

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

**№4(32)**  
**2025**

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, 2025

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  
**Вартанов 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

- Камцев В.А., Филипович О.В.** Идентификация распределений случайных составляющих погрешностей измерения с применением искусственных нейронных сетей 4
- Грушун А.И., Грушун Т.А, Осадченко А.Е., Карапетян В.А.** Оценка быстродействия системы автоматического управления промышленного робота 22
- Толоконский А.О., Менюк Д.С.** Сравнительный анализ традиционных методов параметрической оптимизации автоматических регуляторов АЭС и метода с применением аналитических тренажеров 31
- Шлаев В.И., Бильчук М.В.** Обобщенная модель автоматизации процесса контроля качества изделий приборостроения 43
- Тугашова Л.Г., Тагиров А.Ф.** Автоматизация и управление установкой по получению микробного белка на основе многоконтурных систем 54
- Жмудь В.А., Асет А., Ахметова А.М., Абдилдаева А.А.** Оптимизация с помощью искусственного интеллекта давления воды в диспетчеризации водоснабжения 65

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

- Щетинин Е.Ю., Пестрякова А.В.** Разработка модели пространственно-временного трансформера и его применение для автоматизированной диагностики патологий сердечного ритма 74
- Осипов К.Н.** Модель предиктивного прогнозирования параметров сварных соединений 87
- Бохонский А.И., Варминская Н.И., Рыжков А.И.** Функции распределения случайных величин и их функционалы 95
- Бохонский А.И., Варминская Н.И., Майстришин М.М.** Эквивалентное по энергоемкости релейное ускорение реверсионно конструируемому 102

### ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

- Зуев С.М., Дебелов В.В., Куракина Е.А.** К анализу характеристик лазерного цифрового сканера на основе технологии DLP для прецизионного контроля качества изделий 108

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

- Kamtsev V.A., Filipovich O.V.** Identifying the distributions of random measurement error components using artificial neural networks 4
- Grushun A.I., Grushun T.A., Osadchenko A.E., Karapetyan V.A.** Evaluation of the speed of the automatic control system of an industrial robot 22
- Tolokonsky A.O., Menyuk D.S.** Comparative analysis of traditional methods for parametric optimization of automatic controllers in NPPs and an approach using analytical simulators 31
- Shlaev V.I., Bilchuk M.V.** Generalized model for automating the quality control process of instrument engineering products 43
- Tugashova L.G., Tagirov A.F.** Automation and control of a microbial protein production unit based on multiple-contour systems 54
- Zhmud V.A., Asset A., Akhmetova A.M., Abdildayeva A.A.** Optimization using artificial intelligence of water pressure in water supply dispatching 65

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES

- Shchetinin E.Yu., Pestryakova A.V.** Development of a model of spatio-temporal transformer and its use for automated diagnosis of heart rhythm pathologies 74
- Osipov K.N.** The model of predictive forecasting of welding joint parameters 87
- Bokhonsky A.I., Varminskaya N.I., Ryzhkov A.I.** Distribution functions of random variables and their functionals 95
- Bokhonsky A.I., Varminskaya N.I., Maystrishin M.M.** Equivalent in energy capacity relay acceleration reversibly designed 102

MEASURING INSTRUMENTS AND METHODS

- Zuev S.M., Debelov V.V., Kurakina E.A.** To the analysis of the characteristics of a laser digital scanner based on DLP technology for precision quality control of products 108

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

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СЛУЧАЙНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Камцев В.А.<sup>1</sup>, Филипович О.В.<sup>2</sup>

## IDENTIFYING THE DISTRIBUTIONS OF RANDOM MEASUREMENT ERROR COMPONENTS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Kamtsev V.A.<sup>1</sup>, Filipovich O.V.<sup>2</sup>

**Аннотация.** Предложен метод идентификации законов распределений случайных составляющих погрешностей измерения и нахождения оценок их параметров с применением моделей на основе свёрточных нейронных сетей. Рассмотрены архитектуры моделей, алгоритм их обучения и порядок генерации обучающих данных. Приведены графики процесса обучения моделей, результаты испытаний обученных моделей на синтетических и экспериментальных данных. Произведена оценка достоверности и адекватности результатов предсказаний моделей путём сравнения с классическими статистическими методами и методом выбора вида распределения по информационному критерию Акаике.

**Annotation.** A method is proposed for identifying the probability distributions of random measurement errors components and estimating their parameters using convolutional neural network-based models. The architectures of the models, their training algorithm, and the procedure for generating training data are described. Training curves are presented, along with the results of testing the trained models on both synthetic and experimental data. The reliability and adequacy of the model predictions are evaluated by comparing them with classical statistical methods and with the distribution selection approach based on the Akaike information criterion (AIC).

**Ключевые слова.** Погрешность измерения, случайная составляющая, идентификация распределений, искусственные нейронные сети, классификация, регрессия параметров, информационный критерий Акаике.

**Keywords.** Measurement error, random component, distributions identification, artificial neural networks, classification, parameters regression, Akaike information criterion.

<sup>1</sup>Камцев Вячеслав Андреевич, ассистент, kva\_m98@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

<sup>2</sup>Филипович Олег Викторович, канд. техн. наук, доц., доцент, ophisl@yandex.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Kamtsev Vyacheslav Andreevich, Assistant, kva\_m98@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

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

# ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Грушун А.И.<sup>1</sup>, Грушун Т.А.<sup>2</sup>, Осадченко А.Е.<sup>3</sup>, Карапетян В.А.<sup>4</sup>

## EVALUATION OF THE SPEED OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ROBOT

Grushun A.I.<sup>1</sup>, Grushun T.A.<sup>2</sup>, Osadchenko A.E.<sup>3</sup>, Karapetyan V.A.<sup>4</sup>

**Аннотация.** Рассматривается алгебраический метод параметрической оценки быстродействия систем автоматического управления (САУ) промышленных роботов. Классическое решение такой задачи на ЭВМ требует многократного построения и анализа кривых переходного процесса. Предлагается определять быстродействие САУ без непосредственного построения кривой переходного процесса 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 evaluation of the speed of automatic control systems (ACS) of industrial robots is considered. The classical solution of such a problem on a computer requires multiple construction and analysis of transient process curves. It is proposed to determine the speed of ACS without directly constructing a transient process curve using positive real roots of specially constructed algebraic equations. Calculating positive real roots, unlike calculating complex roots, is not difficult.

**Ключевые слова.** Промышленный робот, линейная система автоматического управления, длительность переходного процесса, область устойчивости, область качества, положительные вещественные корни.

**Keywords.** Industrial robot, linear automatic control system, duration of the transition process, stability area, quality area, positive real roots.

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

<sup>2</sup>Грушун Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доц., доцент gai\_gta@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

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

<sup>4</sup>Карапетян Валерий Артёмович, канд. техн. наук, доц., доцент karvalart@mail.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

Karapetyan Valery Artemovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, karvalart@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ АЭС И МЕТОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ

Толоконский А.О.<sup>1</sup>, Менюк Д.С.<sup>2</sup>

## COMPARATIVE ANALYSIS OF TRADITIONAL METHODS FOR PARAMETRIC OPTIMIZATION OF AUTOMATIC CONTROLLERS IN NPPS AND AN APPROACH USING ANALYTICAL SIMULATORS

Tolokonksy A.O.<sup>1</sup>, Menyuk D.S.<sup>2</sup>

**Аннотация.** Цель исследования – разработка усовершенствованного метода настройки автоматических регуляторов для энергоблоков АЭС, обеспечивающего высокую точность, устойчивость и соответствие нормативам. Существующие методы (Зиглера-Никольса, Чина-Хронеса-Ресвика) имеют недостатки: низкую точность в сложных системах и необходимость ручной корректировки. Предлагается использование аналитических тренажеров, моделирующих динамику энергоблока с высокой достоверностью. Методы включают сравнительный анализ, математическое моделирование и экспериментальную верификацию на ПТК УМИКОН. Аналитический тренажер генерирует данные для оптимизации параметров регуляторов. Разработаны эмпирические зависимости для быстрой оценки коэффициентов ПИ-регуляторов с учетом динамики объекта. Результаты: апериодический переходный процесс без перерегулирования, сокращение времени выхода на уставку на 35–40% (vs Зиглера-Никольса) и улучшение динамики на 25–30% (vs Чина-Хронеса-Ресвика). Устойчивость подтверждена при вариациях параметров  $\pm 25\%$ , степень затухания  $\geq 0,83$ . Метод применим для различных контуров АЭС, сокращает время наладки и повышает надежность. Перспективы — адаптация для многоконтурных систем и интеграция с цифровыми двойниками.

**Abstract.** The study aims to develop an improved method for tuning automatic controllers in NPP power units, ensuring high accuracy, stability, and compliance with regulatory standards. Existing methods (e.g., Ziegler-Nichols, Chien-Hrones-Reswick) have limitations, including low accuracy in complex systems and the need for manual adjustments. The proposed approach uses analytical simulators to model unit dynamics with high fidelity. Research methods include comparative analysis of classical tuning techniques, mathematical modeling based on simulators, and experimental verification using a real-time hardware-software complex (PTK UMIKON). The analytical simulator generates input data for optimizing controller parameters. Empirical dependencies were developed for rapid estimation of PI-controller coefficients, accounting for system dynamics. Results show an aperiodic transient response without overshoot, a 35–40% faster settling time compared to Ziegler-Nichols, and a 25–30% improvement in dynamic performance over Chien-Hrones-Reswick. Experiments confirmed system stability under  $\pm 25\%$  parameter variations, with a damping ratio  $\geq 0.83$ . The method is applicable to various NPP control loops, reducing commissioning time and improving reliability. Future research will focus on adaptation for multi-loop systems and integration with NPP digital twins.

**Ключевые слова.** Автоматические регуляторы, параметрическая оптимизация, аналитический тренажер, АЭС, методы Зиглера-Никольса, переходные характеристики.

**Keywords.** Automatic controllers, parametric optimization, analytical simulator, NPP, Ziegler-Nichols methods, transient characteristics.

<sup>1</sup>Толоконский Андрей Олегович, канд. техн. наук, доцент, кафедра теплофизики №13 института ядерной физики и технологий, aotolokonksij@mephi.ru, Россия, Москва, «НИЯУ МИФИ»

<sup>2</sup>Менюк Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры №2 «Автоматика» института физико-технических интеллектуальных систем, avsergeev@sevsu.ru, Россия, Москва, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»»

Tolokonksy Andrey Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Thermophysics No. 13, Institute of Nuclear Physics and Technology, aotolokonksij@mephi.ru, Russia, Moscow, Moscow Engineering Physics Institute National Research Nuclear University MEPHI

Menyuk Dmitry Sergeevich, postgraduate student of the Department No. 2 "Automation" of the Institute of Physical and Technical Intelligent Systems, d.menyuk@mail.ru, Russia, Moscow, Moscow Engineering Physics Institute National Research Nuclear University MEPHI

# ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Шлаев В.И.<sup>1</sup>, Бильчук М.В.<sup>2</sup>

## GENERALIZED MODEL FOR AUTOMATING THE QUALITY CONTROL PROCESS OF INSTRUMENT ENGINEERING PRODUCTS

Shlaev V.I.<sup>1</sup>, Bilchuk M.V.<sup>2</sup>

**Аннотация.** Рассматривается автоматизация контроля качества изделий приборостроения, в виде многоканальных систем преобразователей. Анализируются существующие методы регистрации и обработки сигналов (включая спектральный анализ и методы цифровой фильтрации). В работе рассматриваются методы и алгоритмы обработки данных, применяемые в многоканальных системах, включая спектральный анализ, быстрые преобразования Фурье и методы фильтрации помех. Рассматриваются проблемы, возникающие при увеличении количества каналов, и предлагаются решения, основанные на использовании каскадных схем коммутации. Описываются существующие стандарты контроля качества различных типов преобразователей, включая гидрофоны, микрофоны и электролюминесцентные датчики. Предложена структурная модель автоматизации процесса контроля качества, основанная на каскадной схеме коммутации, позволяющей эффективно обрабатывать большое количество каналов. Разработанная математическая модель управления коммутацией обеспечивает оптимальное распределение сигналов и минимизацию потерь данных. Использование отечественных измерительных модулей и оптимизированных алгоритмов обработки данных позволит повысить эффективность контроля качества, снизить зависимость от импортного оборудования и увеличить устойчивость к внешним помехам. Внедрение предложенных решений обеспечит повышение точности измерений и расширение функциональных возможностей системы.

**Abstract.** Automation of quality control of instrumentation products in the form of multichannel converter systems is considered. The existing methods of signal registration and processing (including spectral analysis and digital filtering methods) are analyzed. The paper discusses data processing methods and algorithms used in multichannel systems, including spectral analysis, fast Fourier transforms, and interference filtering methods. The problems that arise when the number of channels increases are considered, and solutions based on the use of cascade switching schemes are proposed. The existing quality control standards for various types of transducers, including hydrophones, microphones, and electroluminescent sensors, are described. A structural model of automation of the quality control process is proposed, based on a cascade switching scheme that allows efficient processing of a large number of channels. The developed mathematical model of switching control ensures optimal signal distribution and minimization of data loss. The use of domestic measurement modules and optimized data processing algorithms will improve the efficiency of quality control, reduce dependence on imported equipment and increase resistance to external interference. The implementation of the proposed solutions will ensure an increase in measurement accuracy and an expansion of the system's functionality.

**Ключевые слова.** Автоматизация контроля качества, многоканальные системы преобразователей, регистрация данных, обработка сигналов, спектральный анализ, преобразование Фурье, коммутация каналов, измерительные модули, приборостроение, датчики.

**Keywords.** Quality control automation, multi-channel converter systems, data registration, signal processing, spectral analysis, Fourier transform, channel switching, measurement modules, instrumentation, sensors.

<sup>1</sup>Шлаев Виктор Иванович, аспирант, shl.vik.iv@gmail.com, Россия, Москва, МГТУ «Станкин»

<sup>2</sup>Бильчук Мария Викторовна, канд. техн. наук, доц., mbilchuk@stankin.ru, Россия, Москва, МГТУ «Станкин»

Shlaev Victor Ivanovich, Postgraduate Student, shl.vik.iv@gmail.com, Russia, Moscow, MSUT «Stankin»

Bilchuk Maria Victorovna, Candidate of Technical Sciences, Docent, mbilchuk@stankin.ru, Russia, Moscow, MSUT «Stankin»

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ УСТАНОВКОЙ ПО ПОЛУЧЕНИЮ МИКРОБНОГО БЕЛКА НА ОСНОВЕ МНОГОКОНТУРНЫХ СИСТЕМ

Тугашова Л.Г.<sup>1</sup>, Тагиров А.Ф.<sup>2</sup>

## AUTOMATION AND CONTROL OF A MICROBIAL PROTEIN PRODUCTION UNIT BASED ON MULTIPLE-CONTOUR SYSTEMS

Tugashova L.G.<sup>1</sup>, Tagirov A.F.<sup>2</sup>

**Аннотация.** Рассмотрена возможность построения моделей системы управления уровнем pH среды на установке получения микробного белка с применением многоконтурных систем. Осуществлен выбор входных и выходных параметров ферментера. Предложена функциональная схема автоматизации объекта. Получена имитационная модель объекта. Разработана структура комплекса технических средств. Выполнено построение и тестирование структуры в виде двухконтурных систем в программе Codesys. Применение предложенной модели системы управления уровнем pH среды направлено на повышение качества выходного продукта.

**Abstract.** The possibility of building models of the pH control system for the microbial protein production unit using multi-loop systems has been considered. The input and output parameters of the fermenter have been selected. A functional diagram of the object's automation has been proposed. An object simulation model has been obtained. The structure of the technical equipment complex has been developed. The structure has been built and tested as a two-loop system using the Codesys software. The proposed model of the pH control system aims to improve the quality of the output product.

**Ключевые слова.** Управление, имитационная модель, ферментер, регулирование, уровень pH среды, расход, контроллер, частотный преобразователь.

**Keywords.** Control, simulation model, fermenter, regulation, pH level, flow rate, controller, frequency converter.

<sup>1</sup>Тугашова Лариса Геннадьевна, канд. техн. наук, доц., доцент, tugashova@yandex.ru, Россия, Альметьевск, ГАОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

<sup>2</sup>Тагиров Айрат Фанилевич, студент, airat.tagirov04@mail.ru, Россия, Альметьевск, ГАОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

Tugashova Larisa Gennad'evna, Candidate of Technical Sciences, Docent, Assoc. Professor, tugashova@yandex.ru, Russia, Almetьевsk, Almetьевsk State Technological University «Higher School of Petroleum»

Tagirov Ayrat Fanilevich, student, airat.tagirov04@mail.ru, Russia, Almetьевsk, Almetьевsk State Technological University «Higher School of Petroleum»

# ОПТИМИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ В ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Жмудь В.А.<sup>1</sup>, Асет А.<sup>2</sup>, Ахметова А.М.<sup>3</sup>, Абдилдаева А.А.<sup>4</sup>

## OPTIMIZATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE OF WATER PRESSURE IN WATER SUPPLY DISPATCHING

Zhmud V.A.<sup>1</sup>, Asset A.<sup>2</sup>, Akhmetova A.M.<sup>3</sup>, Abdildayeva A.A.<sup>4</sup>

**Аннотация.** Рассматривается применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) и нейронных сетей в диспетчеризации водоснабжения, для контроля давления воды в режиме реального времени и эффективного управления системой. Описываются методы использования ИИ для оптимизации давления воды в диспетчерской системе водоснабжения, их преимущества и практические результаты. Доказано, что модели, основанные на искусственном интеллекте, повышают надежность и эффективность системы. Кроме того, результаты исследования показывают необходимость перехода диспетчерского управления к автоматизированным и интеллектуальным системам.

**Abstract.** The application of artificial intelligence (AI) technologies and neural networks in water supply dispatching is considered, for real-time water pressure monitoring and effective system management. The methods of using AI to optimize water pressure in a water supply dispatching system, their advantages and practical results are described. It is proven that models based on artificial intelligence increase the reliability and efficiency of the system. In addition, the results of the study show the need to transition dispatching control to automated and intelligent systems.

**Ключевые слова.** Водоснабжение, нейронная сеть, база данных, оптимизация.

**Keywords.** Water supply, neural network, database, optimization.

<sup>1</sup>Жмудь Вадим Аркадьевич, д-р техн. наук, доцент, oao\_nips@bk.ru, Россия, заместитель директора АО «НИПС», главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала ФГБУН Геофизической службы РАН

<sup>2</sup>Асет Асхат, магистр, asset.askhat.81@gmail.com, Казахстан, старший преподаватель кафедры «Искусственный интеллект и Big Data», Казахский Национальный Университет имени аль – Фараби

<sup>3</sup>Ахметова Ардак Мергенбаевна, PhD, ardak\_66@mail.ru Казахстан, старший преподаватель кафедры «Искусственный интеллект и Big Data», Казахский Национальный Университет имени аль – Фараби

<sup>4</sup>Абдилдаева Асель Асылбековна, PhD, asselabdildayeva5@gmail.com, Казахстан, и.о. профессора кафедры «Искусственный интеллект и Big Data», Казахский Национальный Университет имени аль – Фараби

Zhmud Vadim Arkadievich, Doctor of Technical Sciences, Docent, oao\_nips@bk.ru, Russia, Deputy Director of JSC NIPS, Chief Researcher at ILF SB RAS, Senior Researcher at the Altai-Sayan Branch of the Russian Academy of Sciences' FGBUN Geophysical Service

Asset Askhat, Master's degree, asset.askhat.81@gmail.com, Kazakhstan, Senior Lecturer at the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University

Akhmetova Ardak Mergenbaevna, PhD, ardak\_66@mail.ru, Kazakhstan, Senior Lecturer at the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University

Abdildayeva Assel Assylbekovna, PhD, asselabdildayeva5@gmail.com, Kazakhstan, Acting Professor of the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ТРАНСФОРМЕРА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Щетинин Е.Ю.<sup>1</sup>, Пестрякова А.В.<sup>2</sup>

## DEVELOPMENT OF A MODEL OF SPATIO-TEMPORAL TRANSFORMER AND ITS USE FOR AUTOMATED DIAGNOSIS OF HEART RHYTHM PATHOLOGIES

Shchetinin E.Yu.<sup>1</sup>, Pestryakova A.V.<sup>2</sup>

**Аннотация.** Предложена модель пространственно-временного трансформера (Spatio-Temporal Transformer, STT), на основе которого усовершенствована методика автоматической диагностики аритмий сердца на основе анализа электрокардиограмм. Новизна STT заключается в интеграции пространственного и временного механизмов внимания для обработки многоканальных ЭКГ-сигналов, что позволяет выявлять межканальные и долгосрочные зависимости. Исследование включает анализ морфологии волн ЭКГ (P, QRS, T), фильтрацию шума с помощью дискретного вейвлет-преобразования DWT и оценивание STT на наборах данных MIT-BIH Arrhythmia Database, PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge и PTB Diagnostic ECG Database с оптимизацией гиперпараметров методами байесовской оптимизации и Grid Search. Проведенный сравнительный анализ с моделями машинного обучения SVM, Random Forest, LightGBM и обучения CNN, LSTM, BLSTM показал конкурентоспособность предложенной модели STT. Модель достигла значений показателей макроусреднённой точности 93,5%, полноты 96,0%, F1-меры 94,7% и ROC-AUC 97,5% на наборе MIT-BIH, что сравнимо с результатами известных исследований.

**Abstract.** A model of spatio-temporal Transformer (STT) is proposed, on the basis of which an approach to automatic diagnosis of heart arrhythmias based on an analysis of electrocardiograms has been improved. The novelty of the STT consists in the integration of the spatial and temporary mechanisms of attention for the processing of multi-channel ECG signals, which allows you to effectively identify inter-active and long-term dependencies. The study includes a deep analysis of the Morphology of ECG waves (p, qrs, t), noise filtering using DWT discrete wavelet-transforming and STT assessment at MIT-BIH Arrhythmia Database, Physionet/Computing in Cardiology Challenge and PTB Diagnostic ECG Database with hyperparameter optimization methods of Bayes optimization and Grid Search. A comparative analysis with SVM, Random Forest, LightGBM and deep learning CNN, LSTM, BLSTM showed the competitiveness of the proposed STT model. The STT model reached the values of macro-medium accuracy of 93.5%, completeness 96.0%, F1-meters 94.7% and ROC-AUC 97.5% on the MIT-BIH set, which is comparable to the results of similar studies.

**Ключевые слова.** Аритмия, сердечный ритм, глубокое обучение, пространственно-временной трансформер.

**Keywords.** Arrhythmia, heart rhythm, deep training, spatio-temporal transformer.

<sup>1</sup>Щетинин Евгений Юрьевич, д-р физ.-мат. наук, доц., профессор, rivierra-molto@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

<sup>2</sup>Пестрякова Анна Вячеславовна, ассистент, pestryakova@sevsu.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Shchetinin Evgeniy Yurievich, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Docent, Professor, rivierra-molto@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

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

# МОДЕЛЬ ПРЕДИКТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Осипов К.Н.<sup>1</sup>

## THE MODEL OF PREDICTIVE FORECASTING OF WELDING JOINT PARAMETERS

Osipov K.N.<sup>1</sup>

**Аннотация.** *Оценивание параметров качества сварного неразъемного соединения, получаемого методом оплавления сопрягаемых деталей, является актуальной технической задачей, особенно с точки зрения автоматизации процессов контроля качества. В статье предлагается метод построения модели предиктивного прогнозирования параметров сварного соединения, а именно глубины и ширины сварочного шва в зависимости от скорости движения электрода, силы тока фокусировки электронного луча, величины силы сварочного тока и расстояния от электронно-оптической системы до свариваемых деталей. Рабочая гипотеза состоит в том, что аппроксимация исследуемой зависимости с заданным уровнем точности может быть получена использованием алгоритма «дерево решений» (decision tree). Задача определения гиперпараметров модели решена в комбинаторной форме путем постепенного наращивания структурной и, как следствие, вычислительно сложности модели. В качестве целевой функции стоимости использован среднеквадратический критерий и информационный AIC-критерий.*

**Abstract.** *Evaluation of the quality parameters of a permanent welded joint obtained by melting the mating parts is an urgent technical task, especially from the point of view of automation of quality control processes. The article proposes a method for predictive forecasting of the parameters of a welded joint, namely the depth and width of the weld depending on the speed of the electrode, the focusing current of the electron beam, the magnitude of the welding current and the distance from the electron-optical system to the welded parts. The working hypothesis is that an approximation of the studied dependence with a given level of accuracy can be obtained using a multilayer artificial neural network trained by the backpropagation method. The problem of determining the hyperparameters of the network is solved in a combinatorial form, by gradually increasing the structural and, as a consequence, computational complexity of the model. The information AIC criterion is used as the target cost function.*

**Ключевые слова.** *Моделирование, теория информации, многократные измерения.*

**Keywords.** *Modeling, information theory, multiple measurements.*

<sup>1</sup>Осипов Константин Николаевич, д-р техн. наук, доц., профессор, [assistanttmm@mail.ru](mailto:assistanttmm@mail.ru), Россия, Севастополь, Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова

Osipov Konstantin Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor, [assistanttmm@mail.ru](mailto:assistanttmm@mail.ru), Russia, Sevastopol, Black Sea Higher Naval School named after P.S. Nakhimov

# ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН И ИХ ФУНКЦИОНАЛЫ

Бохонский А.И.<sup>1</sup>, Варминская Н.И.<sup>2</sup>, Рыжков А.И.<sup>3</sup>

## DISTRIBUTION FUNCTIONS OF RANDOM VARIABLES AND THEIR FUNCTIONALS

Bokhonsky A.I.<sup>1</sup>, Varminskaya N.I.<sup>2</sup>, Ryzhkov A.I.<sup>3</sup>

**Аннотация.** С использованием законов распределения случайных величин показан алгоритм полной обратной задачи вариационного исчисления – от задаваемой аналитической функции до восстановления функционала. Приведены примеры применения теоремы о численном равенстве интегралов при подынтегральных функциях. Приведенные графики функций отражают особенности аналитических преобразований при реализации алгоритма реверсионного исчисления.

**Abstract.** Using the distribution laws of random variables, an algorithm for the complete inverse problem of the calculus of variations is demonstrated – proceeding from a given analytical function to the reconstruction of the functional. Examples are provided applying the theorem on the numerical equality of integrals with specific integrands. The presented function graphs reflect the features of analytical transformations during the implementation of the reversal calculus algorithm.

**Ключевые слова.** Теория вероятностей, функции распределения, уравнения Эйлера, функционалы, теорема реверсионного исчисления.

**Keywords.** Probability theory, distribution functions, Euler equations, functionals, reversal calculus theorem.

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

<sup>2</sup>Варминская Наталья Ивановна, канд. техн. наук, зав. кафедрой, nvarminska@gmail.com, Россия, Севастополь, Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова

<sup>3</sup>Рыжков Александр Игоревич, канд. техн. наук, доцент, ryzhkov2206@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

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

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

Ryzhkov Aleksandr Igorevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ryzhkov2206@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

# ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ПО ЭНЕРГОЕМКОСТИ РЕЛЕЙНОЕ УСКОРЕНИЕ РЕВЕРСИОННО КОНСТРУИРУЕМОМУ

Бохонский А.И.<sup>1</sup>, Варминская Н.И.<sup>2</sup>, Майстришин М.М.<sup>3</sup>

## EQUIVALENT IN ENERGY CAPACITY RELAY ACCELERATION REVERSIBLY DESIGNED

Bokhonsky A.I.<sup>1</sup>, Varminskya N.I.<sup>2</sup>, Maystrishin M.M.<sup>3</sup>

**Аннотация.** Найдено эквивалентное по энергоемкости релейное ускорение оптимальному реверсионно конструируемому переносному ускорению. В обоих случаях движение осуществляется из состояния покоя в новое состояние покоя при заданном времени движения и максимальном перемещении с минимальной затратой энергии. Как эквивалент, использовано реверсионно конструируемое ускорение (управление) со степенью полинома  $n = 3$ . Анализируется динамическое поведение объекта. Результаты иллюстрируются графиками.

**Abstract.** A relay acceleration equivalent in energy consumption to the optimal reversibly constructed translational acceleration is found. In both cases, motion occurs from a state of rest to a new state of rest with a given motion time and maximum displacement, with minimal energy expenditure. A reversibly constructed acceleration (control) with a polynomial degree  $n=3$  is used as an equivalent. The dynamic behavior of the object is analyzed. The results are illustrated with graphs.

**Ключевые слова.** Ускорение (оптимальное управление), реверсинное конструирование, релейное, эквивалентное.

**Keywords.** Acceleration (optimal control), reversible design, relay, equivalent.

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

<sup>2</sup>Варминская Наталья Ивановна, канд. техн. наук, доц., профессор, nvarminska@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

<sup>3</sup>Майстришин Михаил Михайлович, канд. техн. наук, доц., директор колледжа, mihail.maystrishin@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

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

Varminskaya Natalia Ivanovna, Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor, nvarminska@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Maystrishin Mikhail Mikhaylovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, College Director, mihail.maystrishin@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

# К АНАЛИЗУ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ЦИФРОВОГО СКАНЕРА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ DLP ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Зуев С.М.<sup>1</sup>, Дебелов В.В.<sup>2</sup>, Куракина Е.А.<sup>3</sup>

## TO THE ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF A LASER DIGITAL SCANNER BASED ON DLP TECHNOLOGY FOR PRECISION QUALITY CONTROL OF PRODUCTS

Zuev S.M.<sup>1</sup>, Debelov V.V.<sup>2</sup>, Kurakina E.A.<sup>3</sup>

**Аннотация.** Современные лазерные цифровые сканеры широко применяются в задачах оптического неразрушающего контроля, однако большинство коммерчески доступных систем, включая устройства на основе технологии цифровой обработки света (Digital Light Processing, DLP), характеризуются с ограничениями точности, стабильности и воспроизводимости результатов при работе в реальных производственных условиях. Актуальна задача калибровки таких систем, влияющая на корректность реконструкции геометрии объектов с высокой степенью детализации. Рассматривается проблема повышения точности и эффективности DLP-сканеров за счёт оптимизации алгоритмов калибровки и настройки параметров оптической системы. Предложена методика, позволяющая минимизировать погрешности, связанные с рассогласованием оптических элементов, и повысить достоверность получаемых измерений. Описана структурная схема разработанного настольного DLP-сканера, приведён анализ влияния параметров сканирования (мощности лазера, пространственного разрешения, углов триангуляции) на точность восстановления формы объектов. Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие высокую точность, стабильность и воспроизводимость получаемых 3D-моделей. Разработанный подход может быть эффективно использован в задачах метрологического контроля, инженерного анализа и автоматизированных системах технической диагностики, где требуется точное восстановление геометрии изделий и выявление отклонений от заданных допусков.

**Abstract.** Modern laser digital scanners are widely used in optical non-destructive testing, but most commercially available systems, including devices based on Digital Light Processing (DLP) technology, are characterized by limitations in accuracy, stability, and reproducibility of results when operating in real production conditions. The task of calibrating such systems, which affects the correctness of the reconstruction of the geometry of objects with a high degree of detail, is relevant. The problem of increasing the accuracy and efficiency of DLP scanners by optimizing calibration algorithms and adjusting the parameters of the optical system is considered. A methodology is proposed to minimize errors associated with the mismatch of optical elements and to increase the reliability of the measurements obtained. The structural diagram of the developed desktop DLP scanner is described, and the analysis of the influence of scanning parameters (laser power, spatial resolution, triangulation angles) on the accuracy of the object shape reconstruction is given. The results of experimental studies are presented, confirming the high accuracy, stability, and reproducibility of the obtained 3D models. The developed approach can be effectively used in metrological control, engineering analysis, and automated technical diagnostics systems, where accurate reconstruction of product geometry and detection of deviations from specified tolerances are required.

**Ключевые слова.** 3D-сканирование, лазерный цифровой сканер, оптический неразрушающий контроль, цифровая обработка света, триангуляция, оптико-электронные приборы и системы.

**Keywords.** 3D scanning, laser digital scanner, optical non-destructive testing, digital light processing, triangulation, optoelectronic devices and systems.

<sup>1</sup>Зуев Сергей Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доц., начальник управления подготовки кадров высшей квалификации и ДПО, доцент, sergei\_zuev@mail.ru, Россия, Москва, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

<sup>2</sup>Дебелов Владимир Валентинович, канд. техн. наук, доцент, debelovvladimir@yahoo.com, Россия, Москва, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

<sup>3</sup>Куракина Елена Александровна, студент, debelovvladimir@yahoo.com, Россия, Москва, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

Zuev Sergey Mikhailovich, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Docent, Head of the Department for Training Highly Qualified Personnel and Continuing Professional Education, Associate Professor, sergei\_zuev@mail.ru, Russia, Moscow, Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute, MIREA – Russian Technological University

Debelov Vladimir Valentinovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, debelovvladimir@yahoo.com, Russia, Moscow, MIREA – Russian Technological University

Kurakina Elena Aleksandrovna, Student, debelovvladimir@yahoo.com, Russia, Moscow, MIREA – Russian Technological University