатель постоянного тока, механическая характеристика, инерционный стенд.

Keywords. Torque, brushless DC motor, mechanical characteristic, inertial stand.

¹Теткин Игорь Юрьевич, студент, i@tetkin.ru, Россия, Екатеринбург, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

²Рафиков Мурат Булатович, студент, murat.rafikov01@mail.ru, Россия, Екатеринбург, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

³Калинин Илья Александрович, преподаватель, i.a.kalinin@urfu.ru, Россия, Екатеринбург, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

⁴Марченко Юрий Глебович, преподаватель, iug.marchenko@urfu.ru, Россия, Екатеринбург, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Tetkin Igor Yuryevich, student, i@tetkin.ru Russia, Yekaterinburg, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Rafikov Murat Bulatovich, student, murat.rafikov01@mail.ru, Russia, Yekaterinburg, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Kalinin Ilya Alexandrovich, Lecturer, i.a.kalinin@urfu.ru, Russia, Yekaterinburg, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Marchenko Yuri Glebovich, Lecturer, iug.marchenko@urfu.ru, Russia, Yekaterinburg, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin