

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

№2(34)
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

- Майстришин М.М., Теленко А.В.** Модернизация технологического 4
процесса конденсации хладагента станции охлаждения газа
Никишин В.В., Багаев А.В., Подруцкий В.С. Разработка 12
автоматизированной лебёдки для погружных океанологических приборов
Бохонский А.И., Варминская Н.И. Преобразование оптимального 19
углового переносного ускорения в эквивалентное по энергоемкости
релейное
Филипович О.В., Вандышев Д.А., Тиунова А.В., Камцев В.А. 27
Селективная сборка узла шатунно-поршневой группы двигателей
внутреннего сгорания

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

- Песчанский А.И.** Стационарные характеристики ненадежной 33
восстанавливаемой многокомпонентной системы обслуживания с потерями
Токарев Д.А., Кудряшов А.В., Дементьев К.В. Применение кривых 47
Дубинса для генерации оптимальных траекторий
Заморёнов М.В., Заморёнов И.М., Малицкая А.А., Шевченко В.И. 54
Использование метода траекторий при моделировании киберфизической
системы с заменой элемента при контроле
Кротов К.В. Математические модели оптимизации составов партий 60
деталей и порядков их обработки в конвейерных системах с
использованием целочисленного линейного программирования
Абибуллаев Э.А. Численный метод стабилизации обучения генеративно- 77
состязательных моделей с использованием метрики Вассерштейна для
аппроксимации распределений биомедицинских данных
Крамарь В.А., Евстафьева Е.В., Залата О.А., Московчук О.Б. 86
Математическая формализация и статистические методы анализа
элементного и пестицидного статусов в биологических субстратах матери
и новорождённого
Чаленков Н.И., Заморёнов М.В., Заморёнов И.М., Ченгарь О.В. 96
Верификация модели системы с заменой элемента при её контроле

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

- Балакин А.И.** Влияние погрешности измерения диаметра вала на 101
показатели надёжности двигателя внутреннего сгорания
Бурлака В.В. Устройство балансировки и поэлементного измерения 109
напряжения литиевых батарей

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

- Maistrishin M.M., Telenko A.V.** Modernization of the refrigerant condensation process of the gas cooling station 4
- Nikishin V.V., Bagaev A.V., Podrutcky V.S.** Development of an automated winch for submersible oceanological instruments 12
- Bohonsky A.I., Varminskya N.I.** Conversion of optimal angular translational acceleration to relay equivalent 19
- Filipovich O.V., Vandyshv D.A., Tiunova A.V., Kamtsev V.A.** Selective assembly of the connecting rod and piston group unit of internal combustion engines 27

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES

- Peschansky A.I.** Stationary characteristics of an unreliable recoverable multi-component maintenance system with losses 33
- Tokarev D.A., Kudryashov A.V., Dementiev K.V.** Using Dubins curves to make optimal pathways 47
- Zamoryonov M.V., Zamoryonov I.M., Malitskaya A.A., Shevchenko V.I.** Using the trajectory method in modeling a cyber-physical system with element replacement during its monitoring 54
- Krotov K.V.** Mathematical models of composition optimization batches of parts and their processing procedures in conveyor systems using integer linear programming 60
- Abibulaev E.A.** A numerical method for stabilizing the training of generative adversary models using the Wasserstein metric for approximation of biomedical data distributions 77
- Kramar V.A., Evstafieva E.V., Zalata O.A., Moskovchuk O.B.** The mathematical formalization and statistical methods of analysis of elemental and pesticide status in biological substrates of the mother and the newborn 86
- Chalenkov N.I., Zamoryonov M.V., Zamoryonov I.M., Chengar O.V.** System model verification with element replacement during control 96

MEASURING INSTRUMENTS AND METHODS

- Balakin A.I.** The effect of shaft diameter measurement error on the reliability indicators of an internal combustion engine 101
- Burlaka V.V.** Device for lithium batteries balancing and per-element voltage measuring 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

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ ХЛАДАГЕНТА СТАНЦИИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

Майстришин М.М.¹, Теленко А.В.²

MODERNIZATION OF THE REFRIGERANT CONDENSATION PROCESS OF THE GAS COOLING STATION

Maistrishin M.M.¹, Telenko A.V.²

Аннотация. Исследуется модернизация технологического процесса конденсации хладагента (пропана) в холодильном цикле станции охлаждения газа. Обоснована актуальность повышения эффективности и надежности работы конденсатора хладагента в условиях эксплуатации газотранспортных объектов Крайнего Севера. Предложены технические решения, основанные на внедрении замкнутой системы автоматического регулирования частоты вращения вентиляторов конденсатора. Реализация предложенных мероприятий позволяет повысить энергоэффективность холодильного цикла, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить стабильность технологических параметров.

Abstract. This paper explores the modernization of the refrigerant (propane) condensation process in the refrigeration cycle of a gas cooling station. The need for improving the efficiency and reliability of the refrigerant condenser under the operating conditions of gas transmission facilities in the Far North is substantiated. Technical solutions based on the introduction of a closed-loop system for automatic speed control of condenser fans are proposed. The implementation of the proposed measures makes it possible to increase the energy efficiency of the refrigeration cycle, reduce the influence of the human factor and ensure the stability of technological parameters.

Ключевые слова. Станция охлаждения газа, конденсация пропана, холодильный цикл, автоматизация, конденсатор.

Keywords. Gas cooling station, propane condensation, refrigeration cycle, automation, condenser.

¹Майстришин Михаил Михайлович, канд. техн. наук, доцент, mmmaystrishin@sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Теленко Аркадий Валериевич, студент, arik250504@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Maystrishin Mikhail Mikhaylovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, mmmaystrishin@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Telenko Arkady Valerievich, Student, arik250504@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛЕБЁДКИ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Никишин В.В.¹, Багаев А.В.², Подруцкий В.С.³

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED WINCH FOR SUBMERSIBLE OCEANOLOGICAL INSTRUMENTS

Nikishin V.V.¹, Bagaev A.V.², Podrutcky V.S.³

Аннотация. Представлены результаты разработки системы управления автоматизированной лебёдкой для вертикального перемещения океанологического измерительного оборудования. Назначение комбинированной системы – получение вертикальных профилей распределения параметров воды в море или озере. Система управления состоит из драйвера электродвигателя, программного обеспечения для управляющего микроконтроллера и счетчика оборотов на основе сенсора Холла.

Abstract. The results of the development of a control system for an automated winch for the vertical movement of oceanological measuring equipment are presented. The purpose of such a combined system is to obtain vertical profiles of the distribution of water parameters in the sea or lake. The control system consists of an electric motor driver, software for the control microcontroller, and a revolution counter based on a Hall sensor.

Ключевые слова. Система управления, мониторинг, микроконтроллер, окружающая среда.

Keywords. Control system, monitoring, microcontroller, environment.

¹Никишин Владимир Владимирович, канд. техн. наук, доц., доцент, nikishin_v@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Багаев Андрей Владимирович, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, a.bagaev1984@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»

³Подруцкий Владислав Сергеевич, магистрант, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Nikishin Vladimir Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, nikishin_v@mail.ru, Russian Federation, Sevastopol, Sevastopol State University

Bagaev Andrei Vladimirovich, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Leading Researcher, a.bagaev1984@gmail.com, Russian Federation, Sevastopol, FSBSI FRC «Marine Hydrophysical Institute»

Podrutcky Vladislav Sergeevich, Master Student, Russian Federation, Sevastopol, Sevastopol State University

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПЕРЕНОСНОГО УСКОРЕНИЯ В ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ПО ЭНЕРГОЕМКОСТИ РЕЛЕЙНОЕ

Бохонский А.И.¹, Варминская Н.И.²

CONVERSION OF OPTIMAL ANGULAR TRANSLATIONAL ACCELERATION TO RELAY EQUIVALENT

Bohonsky A.I.¹, Varminskya N.I.²

Аннотация. Выявлена возможность преобразования заранее известного реверсионно конструируемого управления, снижающего энергетическое принуждение для достижения цели движения, в эквивалентное релейное управление (переносное ускорение). Приведен пример реализации алгоритма реверсионного конструирования переносного ускорения (управления) и получения эквивалентного по энергоемкости релейного управления движением, при котором достигается состояние покоя в конечном положении. Результаты исследования подтверждают возможность практической реализации данного типа управления.

Abstract. The possibility of converting a previously known reversibly designed control, which reduces energy coercion to achieve the motion purpose, into equivalent relay control (translational acceleration) is revealed. An example of the algorithm implementation for reverse design of translational acceleration (control) and obtaining equivalent in energy intensity relay control, at which quiescence state in the final position is achieved, is given. The results of the study confirm the possibility of practical implementation of this type of control.

Ключевые слова. Реверсионное конструирование, энергоемкость, минимальное энергетическое принуждение, аналитический и численный анализ, релейное оптимальное управление.

Keywords. Reverse engineering, energy intensity, minimum energy coercion, analytical and numerical analysis, relay optimal control.

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

Bohonsky 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

СЕЛЕКТИВНАЯ СБОРКА УЗЛА ШАТУННО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Филипович О.В.¹, Вандышев Д.А.², Тиунова А.В.³, Камцев В.А.⁴

SELECTIVE ASSEMBLY OF THE CONNECTING ROD AND PISTON GROUP UNIT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Filipovich O.V.¹, Vandyshev D.A.², Tiunova A.V.³, Kamtsev V.A.⁴

Аннотация. Рассматриваются варианты конструкций узла шатунно-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания. Для достижения требуемой точности его сопряжений используют селективные методы сборки. Построена базовая математическая модель, позволяющая при заданных допущениях определять вероятности образования сборочных комплектов. Для принятых исходных данных приведен пример определения данного показателя сборочного процесса. Обозначены перспективы дальнейших исследований.

Abstract. This article examines design options for the connecting rod and piston assembly of an internal combustion engine. Selective assembly methods are used to achieve the required mating accuracy. A basic mathematical model has been developed that, under given assumptions, allows for determining the probabilities of assembly set formation. An example of determining this assembly process indicator for the adopted initial data is provided. Prospects for further research are outlined.

Ключевые слова. Селективная сборка, узел шатунно-поршневой группы, математическая модель, вероятности образования сборочных комплектов.

Keywords. Selective assembly, connecting rod and piston group unit, mathematical model, probabilities of formation of assembly sets.

¹Филипович Олег Викторович, канд. техн. наук, доц., доцент, ophis1@yandex.ru, Россия, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Вандышев Денис Анатольевич, аспирант, denisvandyshev@gmail.com, Россия, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Тиунова Анастасия Владимировна, аспирант, tiunowan4s@yandex.ru, Россия, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

⁴Камцев Вячеслав Андреевич, ассистент, kva_m98@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Filipovich Oleg Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, ophis1@yandex.ru, Russia, Sevastopol State University

Vandyshev Denis Anatolyevich, Postgraduate Student, denisvandyshev@gmail.com, Russia, Sevastopol State University

Tiunova Anastasiya Vladimirovna, Postgraduate Student, tiunowan4s@yandex.ru, Russia, Sevastopol State University

Kamtsev Vyacheslav Andreevich, Assistant, kva_m98@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

СТАЦИОНАРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕНАДЕЖНОЙ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ МНОГОКОМПОНЕТНОЙ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПОТЕРЯМИ

Песчанский А.И.¹

STATIONARY CHARACTERISTICS OF AN UNRELIABLE RECOVERABLE MULTI-COMPONENT MAINTENANCE SYSTEM WITH LOSSES

Peschansky A.I.¹

Аннотация. Исследуется неоднородная многокомпонентная система обслуживания с потерями и ненадежными восстанавливаемыми приборами. Поступающий в систему поток заявок простейший. Времена обслуживания на приборах, наработки приборов до отказа и времена их восстановлений имеют распределения общего вида. На основании построенной полумарковской модели функционирования системы находятся ее стационарные характеристики: финальные вероятности и средние времена пребывания в состояниях.

Abstract. A heterogeneous multi-component queuing system with losses and unreliable, recoverable devices is studied. The incoming flow of requests into the system is simple. The service times on the devices, the mean time between failures, and the recovery times have general distributions. Based on the constructed semi-Markov model of the system's operation, its stationary characteristics are determined.

Ключевые слова. Многокомпонентная систем обслуживания, наработка прибора до отказа, полумарковская модель, стационарные показатели системы.

Keywords. Multi-component queuing system, device mean time between failures, semi-Markov model, stationary system parameters.

¹Песчанский Алексей Иванович, д-р техн. наук, проф., профессор, peschansky_sntu@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Peschansky Aleksey Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, peschansky_sntu@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ПРИМЕНЕНИЕ КРИВЫХ ДУБИНСА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Токарев Д.А.¹, Кудряшов А.В.², Дементьев К.В.³

USING DUBINS CURVES TO MAKE OPTIMAL PATHWAYS

Tokarev D.A.¹, Kudryashov A.V.², Dementiev K.V.³

Аннотация. В данной работе был проведён анализ метода построения траекторий движения группы роботов с ограниченной манёвренностью в трёхмерном пространстве. Для построения траекторий рассматривался метод кривых Дубинса. Дополнительно проведено исследование возможностей метода в применении к предотвращению столкновений с препятствиями. Кривые, полученные в ходе исследования, представлены в статье. Результаты экспериментов показали, что метод кривых Дубинса можно использовать для построения траекторий для группы роботов в сложной трёхмерной среде с препятствиями.

Abstract. This paper presents an analysis of a trajectory planning method for a group of robots with limited maneuverability. The Dubins curves method was considered for trajectory generation. Additionally, the method's potential for collision avoidance with obstacles was investigated. The curves obtained during the study are presented in the article. Experimental results demonstrated that the Dubins curves method can be used for planning trajectories for a robot group in a complex environment with obstacles.

Ключевые слова. Генерация траекторий, кривые Дубинса, параметрические кривые.

Keywords. Trajectory synthesis, Dubins curves, parametrized curves.

¹Токарев Денис Александрович, канд. техн. наук, Tdanis@yandex.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Кудряшов Арсений Валерьевич, monsterkakes@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Дементьев Кирилл Валерьевич, mash.saigon.89@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Tokarev Denis, Tdanis@yandex.ru, Candidate of Technical Sciences, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Kudryashov Arseniy, monsterkakes@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Dementiev Kirill, mash.saigon.89@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТРАЕКТОРИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЗАМЕНОЙ ЭЛЕМЕНТА ПРИ КОНТРОЛЕ

Заморёнов М.В.¹, Заморёнов И.М.², Малицкая А.А.³, Шевченко В.И.⁴

USING THE TRAJECTORY METHOD IN MODELING A CYBER-PHYSICAL SYSTEM WITH ELEMENT REPLACEMENT DURING ITS MONITORING

Zamoryonov M.V.¹, Zamoryonov I.M.², Malitskaya A.A.³, Shevchenko V.I.⁴

Аннотация. Решена задача анализа надёжности и эффективности функционирования киберфизической системы, в которой осуществляется контроль и замена элементов в процессе эксплуатации. В качестве математического инструментария выбран аппарат полумарковских процессов. Использован оригинальный метод укрупнения модели, особенностью которого является отсутствие необходимости в предварительном определении стационарного распределения вложенной цепи Маркова. Определены ключевые характеристики: переходные вероятности, стационарное распределение. Для анализа системы применен метод траекторий, на основе которого построена функция распределения времени безотказной работы системы. Проведено сравнение результатов моделирования с теоретическими оценками, полученными с использованием теоремы о среднестатистическом времени пребывания в подмножестве состояний. Представлен итоговый аналитический вид искомой функции распределения, что демонстрирует применимость и эффективность оценки надёжности сложных технических систем.

Abstract. The paper addresses the problem of analyzing the reliability and efficiency of a cyber-physical system that undergoes monitoring and component replacement during operation. The mathematical framework is based on the theory of semi-Markov processes. An original model aggregation method is employed, with the key feature being the elimination of the need for a preliminary determination of the stationary distribution of the embedded Markov chain. Key characteristics such as transition probabilities and the stationary distribution are defined. For system analysis, the trajectory method is applied, which is used to construct the distribution function of the system's uptime. A comparison is made between the simulation results and theoretical estimates obtained using the theorem on the mean time spent in a subset of states. The paper presents the final analytical form of the desired distribution function, demonstrating the applicability and effectiveness of the proposed approach for assessing the reliability of complex technical systems.

Ключевые слова. Полумарковская система, киберфизическая система, функция распределения, метод траекторий, контроль и замена элемента.

Keywords. Semi-Markov system, cyber-physical system, distribution function, trajectory method, monitoring, element replacement.

¹Михаил Вадимович Заморёнов, канд. техн. наук, доц., доцент, zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Заморёнов Илья Михайлович, ассистент, ilia.zamoryonov@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Малицкая Александра Александровна, старший преподаватель, malitskaya@sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

⁴Шевченко Виктория Игоревна, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой, vishevchenko@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

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

Zamoryonov Ilia Mikhailovich, Assistant, ilia.zamoryonov@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

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

Shevchenko Viktoria Igorevna, Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department, vishevchenko@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ ПАРТИЙ ДЕТАЛЕЙ И ПОРЯДКОВ ИХ ОБРАБОТКИ В КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Кротов К.В.¹

MATHEMATICAL MODELS OF COMPOSITION OPTIMIZATION BATCHES OF PARTS AND THEIR PROCESSING PROCEDURES IN CONVEYOR SYSTEMS USING INTEGER LINEAR PROGRAMMING

Krotov K.V.¹

Аннотация. Автоматизированное управление процессами выпуска деталей разных типов в производственных конвейерных системах предусматривает формирование из них партий и построение расписаний их обработки. Детали, включаемые в партии, обрабатываются на устройствах этих систем последовательно. Оптимизация составов партий и порядков их обработки на устройствах возможна с использованием целочисленного программирования. Современные модели целочисленного программирования позволяют распределять детали по партиям для их параллельной обработки на устройствах. Способ перемещения партий между устройствами в этих моделях предполагает их передачу при завершении обработки всех деталей в них. Альтернативный способ перемещения деталей из партий между двумя устройствами предполагает их передачу в момент времени завершения обработки каждой детали на предшествующем устройстве. В связи с этим выполнена разработка моделей целочисленного программирования оптимизации рассматриваемых решений. Первоначально получены две нелинейные модели, которые затем линеаризованы. Верификация моделей осуществлена в программе IBM ILOG CPLEX. Результаты исследований показали эффективность моделей при решении рассматриваемых задач и рост производительности обработки деталей при включении их в партии.

Abstract. Automated control of the processes of producing parts of different types in production conveyor systems provides for the formation of batches from them and the construction of schedules for their processing. The parts included in the batch are processed sequentially on the devices of these systems. Optimization of batch compositions and processing procedures on devices is possible using integer programming. Modern integer programming models allow parts to be distributed in batches for parallel processing on devices. The method of moving batches between devices in these models involves transferring them when processing all the parts in them is completed. An alternative way to move parts from batches between two devices involves transferring them at the time each part is processed on the previous device. In this regard, the development of integer programming models for optimizing the solutions under consideration has been carried out. Initially, two non-linear models were obtained, which were then linearized. The verification of the models was carried out in the IBM ILOG CPLEX program. The research results have shown the effectiveness of the models in solving the tasks under consideration and an increase in the productivity of processing parts when they are included in batches.

Ключевые слова. Конвейерные системы, партии деталей, расписания, модели смешанного целочисленного линейного программирования.

Keywords. Conveyor systems, batches of parts, schedules, mixed integer linear programming models.

¹Кротов Кирилл Викторович, д-р техн. наук, доцент, krotov_kl@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Krotov Kirill Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, krotov_kl@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТРИКИ ВАССЕРШТЕЙНА ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ БИМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Абибуллаев Э.А.¹

A NUMERICAL METHOD FOR STABILIZING THE TRAINING OF GENERATIVE ADVERSARY MODELS USING THE WASSERSTEIN METRIC FOR APPROXIMATION OF BIOMEDICAL DATA DISTRIBUTIONS

Abibulaev E.A.¹

Аннотация. В современной онкодиагностике проблема автоматизированной классификации редких патологий остается одной из трудноразрешимых задач. Ограниченность доступных размеченных наборов данных, характерная для орфанных заболеваний, приводит к неспособности классических алгоритмов глубокого обучения формировать устойчивые разделяющие гиперплоскости, что выражается в низких показателях чувствительности (Recall) и высокой частоте ложноотрицательных заключений. В работе представлен второй этап (E2) комплексного исследования по разработке гибридной диагностической системы. В отличие от первого этапа, где применялась базовая архитектура DCGAN, в текущем эксперименте предложен и обоснован переход к использованию генеративно-состязательных сетей на основе метрики Вассерштейна с градиентным штрафом и спектральной нормализацией.

Abstract. In modern cancer diagnostics, the automated classification of rare pathologies remains one of the most pressing and challenging problems. The limited availability of labeled datasets, typical for orphan diseases, results in the inability of classical deep learning algorithms to generate stable separating hyperplanes, resulting in low sensitivity (recall) rates and a high false-negative rate. This paper presents the second stage (E2) of a comprehensive study to develop a hybrid diagnostic system. Unlike the first stage, which utilized the basic DCGAN architecture, this experiment proposes and mathematically justifies the use of generative adversarial networks based on the Wasserstein metric with gradient penalty and spectral normalization.

Ключевые слова. Генеративно-состязательные сети, синтетическая аугментация данных, гибридные CNN-GAN модели, глубокое обучение.

Keywords. Generative adversarial networks, synthetic data augmentation, hybrid CNN-GAN models, deep learning.

¹Абибуллаев Энвер Алимович, соискатель, enverabibullaev20@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Abibulaev Enver Alimovich, Applicant, enverabibullaev20@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО И ПЕСТИЦИДНОГО СТАТУСОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СУБСТРАТАХ МАТЕРИ И НОВОРОЖДЁННОГО

Крамарь В.А.¹, Евстафьева Е.В.², Залата О.А.³, Московчук О.Б.⁴

THE MATHEMATICAL FORMALIZATION AND STATISTICAL METHODS OF ANALYSIS OF ELEMENTAL AND PESTICIDE STATUS IN BIOLOGICAL SUBSTRATES OF THE MOTHER AND THE NEWBORN

Kramar V.A.¹, Evstafieva E.V.², Zalata O.A.³, Moskovchuk O.B.⁴

Аннотация. Статья предлагает математическую формализацию анализа элементного и пестицидного статуса в биологических субстратах матери и новорожденного. Разработаны подходы к обработке логнормальных распределений с учетом пределов обнаружения, включая расчет геометрического среднего, геометрического стандартного отклонения, квантилей и доверительных интервалов для сравнения групп. Методы реализуются с использованием пакетов R (survival, fitdistrplus, NADA) и Python (scipy, statsmodels, lifelines).

Abstract. The article presents mathematical formalization for analyzing elemental and pesticide status in biological substrates of mother and newborn. Approaches are developed for processing lognormal distributions accounting for limits of detection, including calculations of geometric mean, geometric standard deviation, quantiles, and confidence intervals for group comparisons. Methods are implemented using R packages (survival, fitdistrplus, NADA) and Python (scipy, statsmodels, lifelines).

Ключевые слова. Математические методы, логнормальное распределение, биологические субстраты, элементный статус.

Keywords. Mathematical methods, lognormal distribution, biological substrates, elemental status.

¹Крамарь Вадим Александрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, vakramar@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Евстафьева Елена Владимировна, д-р биолог. наук, проф., зав. кафедрой, evevstafeva@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Залата Ольга Александровна, канд. мед. наук, доц., доцент, oazalata@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

⁴Московчук Ольга Борисовна, канд. биолог. наук, доц., доцент, obmoskovchuk@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Kramar Vadim Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, vakramar@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Evstafieva Elena Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Department, evevstafeva@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zalata Olga Aleksandrovna, Doctor of Medical Sciences, Docent, Associate Professor, oazalata@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Moskovchuk Olga Borisovna, Candidate of Biological Sciences, Docent, Associate Professor, obmoskovchuk@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ С ЗАМЕНОЙ ЭЛЕМЕНТА ПРИ ЕЁ КОНТРОЛЕ

Чаленков Н.И.¹, Заморёнов М.В.², Заморёнов И.М.³, Ченгарь О.В.⁴

SYSTEM MODEL VERIFICATION WITH ELEMENT REPLACEMENT DURING CONTROL

Chalencov N.I.¹, Zamoryonov M.V.², Zamoryonov I.M.³, Chengar O.V.⁴

Аннотация. При помощи среды имитационного моделирования AnyLogic строится дискретно-событийная имитационная модель полумарковской системы с контролем состояния элемента и его заменой при отказе. Путем сравнения результатов имитационного и аналитического моделирования, полученного на основе метода путей, выполняется верификация аналитической модели. Приводится детальное описание блоков имитационной модели.

Abstract. In the article, a discrete-event simulation model of a semi-Markov system is constructed using the AnyLogic simulation modeling environment. This model includes state monitoring of an element and its replacement upon failure. Verification of the analytical model is performed by comparing the results of simulation and analytical modeling, obtained using the path method. A detailed description of the simulation model blocks is provided.

Ключевые слова. Замена элемента, имитационная модель, верификация модели, подмножество работоспособных состояний, искусственный интеллект.

Keywords. Component replacement, simulation model, model verification, subset of operational states, artificial intelligence.

¹Чаленков Никита Игоревич, старший преподаватель, nichalencov@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

²Заморёнов Михаил Вадимович, канд. техн. наук, доц., доцент, mvzamoryonov@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

³Заморёнов Илья Михайлович, ассистент, ilia.zamoryonov@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

⁴Ченгарь Ольга Васильевна, канд. техн. наук, доц., доцент, ovchengar@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Chalencov Nikita Igorevich, Senior Lecturer, nichalencov@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, mvzamoryonov@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zamoryonov Ilia Mikhailovich, Assistant, ilia.zamoryonov@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Chengar Olga Vasilievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ovchengar@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ВАЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЁЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Балакин А.И.¹

THE EFFECT OF SHAFT DIAMETER MEASUREMENT ERROR ON THE RELIABILITY INDICATORS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Balakin A.I.¹

Аннотация. Показана актуальность оценки влияния погрешности измерения геометрических параметров деталей на показатели надёжности изделия. Приводится математическая модель, связавшая погрешность измерения диаметра вала подшипника скольжения с показателями надёжности. Дан анализ связи «геометрическая погрешность – надёжность». Представлен пример моделирования, на котором показано, что погрешность измерения в 3 мкм (при допуске в 30 мкм) снижает ресурс подшипника скольжения на 15%, а ресурс всего двигателя на 1,26%.

Abstract. The relevance of assessing the impact of measurement errors in the geometric parameters of components on product reliability indicators is demonstrated. A mathematical model is presented that links the measurement error in the diameter of a sliding bearing shaft to reliability indicators. An analysis of the relationship between 'geometric error and reliability' is provided. A simulation example is presented, which shows that a measurement error of 3 μm (with a tolerance of 30 μm) reduces the service life of the plain bearing by 15% and the service life of the entire engine by 1.26%.

Ключевые слова. Надёжность, ресурс, погрешность измерения, подшипник скольжения, двигатель внутреннего сгорания.

Keywords. Reliability, service life, measurement error, plain bearing, internal combustion engine.

¹Балакин Алексей Игоревич, канд. техн. наук, доцент, доцент, AIBalakin@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

УСТРОЙСТВО БАЛАНСИРОВКИ И ПОЭЛЕМЕНТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЛИТИЕВЫХ БАТАРЕЙ

Бурлака В.В.¹

DEVICE FOR LITHIUM BATTERIES BALANCING AND PER-ELEMENT VOLTAGE MEASURING

Burlaka V.V.¹

Аннотация. В работе предложено схемное решение простого устройства балансировки и поэлементного измерения напряжения аккумуляторных батарей. Схема спроектирована таким образом, что имеет относительно небольшое число элементов, не содержит прецизионных и труднодоступных деталей, позволяет работать с батареями, имеющими разное число элементов. Применение такого устройства позволяет контролировать состояние аккумуляторных батарей путем поэлементного измерения напряжения, а также проводить их балансировку, тем самым продлевая срок эксплуатации батарей. Устройство может служить для организации зарядки литиевых батарей от произвольного источника с подходящими параметрами, обеспечивая балансировку и контроль напряжений элементов.

Abstract. In the paper, a circuit topology solution of a simple device for battery balancing and per-element voltage measurement is proposed. The circuit is designed in such a way that it has a relatively small number of components, does not contain precision and hard-to-find parts, and allows working with batteries with different number of elements. The use of such a device allows monitoring the state of batteries by per-element measurement of voltage, as well as balancing them, thus extending the service life of the batteries. The device can be used to organize charging of lithium batteries from an arbitrary source with suitable parameters, providing balancing and control of element voltages.

Ключевые слова. Литиевая аккумуляторная батарея, балансировка, измерение напряжения, BMS, цифровой вольтметр.

Keywords. Lithium battery, balancing, voltage measurement, BMS, digital voltmeter.

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