MINISTRY OF EDUCATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Belarusian National Technical University

FACULTY OF INSTRUMENTATION

NEW TRENDS IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

Proceedings
of the 18th International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students

April 23–25, 2025

Minsk, Republic of Belarus

The Conference is dedicated to the 105th anniversary of Belarusian National Technical University (BPI – BSPA – BNTU)

Minsk
BNTU
2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Материалы
18-й Международной научно-технической конференции
молодых ученых и студентов

23−25 апреля 2025 года

Минск, Республика Беларусь

Конференция посвящается 105-летию
Белорусского национального
технического университета
(БПИ – БГПА – БНТУ)

Минск
БНТУ
2025

УДК 681.2.002 (063)
ББК 34.9я431
Н74

Редакционная коллегия:

А. М. Маляревич (председатель), *О. К. Гусев* (зам. председателя),
А. И. Свистун (зам. председателя), *Р. И. Воробей*,
С. А. Чижик, *А. Л. Савченко*, *М. А. Князев*, *П. С. Серенков*, *О. Г. Реутская*,
А. В. Солонец, Н. Н. Ризноокая

Рецензенты:

доктор технических наук *А. П. Крень,*
доктор технических наук *Н. И. Мухуров*

Издание включает материалы 18-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» по направлениям: информационно-измерительная техника и технологии; конструирование и производство приборов; микро- и нанотехника; оптоэлектроника, лазерная техника и технология; стандартизация, метрология и информационные системы; прикладные задачи приборостроения; техносфера и менеджмент спорта.

ISBN 978-985-31-0162-1

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

СЕКЦИЯ 1. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 532; 614.8

ADVANCED SENSOR-BASED SYSTEM FOR SOIL NUTRIENT ANALYSIS AND AI-DRIVEN CROP RECOMMENDATION

Prof Dipak P. P.[1], Dr Tushar H. J.[2], Patel R. C.[2]
[1]SIEM Nasik, India
[2]Institute of Technology Shirpur, India

The Soil Nutrient Analysis and Crop Recommendation System is a sophisticated electronic system that aims to measure the amounts of major nutrients (Nitrogen, Phosphorus, and Potassium) in soil by employing an NPK sensor. The system utilizes cloud storage and machine learning methods to deliver precise soil nutrient analysis and recommend suitable crop recommendations. The meth-odology involves the analysis of soil samples in real time with the help of an NPK sensor, followed by transmission of the data to a cloud-based server. A machine learning model trained on a rich dataset of crop performance and soil characteristics examines the nutrient content and suggests the best crops to grow. The system architecture is composed of an Arduino UNO microcon-troller, ESP8266 Wi-Fi module, and OLED display to make the monitoring process user-friendly and efficient. Experimental results show that the system can deliver accurate readings for soil nutrients and make valid crop recommendations. It is more advantageous compared to conventional soil testing due to its real-time analysis, cost savings, and simplicity of handling for farmers. The system has the potential to contribute significantly towards precision agriculture, optimal resource utilization, and sustainable agriculture practices. Enhancements for the future involve extending the model to include weather information and other soil parameters for better accuracy in predictions.

Introduction:

Agriculture has been pillar of human civilisation for centuries, providing both economic security and sustenance. Today, intensive agricultural practices encounter many challenges like soil erosion, reduction in fertility, wastage of resources, and the augmented pressure of demand for food resulting from population increments. Soil well-being is key to deciding the productivi-ty of the crops, and correct measurement of the nutrients present in the soil is crucial to maintaining sustainable farming.

Traditional methods of soil testing are time-consuming, slow-paced, and usually inaccessible to small farmers. Traditional methods also have results inconsistencies, leading to suboptimal agricultural choices. Recent technological advancements, especially in Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Cloud Computing, have opened the way for automated, real-time soil analysis systems with precision and efficiency.

This paper introduces an AI-based Soil Nutrient Analysis and Crop Recommendation System using NPK sensors, cloud computing, and machine learning algorithms to offer precise soil health analysis. By combining these cutting-edge technologies, the system facilitates data-driven farmers' decision-making, improves nutrient management, and increases agricultural productivity. Proposed approach improves agricultural productivity and promotes sustainable agriculture by minimizing excessive fertilizer application and minimizing impact on environment. Trad-it-ional methods of soil analysis are labor-intensive and not readily available to small farmers. Recent innovations in IoT and AI technologies have made it possible to deploy automated Systems for soil analy-sis that provide real-time information and valuable insights.

Methodology:

Soil Nutrients and Crop Suggestion System is developed upon a well-integrated combination of software and hardware components to ensure efficient and real-time soil monitoring as indicated in fig. 1. The system is designed with the methodology that catches the level of soil nutrients accurately, processes data effectively, and offers actionable advice to farmers. System utilizes sensor technology, microcontrollers, wireless communication, and machine learning algorithms to ensure high-precision output. The implementation is split into hardware and software modules, each having a vital contribution to data gathering, processing, and decision-making.

The hardware realization of this crop advising and soil examination system is built on a secure infrastructure for collecting real-time soil data. Its core is the use of an NPK Sensor (LNPK-101), which measures precisely the Nitrogen, Phosphorus, and Potassium concentrations in the soil, giving us vital nutrient information. A sensor data-collecting and processing Arduino UNO acts as its basic processing platform. The ESP8266 Wi-Fi Module facilitates seamless wireless communication, enabling real-time data transfer to a cloud-based storage system, ensuring data accessibility and security. For immediate on-site feedback, an OLED display provides visualization of the soil parameters, allowing farmers to monitor nu-trient levels instantly. Complementing the hardware, the software and data processing module is designed to analyze collected data and generate meaningful insights. A machine learning model, which has been trained on a complete dataset of soil compositions and their respective crop yields, is a predictive algorithm that suggests appropriate crops based on real-time soil data. Cloud storage provides data security, accessibility, and ease of retrieval, enabling farmers to monitor soil health trends over time. The data of the farmers can be inputted into the soil data and receive crop recommendations based on current analyt-ics through an interactive interface provided by a web application based on Flask. Integrating these software and hardware components, the system provides an overall, automated, and highly accurate soil analysis and crop recommendation platform, enabling the farmers to optimize agricultural yield and make informed decisions.

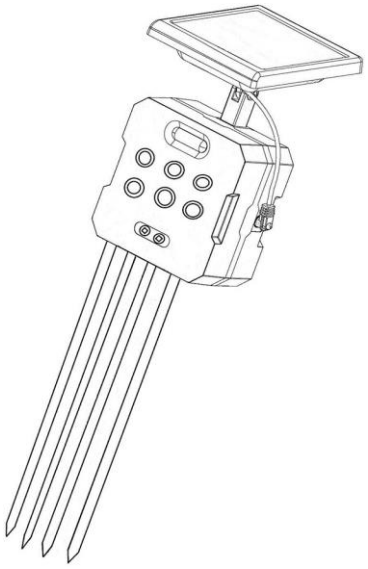


Fig. 1. Soil Nutrient Analysis Sensor

Experimental results indicate that the system offers extremely accurate soil nutrient analysis and crop suggestions. The precision rate of the machine learning model is 95 % in suggesting best crops, much higher than using conventional techniques. In comparison with soil testing by hand, the suggested system is more rapid, less expensive, and scalable.

The combination of IoT, cloud computing, and AI in soil nutrient analysis presents an effec-tive solution for precision agriculture. The system suggested is an improvement of crop selec-tion ef-ficiency, reduction of fertilizer misuse, and sustainable agriculture promotion. The improv-ements planned for the future are adding more data to the dataset for considering soil pH and moisture levels, adding weather prediction models for changing crop suggestions in real-time, and creating a mobile application for increased user usability.

References

1. Zhang Q. Precision agriculture technology for crop farming. – Taylor & Francis, 2016. – P. 374.

2. Goap A. et al. An IoT based smart irrigation management system using. Machine learning and open source technologies // Computers and electronics in agriculture. – 2018. – T. 155. – P. 41–49.

3. Grell M. et al. Determining and Predicting Soil Chemistry with a Point-of-Use Sensor Toolkit and Machine Learning Model //bioRxiv. – 2020. – C. 2020.10. 08.331371.

УДК 681

ADAPTIVE REINFORCEMENT LEARNING STRATEGIES FOR EFFICIENT PARKING SPACE MANAGEMENT IN FULLY AUTOMATED MULTI-LEVEL PARKING SYSTEMS

Student, Master of Technology in Industrial Automation Degree Dzapasi T. D.[1]
Lecturer Duri R.[1], PhD Tyavlovsky A. K.[2]
[1]Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The rapid urbanization and increasing vehicle ownership have intensified the need for efficient parking solutions, particularly in densely populated urban centers. Fully automated multi-level parking systems offer a promising avenue to address these challenges, yet the dynamic allocation of parking spaces remains a critical bottleneck in optimizing system efficiency and user experience. This paper introduces an innovative adaptive Reinforcement Learning (RL) framework specifically designed for fully automated multi-level parking systems, leveraging a Deep Q-Learning algorithm to address the complexities of real-time space allocation. The approach focuses on the development of a state space that integrates high-resolution real-time data, including vehicle dimensions, parking duration, temporal demand patterns, and system occupancy levels. This granular representation enables the RL model to capture the nuanced dynamics of parking behavior, ensuring precise and context-aware decision-making. The action space is engineered to facilitate adaptive strategies such as priority-based slot assignment, dynamic rerouting of vehicles, and load balancing across parking levels, ensuring optimal resource utilization under varying demand conditions.

A novel reward function is proposed to balance competing objectives: maximizing space utilization, minimizing vehicle search times, and reducing energy consumption associated with automated system operations. By prioritizing user-centric metrics, such as average wait time and system throughput, our model ensures a seamless and efficient parking experience. Through extensive simulations in lucrative and realistic multi-level 3D parking environment, we demonstrate that our RL-based framework achieves a 10 % reduction in vehicle search times and a 15 % improvement in system throughput compared to conventional heuristic methods. These results highlight the transformative potential of adaptive RL in redefining parking management for fully automated systems. This research not only advances the theoretical foundations of RL applications in smart transportation but also provides practical insights for the deployment of next-generation automated parking infrastructures. The implications of our findings are profound; by integrating intelligent algorithms into urban infrastructure, we can redefine parking management in response to the dynamic needs of modern mobility. As cities evolve, the question remains: how will we leverage such technologies to create smarter, more efficient urban environments? The journey to answering this question is just beginning.

УДК 681

A NOVEL FILTER BANK DESIGN FOR ENHANCED RADIO FREQUENCY (RF) HARVESTING AND ENERGY SYNTHESIS

Master of Technology in Telecommunication and Wireless Systems S. Garikayi
Eng. Magidi S., Eng. Musiiwa B.
Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

The quest for green and sustainable energy has risen over the years. Traditional energy sources like fossil fuels and nuclear power pose a threat to the environment and to life on Earth. Renewable energy has become a popular alternative source [1]. Much improvement has been done in solar energy. Other sources, such as piezoelectric, radio frequency harvesting and gyroscopic harvesting, are still under research. There's slow progress in developing a meaningful RF energy source. Radio frequency energy harvesting is going to revolutionise the future as Internet of Things technology is growing rapidly. It is the source intended to power low-consumption Internet of Things (IoT) devices such as sensors, wearables, smartphones and even unmanned aerial vehicles. The available RF harvesters lack efficiency in energy synthesis, resulting in very low voltage output and minimum use. The latest development by Powercast has 75 % efficiency but can charge up to 24 m [2]. Perseverance seeks to mitigate these

critical challenges and greatly improve RF harvesting. We present a novel filter bank architecture and implementation on RF energy harvesting techniques. In our design we leveraged the advantages of microstrip, passive and active filters to achieve a wider bandwidth. Filters play a very important role in signal processing and have been widely adopted in the applications of digital signal processing (DSP). Modern filters use advanced technology, typically well suited for the evolving software. They have unique characteristics due to their reconfigurability and programmability, and it is performed by a single chip. However, in RF harvesting, even analogue filters are still important because, in other filter applications, unwanted noise increases the voltage. Therefore, significant analogue and RF components are still needed to fulfil the bandwidth requirements. The filter bank presented in this paper is composed of four bandpass filters in the range of low frequency (LF), high frequency (HF), very high frequency (VHF) and ultra-high frequency (UHF). We performed rigorous experiments and simulations using MATLAB and AWR tools. The final results revealed significant improvements in RF harvesting and energy synthesis; the prototype was designed. This innovation will see the extinction of phones having chargers or charging ports. They will be capable of self-powering and charging.

References

1. Sarviha A., Barati E., Zarkak M. R. Electromagnetic energy harvesting via flow-induced vibration of flexible diaphragm in the presence of square cylinders at varied incidence angles: an experimental investigation // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2023. – Vol. 202. – P. 110696.

2. RF Energy Harvesting / Szut, J.; Piatek, [et al] // Energies. – 2024. – 17, 1204. – P. 2

УДК 681

DESIGN AND DEVELOPMENT OF LOW COST IOT BASED SENSOR NETWORK FOR ENVIRONMENTAL MONITORING. A TECHNICAL ANALYSIS

Student, Master of Technology Degree in Industrial Automation Gweshei C. K.
Lecturer, Eng. K. B. Chimonyo
Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

The Internet of Things (IoT) has transformed the way we interact with our physical environments through the development of wide range of sensor networks. These networks enable users to monitor and control various parameters in real time, providing critical data for decision-making in multiple domains. The applications of IoT sensor networks extend to various fields, which include industrial automation, smart cities, and healthcare, showcasing their versatility and importance. IoT sensor networks are made up of interconnected devices that collect, transmit, and analyze data from their environment. Such networks typically include a variety of sensors, such as temperature, humidity, air quality, and noise level sensors. The integration of these sensors enables comprehensive monitoring of environmental conditions, thus enable timely responses to changes or anomalies.

In industrial automation, IoT sensors monitor equipment performance, environmental conditions, as well as energy consumption, leading to improved efficiency and reduced downtime. Urban environments, or smart cities, utilize IoT sensor networks for traffic management, waste management, and public safety, as result contribute to enhanced quality of life for residents. In healthcare, IoT devices track patient vitals and environmental conditions in hospitals, enabling better patient monitoring and timely interventions. This paper proposes a low-cost IoT-based sensor network specifically designed for environmental monitoring. The system integrates many different sensors to capture real-time data on various environmental parameters. The main features of the proposed system include the integration of temperature, humidity, air quality, and noise level sensors to gather comprehensive environmental data, as well as the transmission of sensor data to a cloud-based server using Wi-Fi communication protocols, ensuring accessibility and ease of use. Users could access and analyze the collected data through a dedicated mobile application, providing insights into environmental conditions and trends.

The evaluation of the proposed system involves a comprehensive technical analysis that includes performance metrics, data analysis, and energy efficiency. The system's performance is assessed based on response times, data accuracy, and reliability of sensor readings. The gathered data is subjected to various analytical techniques to deduce actionable insights, facilitating better decision-making. Further-

more, the energy consumption of the sensor network is analyzed to ensure sustainability and cost-effectiveness, which is particularly important for long-term deployments. As IoT sensor networks continue to evolve, several research directions warrant further exploration. Enhancing security is crucial, as the increasing number of connected devices raises concerns about data security and privacy. Additionally, research into scalable architectures can facilitate the deployment of larger sensor networks without compromising performance. The application of artificial intelligence and machine learning algorithms can further improve data analysis capabilities, resulting in predictive insights and automated responses.

The development of IoT sensor networks for environmental monitoring presents a promising avenue for enhancing our understanding of physical environments. This abstract highlights the significance of these networks across various applications and proposes a low-cost system that leverages real-time data for effective monitoring. Future research directions could focus on the need for enhanced security, scalability, and the integration of advanced analytical techniques to further improve the functionality and effectiveness of IoT sensor networks. As we continue to harness the potential of IoT technology, we can expect significant advancements in environmental monitoring that will benefit both individuals and communities across the globe.

УДК 681

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION

Master's Student Makumbe T. R.
Supervisor, Eng Makusha D. T.
Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

The integration of Artificial Intelligence (AI) into energy systems marks a transformative leap toward optimizing energy efficiency across various sectors, including manufacturing, transportation, and smart grids. AI technologies enable advanced data analytics and predictive modeling, allowing organizations to monitor energy consumption patterns and identify inefficiencies in real time. Machine learning algorithms can analyze vast datasets from smart meters and sensors, facilitating the development of adaptive energy management systems that adjust usage based on demand forecasts and operational needs. Additionally, AI plays a crucial role in enhancing the design and performance of renewable energy sources, such as the aerodynamic optimization of wind turbine blades, significantly improving overall efficiency (Firoozi et al., 2024). AI-powered systems also enhance photovoltaic energy generation by optimizing solar panel placement and maintenance schedules, ensuring maximum energy capture and prolonged operational efficiency.

Beyond energy management, AI-driven automation in industrial processes reduces waste, lowers operational costs, and enhances sustainability efforts. AI-integrated smart grids can dynamically balance energy supply and demand, reducing peak loads and preventing power outages. By employing deep learning techniques, these grids can predict energy demand fluctuations, improving overall grid resilience and efficiency. Moreover, AI applications in the transportation sector contribute significantly to energy savings. AI-powered traffic management systems and autonomous electric vehicles optimize routes, reducing fuel consumption and minimizing environmental impact. Additionally, AI-assisted logistics and supply chain management enable companies to adopt more energy-efficient operational strategies, ultimately reducing their carbon footprints.

Despite these advancements, several challenges must be addressed to maximize AI's potential in energy optimization. One of the primary concerns is data privacy, as AI-driven energy systems rely on extensive consumer data to enhance efficiency. Ensuring secure data collection, processing, and storage is crucial to maintaining user trust and regulatory compliance. Furthermore, the high costs associated with implementing AI technologies can pose a significant barrier, particularly for small and medium-sized enterprises. The integration of AI into legacy energy infrastructures also requires substantial investments in hardware, software, and skilled personnel, which may hinder widespread adoption. Additionally, AI algorithms must be continuously refined to ensure their accuracy and adaptability to evolving energy demands and climate conditions.

Despite these barriers, artificial intelligence continues to revolutionize energy efficiency strategies, promoting sustainable development and reducing greenhouse gas emissions. The ongoing advancements in AI-driven energy solutions present a significant opportunity for policymakers, industry leaders, and researchers to collaborate on developing regulatory frameworks and financial incentives that encourage AI adoption. Governments and organizations worldwide must work toward standardizing AI applications in energy systems to ensure interoperability and scalability. Furthermore, investing in AI research and development will enhance its ability to optimize energy distribution, storage, and consumption across diverse sectors.

Future research should focus on improving AI models for better adaptability, scalability, and seamless integration into existing energy systems to accelerate the transition toward smarter and more sustainable energy solutions (Chen et al., 2019). By leveraging AI's capabilities, the global energy sector can achieve higher efficiency, lower operational costs, and a reduced environmental footprint, ultimately contributing to a more sustainable future.

УДК 681

HYBRID PREDICTIVE MAINTENANCE FOR ELECTRIC MOTOR BEARINGS: INTEGRATING MACHINE LEARNING AND PHYSICS-BASED MODELS

Student, Master of Technology Degree in Industrial Automation Malindi S. N.[1]
Lecturer, Eng. Kuno V.[1], PhD Pantsialeyeu K.U.[2]
[1]Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Predictive maintenance (PdM) is quickly transforming industrial operations with a rapid shift from time-based reactive strategies to data-driven proactive mechanisms. Electric motor bearings are crucial components in numerous industrial processes making them susceptible to premature failure, significant economic losses due to unplanned downtime, and maintenance cost. Predicting the Remaining Useful Life (RUL) of bearings in electric motors is crucial for effective maintenance strategies, as it helps maximize equipment uptime and minimize maintenance costs. Traditional PdM approaches often rely on machine learning (ML) models trained on historical data, these methods lack the physical interpretability and robustness required for predicting remaining useful life (RUL) with variable operating conditions. This limitation arises from the inability of purely data-driven models to effectively capture physical mechanisms governing bearing degradation. This paper presents a comprehensive investigation into hybrid predictive maintenance frameworks for electric motor bearings that integrate ML and physics-based models, intending to overcome these limitations and enhance the reliability of RUL predictions. The research will be in a two-pronged approach. First, using existing physics models that use the first principles knowledge (for example Hertzian contact theory, Paris' law for fatigue crack growth, and Archard's wear law or any principle of bearing degradation). Second, machine-learning models for example (LSTM – Long Short – Term Memory, CNN – convolutional neural networks, and SVM – Support Vector Machine), are not easily captured by purely physics-based approaches. Data-driven models capture long-term degradation trends (e.g., progressive bearing wear) to predict remaining useful life (RUL) in time series. Simulated and real-world datasets (Online sources like NASA, Case Western Reserve University (CWRU)) obtained from operating electric motors under variable conditions are used. The developed hybrid models evaluated purely physics-based and purely data-driven models, using metrics such as Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), and prediction accuracy at different RUL thresholds. The results demonstrate the potential of hybrid models to outperform purely data-driven or purely physics-based approaches in accurately predicting the RUL of electric motor bearings. Further research will focus on extending these models to other types of industrial machinery and developing more sophisticated data fusion and model calibration techniques.

УДК 681

MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR ENHANCING THE EFFICIENCY OF ORGANIC RANKINE CYCLE SYSTEMS

Master's Student Manzungu Z.[1]
Supervisor Eng. Kuno V.[1], PhD Vorobey R. I.[2]
[1]Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

This study investigates the application of Model Predictive Control (MPC) to optimize the performance of Organic Rankine Cycle (ORC) systems, with a particular focus on temperature control in the boiler. ORC systems are widely utilized for waste heat recovery and renewable energy applications due to their ability to convert low-grade heat into useful work. However, the efficiency of ORC systems is highly sensitive to varying operating conditions, such as fluctuations in heat source temperature and load demand. Traditional control strategies, such as Proportional-Integral-Derivative (PID) controllers, often fail to maintain optimal performance under these dynamic conditions, leading to suboptimal energy conversion and reduced system efficiency.

To address these challenges, an advanced MPC-based control strategy was developed and implemented using Python-based simulations. The MPC approach leverages a dynamic model of the ORC system, which was constructed using fundamental thermodynamic equations and heat transfer principles. The working fluid selected for this study was R245fa, a commonly used refrigerant in ORC systems due to its favourable thermodynamic properties. The MPC algorithm was designed using the do-mpc and CasADi libraries, which provide robust tools for optimization and control. The algorithm predicts future system behaviour over a finite time horizon and computes optimal control actions to maintain the desired boiler temperature, thereby enhancing the overall efficiency of the ORC system.

The simulation results demonstrate that the MPC-based control strategy outperforms traditional PID controllers in terms of set point tracking, disturbance rejection, and energy efficiency. The MPC controller effectively handles the nonlinearities and uncertainties inherent in ORC systems, ensuring stable operation under varying conditions. This study highlights the potential of MPC as a powerful tool for improving the performance of ORC systems in waste heat recovery and renewable energy applications. Future work could explore the implementation of the proposed MPC strategy on a physical ORC system to validate the simulation results and further optimize the control parameters.

УДК 681

AI BASED PREDICTIVE ANALYSIS WATER CONSERVATION MANAGEMENT SYSTEMS

Student Marozva M.[1]
Lecturer, Eng. Rushambwa M.[1], Palaniappan R.[2]
[1]Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]College of Engineering, University of Technology, Bahrain

Water bodies (dams, lakes, rivers) are very crucial for the ecological balance, agricultural productivity and the socio-economic development of any country. These resources support various activities such as agriculture, fishing, mining, recreation, industry and hydropower. These water bodies, water reservoirs, their sustainability is however increasingly threatened by challenges like climate changes including severe droughts, erratic rainfall patterns, and pollution from industries, exacerbated by the countries heavy reliance on water which accounts for 90 % of its supply of any country around the world. Climate change has caused negative impacts in the deterioration of theses water bodies impacting especially agriculture and food security. Various and different methods have been applied and tested to address and come up with the best water quality predictive and management systems that will be able to help and advice stakeholders in applying the necessary and efficient methods to conserve and maintain high quality water bodies. There is need for an efficient innovative water conservation management system that is efficacious which can predict and mitigate risks to water resources.

This project will be focusing on the innovative development of an efficient AI-Based Predictive Analysis Water Conservation Management System that leverages Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) to monitor, predict, and manage the health and sustainability of water bodies. The proposed water conservation management system aims and targets to predict critical and crucial parameters such as water quality, pH levels, and the lifespan of water reservoirs in the management of water bodies, by analyzing historical and real-time data from different sources, including, satellite imagery, environmental sensors and climate models. Through the integration of advanced AI algorithms, the system will be able to provide actionable insights and predictive analytics to stakeholders, enabling them to foresee and implement proactive conservation strategies, optimize water usage, and mitigate the impacts of climate change and pollution.

One of the main key innovations of this project is its focus on scalability and adaptability. The AI-based system will be designed to accommodate and facilitate diverse geographical and climatic conditions, allowing for, and making it applicable to a wide range of water bodies across different regions. The system will have the potential to learning and improve over time as it processes more data, ensuring that its predictions remain efficient and more accurate and relevant in the face of changing environmental conditions. The system will empower stakeholders to address current challenges and plan for long-term water resource sustainability, providing actionable insights and predictive analytics,

The project stresses and highlights the application of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) techniques, such as regression models, neural networks, and time-series forecasting, to build a robust predictive framework. The system will also assimilate user-friendly dashboards and decision-support tools to assist policymakers, environmental agencies, and local communities in making informed decisions. This project envisions a future whereby the application of AI significantly improves water resource management, ensuring both the availability and quality of these water bodies for future generations. The results and outcomes of this work will not only address current challenges but will also pave and open the way for scalable and adaptive solutions in water conservation management.

УДК 681

FIRE TUBE BOILER AUTOMATION USING PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS (PLC) AND MACHINE LEARNING

Student, Master of Technology Degree in Industrial Automation Mbanga S.[1]
DSc, Prof Gusev O. K.[2]
[1]Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Predicting the Remaining Useful Life (RUL) of bearings in electric motors is crucial for effective maintenance strategies, as it helps minimize downtime and reduce operational costs. This research investigates a physics-guided machine-learning framework for RUL prediction, specifically focusing on bearings in high-voltage electric motors under variable loads. We examine the integration of physics-based models with machine-learning models (LSTM – Long Short-Term Memory, CNN – convolutional neural networks, SVM – Support Vector Machine). We used existing physics models that use the first principles knowledge (for example Hertzian contact theory, Paris' law for fatigue crack growth). Data-driven models capture long-term degradation trends (e.g., progressive bearing wear) to predict remaining useful life (RUL) in time series. cbThe insights gained from this research highlight the importance of combining physics and machine learning (Hybrid) in predictive maintenance, paving the way for future research in this vital area.

The operation and efficiency of fire tube boilers are crucial to numerous industrial processes, such as power generation, heating, and manufacturing. Fire tube boilers operate by transferring heat from hot gases to water through tubes submerged in the water, generating steam. While these systems are widely used due to their reliability and efficiency, their operation often relies on manual controls and basic automation systems, which can result in inefficiencies, increased fuel consumption, frequent breakdowns, and safety risks. To address these challenges, the proposed project aims to automate the fire tube boiler system using Programmable Logic Controllers (PLCs) and integrate Machine Learning (ML) technologies to optimize performance, enhance safety, and reduce maintenance costs.

The primary goal of the project is to design and implement an automated control system for fire tube boilers, utilizing PLCs for real-time control and monitoring of key parameters such as temperature, pressure, water level, and fuel consumption. PLCs are widely used in industrial automation due to their reliability, precision, and ability to interface with various sensors and control mechanisms. By incorporating PLCs, the proposed system will ensure consistent and safe boiler operation with minimal human intervention, reducing the potential for human error and increasing operational efficiency.

In addition to the PLC-based control system, the project will integrate Machine Learning algorithms to improve the system's ability to predict failures, optimize performance, and enhance preventive maintenance. ML techniques, such as supervised learning, will analyze historical and real-time data collected by the PLC from various sensors in the boiler system. These algorithms will be trained to detect patterns in the data that could indicate potential failures or inefficiencies, such as abnormal temperature fluctuations, water level changes, or fuel consumption anomalies. By identifying these patterns early, the ML system will be able to predict failures before they occur, allowing for proactive maintenance and reducing unplanned downtime.

The implementation of predictive maintenance through ML will help minimize the costs associated with unanticipated equipment failure and extend the lifespan of the boiler. Furthermore, ML will be used to identify optimization opportunities within the boiler system, including adjustments to operating parameters that can improve fuel efficiency and heat transfer, thereby reducing energy consumption and operational costs. The integration of predictive maintenance and performance optimization techniques will significantly improve the overall efficiency of the fire tube boiler, ensuring it operates at optimal capacity while minimizing waste.

Safety is another critical aspect of this project. Boilers are inherently hazardous systems, and any deviation from normal operating conditions can lead to catastrophic failure, including explosions. The PLC-based automation system will continuously monitor critical parameters such as water level, pressure, and temperature, and automatically shut down the system or trigger alarms in case of unsafe conditions. This real-time monitoring will help prevent accidents by detecting any irregularities early and taking corrective actions before they escalate into serious issues.

The benefits of this automation project are multifaceted. By reducing human intervention, the risk of error is minimized, resulting in more consistent and reliable boiler operation. The integration of Machine Learning will help optimize system performance, reduce energy consumption, and predict and prevent failures, ultimately reducing maintenance and repair costs.

Furthermore, continuous monitoring of safety parameters will ensure that the boiler operates within safe limits, significantly enhancing safety. The ability to perform predictive maintenance will also reduce downtime, leading to higher system availability and more efficient use of resources.

Overall, the proposed project will significantly enhance the performance, safety, and reliability of fire tube boilers through advanced automation and data-driven decision-making. By implementing PLCs and Machine Learning, the system will not only optimize operational parameters and reduce fuel consumption but also improve the safety of boiler operations, thus contributing to sustainable industrial practices. The successful implementation of this project will provide a model for other industries that rely on boilers and similar heating systems, offering substantial long-term cost savings, improved efficiency, and enhanced safety standards.

This project is expected to be an important step towards the digitalization of industrial systems, offering a scalable and adaptable solution to enhance the operation of fire tube boilers, and potentially other types of industrial heating systems. The long-term implications include not only improving boiler performance but also contributing to the broader goal of industrial automation and sustainable energy practices.

УДК 681

DIGITAL AUTOMATIC TERMINAL INFORMATION SERVICE (D-ATIS)

Mukwewa T. M[1], Musiiwa P. B.[1], Svistun A. I.[2]
[1] Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The D-ATIS system is a crucial communication tool providing pilots with continuous and accurate aeronautical information, such as weather updates, runway details, and other essential notices. This initiative seeks to reduce the workload of air traffic controllers by automating information dissemination and ensuring timely updates of critical data. The system design encompasses several components: The Weather Data Acquisition, the Information Processing Unit, the Voice Synthesis Module, and the Broadcasting Equipment. Weather Data Acquisition utilizes Automatic Weather Stations (AWS) to gather real-time meteorological data, including wind speed, visibility, temperature, dew point, and altimeter settings. The Information Processing Unit integrates weather data, NOTAMs (Notices to Airmen), and other pertinent information into a standardized ATIS message. The Voice Synthesis Module Converts text-based information into clear, natural-sounding voice messages. The Broadcasting Equipment continuously broadcasts ATIS messages on a dedicated VHF frequency, with digital transmission options for modern aircraft equipped with electronic displays. This can be achieved by a Web based application system, for text to audio conversion interlinked with the VHF radio for audio transmission via the USB-to-RJ45 connection. The implementation plan involves a step-by-step approach which is to conduct an assessment to determine the specific requirements of the airport and its stakeholders, procuring the necessary equipment, ensuring compliance with international aviation standards, installing and integrating the system components with the existing airport communication infrastructure and performing a comprehensive testing and calibration to ensure accurate functionality. This proposal outlines a reliable and effective solution that meets the needs of modern aviation, ensuring continuous, accurate, and timely information dissemination to pilots. Furthermore, the paper proposes a cheaper and easy to maintain technology as compared to the systems already on the market.

УДК 681

A COMPARATIVE STUDY OF RANDOM FOREST AND LSTM MODELS FOR BATTERY REMAINING USEFUL LIFE PREDICTION

Munhamoh M. T[1], Musiiwa P. B.[1], Kapuya E. T.[2], Tyavlovsky A. K.[3]
[1] Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe
[3]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Predicting the Remaining Useful Life (RUL) of batteries is crucial for optimizing performance and helping in predictive maintenance. This ensures safety, and minimizing maintenance costs in various applications, including substation DC systems, electric vehicles, renewable energy storage and portable electronic devices. This study presents a comparative analysis of two prominent machine learning models – Random Forest (RF) and Long Short-Term Memory (LSTM) – for RUL prediction using data analysis. In this study, data analysis will be performed using MATLAB. The analysis will utilize a publicly available battery degradation dataset from the NASA Prognostics Center of Excellence, which includes critical battery features such as voltage, current, temperature, and capacity fade.

Both models will be evaluated based on their ability to predict RUL accurately while considering computational efficiency and interpretability. The RF model, an ensemble learning technique, will be analyzed in terms of its effectiveness in capturing nonlinear relationships in the data. The aim is to offer robust predictions with lower computational complexity. Its strengths in handling high-dimensional datasets and providing interpretable feature importance scores, allowing insights into the factors influencing battery health will be examined.

The contrasting features of the LSTM model in capturing temporal dependencies due to its design, which is specifically tailored for sequential data will be analyzed. The LSTM's ability to learn complex

degradation patterns leading to higher accuracy in RUL predictions, particularly in scenarios where historical performance plays a significant role will be examined. The models' performance with more computational resources and often viewed as a «black box», making interpretability a challenge will also be discussed and analyzed.

The results of this comparative seeks to explore the LSTM's performance compared to RF in terms of accuracy by effectively modeling the temporal aspects of battery degradation. The advantages of RF in computational efficiency and ease of interpretation will be scrutinized. The analysis seeks to highlight the trade-offs between model complexity and accuracy, providing valuable insights for practitioners in battery health management. Ultimately, the choice between RF and LSTM models should be guided by specific application requirements, including the need for predictive accuracy versus interpretability and computational resource availability. This study contributes to the growing body of knowledge on machine learning applications in battery management systems and offers a foundation for future research aimed at improving RUL prediction methodologies.

УДК 681

DEVELOPMENT OF AN AI BASED AC MOTOR FAULTY PREDICTION SYSTEM

Student, Master of Technology Degree in Industrial Automation Mutsvangwa T.
Lecturer, Eng. Makusha D. T.
Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

Maintenance of motors is very important in the manufacturing and mining industries. These faults can cause financial losses and time losses during production This article is going to review methods that have been used detect and predict AC motor faults prior to maintenance. It looks at nature, type and cause of faults in AC motors and then the methods used to predict this faults using AI and deep machine learning. The structure and main components of an AC motor are going to be described independently and their purpose is going to be stated too, these components are rotor, stator, bearing, fan blade, wiring cover, end bell, motor frame and fan blade.

This develpment is going to name and classify types of faults experienced by AC motors and what current systems are being used to solve these faults. The motor faults are classified into two types which are Electrical faults and Mechanical faults. Electrical faults includes sub classes of faults namely stator faults and rotor faults. Mechanical faults which includes bearing faults and eccentricity related faults. The four types of faults we implemented to determine the state of the motor are overload, open circuit fault, closed circuit fault and broken rotor bars. In the article a thourough study of the types of sensor to detect each type parameter caused by the fault is going to be shown.

This work is going to demonstrate how to detect these faults because most of these faults are really progressive faults which continue to occur on different random occasions. This article demonstrates how the system is to collect and classify data about each type of faults. The data base is then used to train AI algorithms such as Support Vector Machines, Artificial Neural Network, Machine learning and Fuzzy Logic. This data consists of stator currents, input power, slip, rotor speed, rotor currents and efficiency. After the training the system will be able to predict the possible fault to be experienced by the motor, and also provide the predicted date and time the fault is probably to happen.

The signal processing techniques are also described in this article. The article also outlines the types signal processing methods that we used when collecting parameters which are essential for error detection. The signal technique we used to monitor the wellness of the motor is the FFT (Fast fourier transform). The generated data set can be used to train other machine learning models. It also shows how IOT can be possibly be merged with AI so that responsible personnel can also get information about faulty machinery in remote places to give awareness and time that a faulty will probably occur. This can be used to enhance the efficiency of the system. This study contributes accuracy and reliability to maintance engineering using AI.

УДК 681

RCMS FOR INSTRUMENT LANDING SYSTEM USING ZIGBEE TECHNOLOGY

Mukwewa, T. M.[1], Musiiwa P. B.[1], Tyavlovsky A. K.[2]
[1]Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The Instrument Landing System (ILS) is a critical component in aviation, providing precision guidance to aircraft during approach and landing. Some ILS systems rely on fiber and wired connections for control and monitoring, which can be cumbersome and prone to faults in cases like airport expansions and corrosion. Other systems also rely on high-power, expensive, and complicated wireless links requiring skilled personnel for maintenance. This paper proposes a novel approach to enhance the reliability and flexibility of ILS by integrating Zigbee technology for remote control and monitoring. Zigbee is a low-power, cheap, and less complicated wireless communication protocol offering robust and secure data transmission over short distances. By leveraging Zigbee technology, the proposed system establishes a wireless network connecting various ILS components, including the localizer, glide slope, and marker beacon, to a central control unit. This wireless network enables real-time monitoring and control of ILS parameters, ensuring optimal performance and quick fault detection. The system uses a customized electronic board based on the Raspberry Pi 5, integrating Zigbee technology for remote data storage, control, and monitoring. The XBee modems are used for peer-to-peer wireless communication among stations. The Raspberry Pi touchscreen provides a user-friendly interface between the system and the users. XCTU software is used to configure the XBee Modems and the entire network will be monitored on a web-based software application. The development process is structured into two phases: remote monitoring and remote control of the ILS. The system operates in peer-to-peer communication mode, instantly broadcasting data to all stations in real time, providing detailed information on the status of the ILS. Implementing Zigbee technology in ILS offers several advantages, including reduced installation and maintenance costs, enhanced system flexibility, and improved fault tolerance. This paper demonstrates the feasibility and benefits of adopting cheap and less complicated wireless communication protocols in critical aviation systems, paving the way for future advancements in air traffic management.

УДК 681

РЕЧЕВОЙ ОПОВЕЩАТЕЛЬ С ИНТЕРФЕЙСНЫМ RS-485 УПРАВЛЕНИЕМ

Студенты гр. 11301121 Адамович К. А., Елец П. Н., студент гр. 11301124 Карнилович А. Г.
Ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы заключается в исследовании и разработке речевого оповещателя с интерфейсным RS-485 управлением.

Речевой оповещатель необходим для своевременного оповещения людей о пожаре, либо других чрезвычайных ситуациях на объекте защиты. Современные речевые оповещатели используют более сложные схемы, они непросты в производстве. Также системы, используемые данные речевые оповещатели дорогие, за счет использования в них модулей управления, усилителей мощности и репитеров.

В ходе работы разработана структурная схема речевого оповещателя, представленная на рисунке 1.

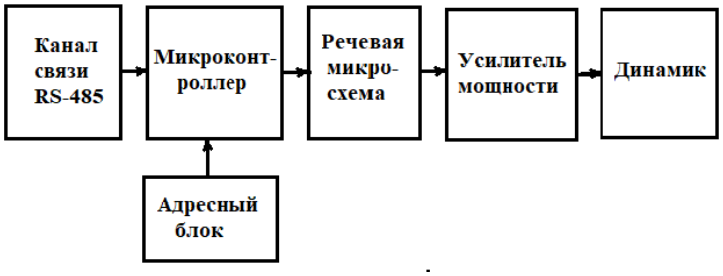


Рис. 1. Структурная схема устройства

Так, для упрощения операций в производстве, использовании и уменьшении стоимости системы оповещения, в данном оповещателе устанавливается интерфейсный модуль RS-485 и речевая микросхема. В результате оповещатель может воспроизводить тексты речевых сигналов оповещения, записанных в ПЗУ речевой микросхемы по командам передаваемым по интерфейсу RS-485 адресной системы пожарной сигнализации. Таким образом речевое оповещение в системе оповещения может быть организовано без необходимости использования в схеме усилителей мощности, репитеров. Этим упрощается процедура наладки оборудования, так как для такого оповещателя не требуется какая-либо настройки.

Литература

1. СН 2.02.03 – 2019 Пожарная автоматика зданий и сооружений.
2. СН 2.02.05 – 2020 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
3. Хаменко В. Микросхемы записи воспроизведения звука ChipCorder серии isd5100 компании Winbond // Компоненты и Технологии. – 2004. – №. 38. – С. 104–109.

УДК 681

ГРАДИЕНТНОЕ ФОТОРЕЛЕ В СИСТЕМАХ ОХРАННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Студент гр. 11301121 Адамович К. А., студент гр. 11301123 Койро А. В.,
студент гр. 11301124 Карнилович А. Г.
Ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы – повышение эффективности работы охранного телевидения, видеонаблюдения и оперативных работников.

Градиентное реле – это устройство, реагирующее на скорость изменения контролируемого параметра. Градиентное фотореле реагирует на изменение освещенности объекта. В системах охранного телевидения и видеонаблюдения очень важно, как можно быстрее обнаружить нарушителя. В видеокамерах датчики движения реагируют пассивно на инфракрасное излучение от объекта (нарушителя) движущегося предположительно с нормируемой скоростью и направлением, что позволяет подготовленному нарушителю нейтрализовать сработку датчика. Оперативный работник, наблюдающий за текущей обстановкой, может и пропустить, не заметить движения на экране.

Градиентное фотореле с чувствительным элементом реагирует на изменение освещенности части экрана монитора, наиболее важного объекта в условиях охраны. Чувствительным элементом устройства является фотодиод. Фотодиод устройства направляют на важный участок телевизионного экрана, схема автоматически настраивается на предложенную освещенность (световой поток). При изменении фото потока контролируемого участка экрана срабатывает исполнительная часть устройства и подает сигнал тревоги в службу безопасности.

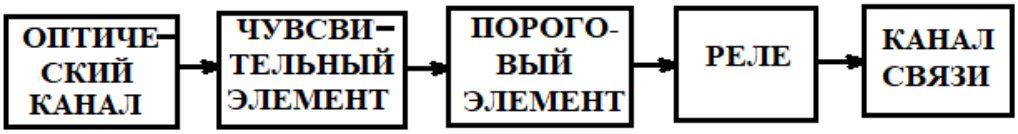


Рис. 1. Структурная схема градиентного фотореле

Принципиальная схема устройства отличается простотой и надежностью, оптический канал – это линза в фокусе которой расположен фотодиод. Фотодиод подключен параллельно на два входа операционного усилителя, что при равенстве напряжений на входах чувствительность схемы близка к предельной. К отрицательному каналу операционного усилителя подключена RC-цепочка, для задержки сигнала от фотодиода. При появлении объекта в поле контролируемого участка изображения, изменится фото поток экрана и соответственно ток фотодиода. В результате, даже небольшая и кратковременная разность напряжений на входах операционного усилителя приведет к срабатыванию компаратора и реле. Устройство может быть настроено для работы на понижение или повышение освещенности экрана. Сухие контакты реле могут быть

подключены к шлейфам охранной или тревожной сигнализации. Схема устройства, при необходимости дополняется световой и звуковой сигнализацией.

Градиентное устройство можно использовать, с незначительной доработкой, для регистрации других физических явлений в охране, а также в пожарной сигнализации.

Литература

1. Шустов М. А. Практическая схематехника. Книга 1. – М.: «Альтекс-А», 2003. – 336 с.

2. Проектирование систем охранного телевидения: учебное пособие / К. Л. Тявловский [и др.] – Минск, 2021. – 383 с.

УДК 621

ФИКСАЦИЯ ФАЛЬСТАРТА В БАССЕЙНЕ

Студент гр. 11904123 Бекар Е. Е.
Ст. преподаватель Ломтев А. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В бассейне нужно контролировать следующие параметры: климат, температуру воды, температуру воздуха, освещение, уровень шума, уровень щелочных солей в воде, жесткость воды, влажность. Эти параметры влияют на самочувствие спортсменов, на качество показанных ими результатов и требуют постоянного контроля. Существует большое количество технических устройств, позволяющих производить такой контроль и поддерживать необходимый микроклимат в бассейне.

Для точного измерения времени применяются различные калиброванные приборы, например, электронно-счетный частотомер, в котором предусмотрен блок измерения интервалов.

Система автоматической регистрации позволяет проводить соревнования в бассейнах с 12 дорожками. С каждой стороны дорожки могут быть установлены финишная панель, три кнопки секундометристов и стартовая тумбочка с датчиком фальстарта [1]. Система имеет встроенную акустическую систему для подачи стартовых сигналов и сигналов фальстарта, необходимых для корректного проведения соревнований.

В конструкцию системы (рис. 1) входит источник питания (1) с трансформатором (2) и выпрямителем (3), подключаемый к сети, сигнальная лампа (4), контактные датчики (5) с реле (6) и световыми индикаторами (7), коммутатор стартового пистолета (8), счетчики времени (9), поршень (10). Функциональная электрическая схема устройства фиксации фальстарта представлена на рис. 1.

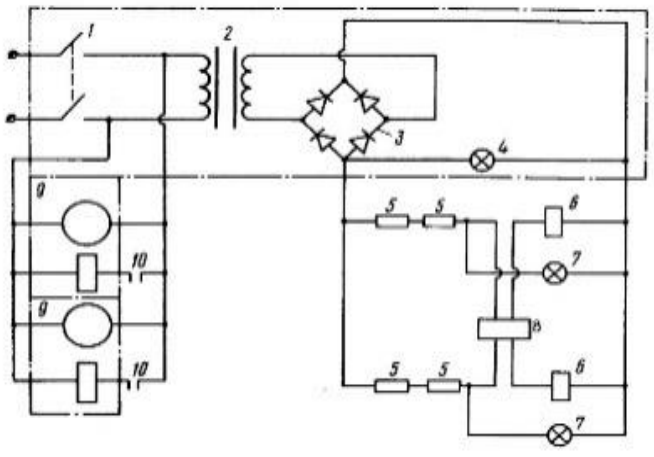


Рис. 1. Функциональная электрическая схема устройства фиксации фальстарта

Основным элементом современных устройств фиксации фальстарта в бассейне является фальстартовая панель, которая должна обладать высокой точностью. Фальстартовые панели постоянно модернизируются, выпускаются новые модели, что позволяет при проведении соревнований в плавательных дисциплинах выявлять какой из соревнующихся спортсменов попытался

сознательно или несознательно нарушить правила соревнования и дисквалифицировать его из данных соревнований.

Литература

1. Устройство для регистрации фальстарта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.findpatent.ru/patent/110/1105918.html. – Дата доступа: 12.02.2025.

УДК 621

КОНТРОЛЬ ПОПАДАНИЯ МЯЧА В ИГРОВУЮ ЗОНУ ВОЛЕЙБОЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Студент гр. 11904123 Бекар Е. Е.
Ст. преподаватель Ломтев А. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Традиционно определение места падения мяча (в пределах игровой зоны волейбольной площадки или вне ее) осуществляется линейными арбитрами на основании субъективных визуальных ощущений, что зачастую вызывает споры со стороны игроков и тренерского состава противоборствующих команд. Для исключения таких спорных ситуаций необходима разработка технических электронных устройств, позволяющих точно и однозначно определять место падения волейбольного мяча.

Целью данной работы явился поиск устройства для контроля попадания мяча в игровое поле или за его пределы, что облегчит работу судей.

В ходе работы был проведен обзор так называемых трибоэлектрических датчиков, состоящих из набора изолированных проводов. Принцип их действия заключается в наведении электрического заряда, возникающего при трении друг о друга разнородных диэлектриков.



Рис. 1. Устройство на основе трибоэлектрического кабеля

Также был проведен обзор датчиков давления различного принципа действия [1, 2]. В качестве датчиков давления были выбраны пьезоэлектрические датчики. Элементом чувствительности в этом датчике служит пьезоэлемент, который генерирует электрический сигнал во время деформации.

Была разработана функциональная схема ПИП, которая содержит датчик касания мяча, передатчик, приемник, блок индикации, блок сравнения, несколько датчиков давления, генератор импульсов, ключ, логические элементы «И», «НЕ», сумматор, триггеры. Также были проанализированы источники погрешностей данного устройства и возможные способы их уменьшения.

Литература

1. Первичные преобразователи. Датчики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://automation-system.ru/main/65-regulyator/regulation-systems/15-50-pervichnye-preobrazovateli-datchiki.html. – Дата доступа: 04.01.2025.

2. Преобразователи физических величин [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://skachate.ru/fizika/17637/index.html?page=2. – Дата доступа: 14.01.2025.

УДК 654.9

СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ И ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ГАРАЖА СО СТАНЦИЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Студент гр. 31301221 Бурых Д. А.
Кандидат техн. наук, доцент Мисюкевич Н. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для гаража со станцией технического обслуживания разработаны проекты систем пожарной и охранной сигнализации. Система пожарной сигнализации (СПС) обеспечивает обнаружение пожара на начальной стадии развития. Система охранной сигнализации (СОС) обеспечивает круглосуточную охрану по среднему уровню безопасности и предусматривает наличие двух рубежей охраны для регистрации проникновения (попытки проникновения) нарушителя.

При обнаружении пожара СПС формирует извещение о пожаре на пожарном посту, а объектовое оконечное устройство передает сообщение о пожаре по беспроводному каналу связи в пункт диспетчеризации пожарной автоматики МЧС. СПС предусматривает возможность интеграции с системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре типа СО-2 путем применения прибора приемно-контрольного пожарного и управления «А24/8» производства ООО «РовалэнтИнвестГрупп». СПС включает в себя 12 шлейфов сигнализации, разделенных на 4 зоны: станция технического обслуживания, гараж, вспомогательные помещения и административные помещения.

Система охранной сигнализации на базе прибора приемно-контрольного охранного «А24/8» включает в себя 32 шлейфа охранной сигнализации, разделенных на 3 зоны: гараж, станция технического обслуживания и административные помещения.

Передача извещений на пульт централизованного наблюдения Департамента охраны МВД осуществляется по негарантированному проводному каналу связи. В качестве резервного канала применяется негарантированный беспроводной канал связи. Система охранной сигнализации предусматривает возможность интеграции с системой контроля и управления доступом, системой видеонаблюдения для повышения защищенности объекта от угроз безопасности.

УДК 681

РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОПРОВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Студент гр.11312122 Вербицкий М. Р.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для обеспечения безопасности и надежности эксплуатации газопроводов высокого давления требуется тщательный контроль сварных соединений. Одним из эффективных методов оценки качества сварных швов является радиографический контроль [1], который позволяет выявлять внутренние дефекты без разрушения материала. В данной работе рассматривается процесс проведения радиографических испытаний сварных соединений газопровода высокого давления, ведущего к Минской ТЭЦ-5.

Газопровод имел диаметр трубы 720 мм и толщиной стенок 9,0 мм. В рамках исследования планировалось повышение давления в системе.

Для испытаний использовался рентгеновский дефектоскоп МАРТ-200. Контроль проводился с учетом требуемой чувствительности снимка 0,3 мм, фокусного пятна аппарата 2,2 мм и напряжения на рентгеновской трубке 200 кВ. Время экспозиции составляло 600 секунд. В качестве рентгеновской пленки применялась AGFA D7 с усиливающими свинцовыми экранами толщиной 0,027 мм. Маркировка пленки выполнялась с использованием набора свинцовых букв, знаков и мерительного пояса. Обработка пленки проводилась в автоматическом режиме.

Анализ дефектов сварных соединений проводился согласно ГОСТ 23055-78 [2]. Оценка соответствия выполнялась путем сравнения полученных результатов с нормативными значениями,

установленными действующими техническими нормативными правовыми актами, без учета величин погрешностей, поскольку допустимые отклонения были определены заранее. Такой подход позволяет унифицировать процесс контроля и избежать неопределенностей, связанных с возможными вариациями измерений.

В ходе радиографического контроля были выявлены дефекты различного характера, классифицированные в соответствии с ГОСТ 23055-78. Сравнительный анализ показал, что определенная часть сварных соединений соответствует установленным требованиям, в то время как выявленные отклонения потребовали дополнительных мероприятий по устранению дефектов. Среди выявленных дефектов были поры, непровары, шлаковые, вольфрамовые и окисные включения, которые могли привести к снижению прочности соединений. Для их устранения были предложены методы локальной шлифовки, повторной сварки и термообработки, обеспечивающие повышение качества швов и предотвращение возможных отказов в эксплуатации.

Проведенные исследования подтвердили эффективность применения радиографического контроля для оценки качества сварных соединений газопровода высокого давления. Полученные данные позволили определить степень надежности сварных соединений и выявить возможные дефекты. Используемая методика контроля обеспечивает высокую точность выявления дефектов и может применяться для аналогичных объектов, таких как нефтегазовые трубопроводы, котельное оборудование и резервуары высокого давления. Однако ее применение ограничено толщиной контролируемого материала и необходимостью использования специальных условий экспозиции для получения качественных снимков.

Литература

1. Клюев, В. В. Неразрушающий контроль : Справочник в 7 томах / В. В. Клюев ; под редакцией В. В. Клюева. – Москва: Научно-техническое издательство «Машиностроение», 2003. – Т. 2. – 687 с.

2. ГОСТ 23055-78. Контроль качества сварных соединений.

УДК 681

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ КАК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Студенты Веселовский В. А., Мелюх Н. С., Будревич Н. С., Койро А. В.
Кандидат техн. наук Исаев А. В., ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Пожары наносят громадный материальный ущерб и в ряде случаев сопровождаются гибелью людей. Поэтому защита от пожаров является важнейшей обязанностью каждого члена общества и проводится в общегосударственном масштабе. Одним из способов защиты является установка различных извещателей, позволяющих своевременно обнаруживать возникновение пожара.

Пожарный газовый извещатель – прибор, реагирующий на газы, выделяющиеся при тлении или горении материалов.

Пожарные извещатели, наиболее распространенные в настоящее время, обнаруживают следующие факторы пожара:

– появление открытого пламени;

– темп прироста температуры или рост температуры;

– изменение оптической плотности воздуха в результате задымления.

Более того, не вдаваясь в подробности теории горения, можно отметить, что любой пожар сопровождается распространением газообразных продуктов горения, часть из которых человек ощущает в качестве запахов. Согласно проведенным исследованиям, методами, использующими хроматографию, был определен состав газов, выделяющихся на различных стадиях горения [3].

На начальной стадии пожара, в процессе беспламенного горения, тления, возрастает концентрация водорода до 10*20 ppm. Далее, в ходе процесса, нарастает содержание ароматических углеводородов и угарного газа CO до уровня в 20*80 ppm. А с появлением пламени начинает расти концентрация углекислого газа CO_2 до уровня 1000 ppm.

Угарный газ чрезвычайно ядовит. Человеку достаточно находиться 1–2 минуты в помещении с относительно низким уровнем концентрации этого газа, чтобы получить повреждения мозга. На начальном этапе воздействия угарный газ вызывает дезориентацию, при более длительном воздействии приводит к смерти [2].

Пожарные извещатели, реагирующие на CO, используют как средства раннего обнаружения пожара так как:

– CO – более подвижный газ;

– газ распространяется диффузионными потоками, значит механические препятствия (шкаф, перегородки, стеллажи, балки, штабеля и другие строительные сооружения) меньше влияют на распространение;

– отсутствие воздушной прослойки у потолка;

– равномерное распространение CO в отличии от других газов.

Так же извещатели газовые пожарные решают задачу защиты людей от отравления угарным газом. Большое количество смертей на пожарах вызвано отравлением смертельным газом CO, что является 80 % всех смертей при пожарах (рисунок 1). Это обуславливается тем, что количество угарного газа становиться настолько высоким, что человек теряет ориентацию и не может самостоятельно выбраться из помещения и здания, либо же, зачастую спящий человек уже и не в состоянии пробудиться [1].

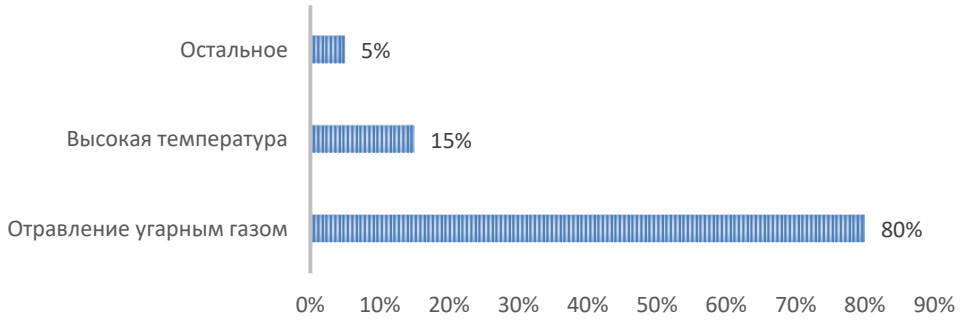


Рис. 1. Структура основных причин, приводящих к гибели людей при пожаре

Согласно представленной информации, можно сделать вывод, что использование и установка пожарного газового извещателя позволяет своевременно обнаружить место возгорания, а главное сохранить здоровье и человеческие жизни, материальные ценности и ресурсы.

Литература

1. Сведения о ЧС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/svedeniya-o-chs/. – Дата доступа: 02.03.2025.

2. Газовые пожарные извещатели – обнаружение пожара на ранней стадии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vrsystems.ru/stati/pojarnaya_deklaraciya_deklaraciya_pojarnoi_bezopasnosti.htm. – Дата доступа: 28.02.2025.

3. Пожарные извещатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.aktivsb.ru/statii/-izveshchateli_pozharnye_gazovye_chto_oni_obnaruzhivayut_i_kak_oni_ustroeny.html. – Дата доступа 03.03.2025.

УДК 681

ГАЗОВЫЕ ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Студенты Веселовский В. А., Мелюх Н. С., Кибисов Е. А., Лычковский В. А.
Кандидат техн. наук Исаев А. В., ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Газовые пожарные извещатели обладают определенными отличительными свойствами, что делает их незаменимыми для раннего обнаружения пожара, по сравнению с другими типами пожарных извещателей. Они применяются в библиотеках, архивах, цехах текстильных произ-

водств, деревообрабатывающих предприятиях, электрощитовых, серверных, предприятиях теплоэнергетики и на других объектах, где доминирующим фактором пожара является рост концентрации регистрируемых газов, в том числе во взрывоопасных зонах [2].

Наиболее распространенные пожарные газовые извещатели, срабатывающие на уровень угарного газа CO. Это обосновывается тем, что на начальной стадии пожара количество этого газа выделяется больше по сравнению с другими газами (рисунок 1).

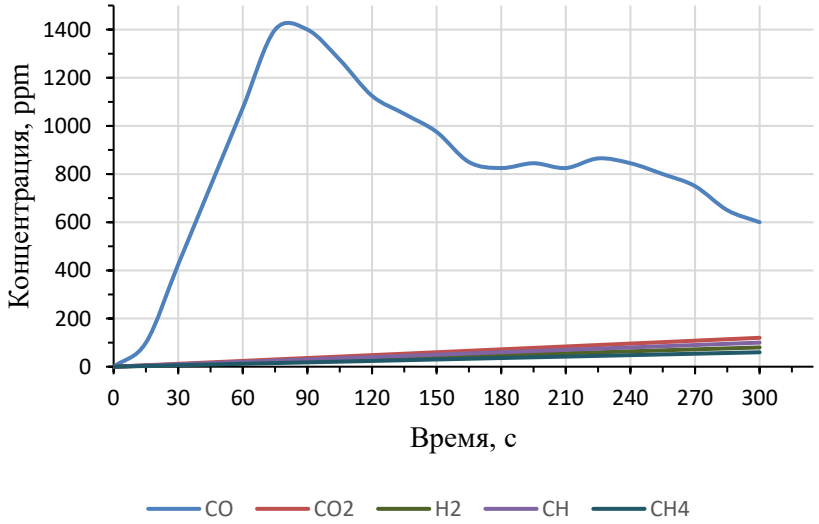


Рис. 1. Зависимость концентрации газа от времени на начальной стадии пожара

Газовые извещатели без проблем справляются со своей задачей в загрязненных, влажных и запыленных помещениях. По сравнению с устройствами дымового типа они менее склонны к ложным срабатываниям в неблагоприятных условиях, что позволяет устанавливать их в более суровых условиях, пыльной, заполненной парами, задымленной черными и технологическими дымами среде. Они даже хорошо работают при наличии физических барьеров на подобии потолочных балок, книжных шкафов, стеллажей и перегородок, что служит препятствием для распространения дыма, но не угарного газа CO. Это обоснованно тем, что распространение газа происходит по принципу диффузии, а не конвекции. Извещатель производит замеры концентрации угарного газа в зонах установки, что способствует быстрому обнаружению возгораний, а также процессов тления либо горения углеродосодержащих органических веществ. Извещения и информация поступают на ППКП [3].

В настоящее время разработаны и применяются приборы раннего обнаружения пожара. Их разнообразие представлено различными моделями газоаналитических систем безопасности на рынке (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Характеристика существующих моделей извещателей пожарных газовых

Наименование	Диапазон раб. t, °C	Uпит, В	Iпотр. max, мА	Порог, ppm	Габ-ые размеры, мм	Степень защиты	Производитель
ИП 435-3	–10...+55	4,5	100	20...80	80 × 70	IP30	РадоТехно
ИП 435-1 v4	–10...+55	9…30	25	15…200	90 × 90 × 45	IP41	Спецавтоматика
ИП 435-7	–30...+70	–	–	20...80	86 × 41	–	Юнитест
ИП 435-4-Ex	–10...+55	12–24	0,2	25…100	82 × 80 × 55	IP54	Этра-спецавтоматика
ИП435-8/101-04-A1R	–30...+55	9…30	25	40	100 × 47	IP41	Болид

В заключение стоит отметить, что извещатели данного типа можно устанавливать для защиты любых помещений, кроме тех, в которых пожар начинается с пламенного горения или вспышки.

Совмещение различных сенсоров в комбинированные извещатели дает отличный результат, что позволяет эффективно обнаруживать пожар на ранней стадии и в разнообразных условиях.

Литература

1. Газовые пожарные извещатели: типы и разновидности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fireman.club/statyi-polzovateley/gazovyie-pozharnyie-izveshhateli-tipyi-raznovidnosti-plyusyi-i-minu–syi/. – Дата доступа: 02.03.2025.

2. Газовые пожарные извещатели – обнаружение пожара на ранней стадии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://lib.secuteck.ru/articles2/OPS/gazovie_pojarnie_izveschateli_page162. – Дата доступа: 28.02.2025.

3. Пожарные извещатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.unitest.ru/about/publication/gazovye-izveshchateli-pozharnye.html. – Дата доступа 03.03.2025.

УДК 681

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО АППАРАТА АРИНА-02

Студенты гр. 11312121 Винник К. В., Козлов А. С.
Кандидат техн. наук, доцент Ризноокая Н. Н., ст. преподаватель Куклицкая А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Рентгеновский аппарат – один из типов источников ионизирующего излучения, предназначенный для получения рентгеновского излучения и просвечивания объекта при проведении радиографического контроля. Именно рентгеновские аппараты наиболее широко применяются в практике радиационной дефектоскопии. Рентген-аппараты генерируют те самые лучи, которые, проходя через металл объекта контроля, поглощаются детектором и формируют тот самый снимок (рентгенограмму, радиограмму), на котором четко видны внутренние (подповерхностные) дефекты.

Цель: разработать методику контроля материалов методом рентгенографии с помощью рентгеновского аппарата АРИНА-02.

Аппарат рентгеновский импульсный наносекундный автономный АРИНА-02 предназначен для неразрушающего контроля материалов методом рентгенографии в условиях эксплуатации УХЛ 1, для работы в интервале температур от –40 до +50 °С, атмосферном давлении (84–107) кПа и относительной влажности воздуха до 100 % при температуре +25 °С.

Аппарат применяется в газовой и нефтяной промышленностях, машиностроении и строительстве. Выпускается в двух модификациях – с питанием только от однофазной сети переменного тока с питанием как от сети, так и автономного источника постоянного напряжения.

На основе методики применения составлен алгоритм контроля рентгеновского аппарата АРИНА-02 изображена на рисунке 1.

Этапы методики применения: подготовка оборудования; подготовка объекта исследования; настройка параметров облучения; проведение рентгенографического исследования (включение аппарата и облучение объекта, регистрация полученных рентгеновских изображений); анализ результатов (интерпретация полученных рентгенографий, сравнительный анализ с эталонными данными, если необходимо); документация; безопасность (соблюдение всех мер предосторожности при работе с рентгеновским оборудованием, включая использование средств индивидуальной защиты и контроль за уровнем облучения).

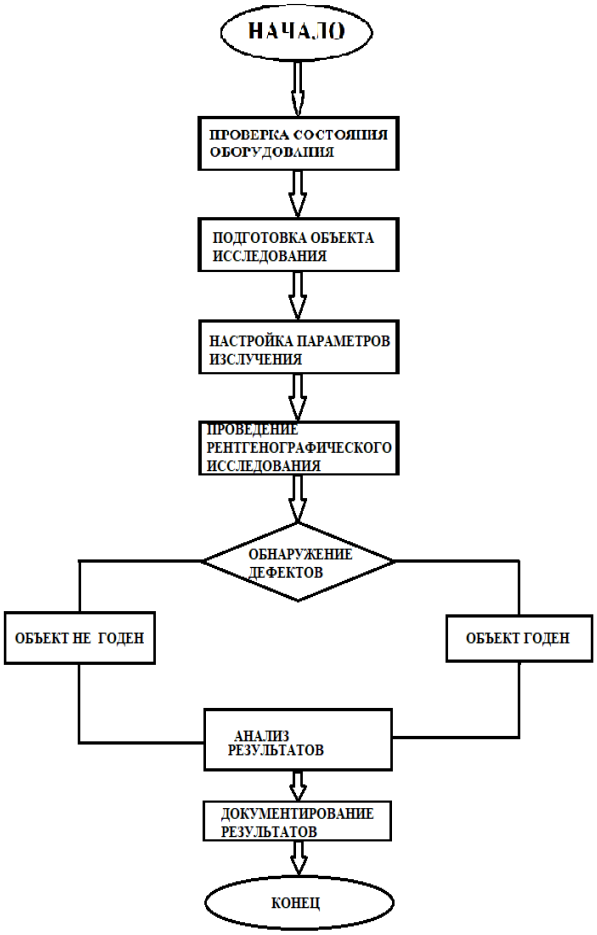


Рис. 1. Рентгеновский аппарат Арина-02

Эта методика помогает обеспечить эффективное и безопасное использование рентгеновского аппарата АРИНА-02 для различных научных и практических задач.

УДК 681

ЦИФРОВАЯ ИНДИКАЦИЯ В ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КОНТРОЛЕ

Студенты гр. 11312121 Винник К. В., Козлов А. С.
Кандидат техн. наук, доцент Воробей Р. И., ст. преподаватель Куклицкая А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Визуально-измерительный контроль (ВИК) – это один из методов оптического неразрушающего контроля, при реализации которого в качестве детектора используется человеческий глаз. Визуально-измерительный контроль используется для обнаружения наружных дефектов или отклонений изделия от заданных размеров.

К основным техническим средствам визуально-измерительного контроля относятся штангенциркули, которые позволяют измерять размеры объекта в широком диапазоне с хорошей точностью. Цель научно-исследовательской работы – оценка случайной погрешности прямых измерений размеров объекта сложной формы.

Объект контроля и штангенциркуль с цифровой индикацией представлены на рисунке 1.

Проведены измерения диаметра элемента объекта контроля сложной формы, оценка случайной погрешности проводилась по стандартной методике.

Диаметр измерялся 5 раз в заданной точке, затем рассчитывалось среднее значение измеренной величины, находилось значение погрешности для каждого измерения, а затем рассчитывалась средняя случайная погрешность прямых измерений.



Рис. 1. Штангенциркуль с цифровой индикацией и объект контроля

Среднее значение диаметра элемента составило 18 мм, случайная погрешность – 0,02 мм. Учитывая, что методическая погрешность измерений штангенциркуля с ценой деления 0,1 мм составляет 0,05 мм, можно сделать вывод, что случайная погрешность измерения штангенциркулем с цифровой индикацией существенно меньше методической погрешности.

Использование цифровой индикации существенно уменьшает время измерений, обеспечивает удобное для восприятия представление результатов контроля, не зависящее от особенностей зрения оператора.

Таким образом экспериментально показано, что использование измерительных устройств с цифровой индикацией обеспечивает комфортное проведение измерений со случайной погрешностью существенно меньше, чем методическая погрешность.

УДК 004.75

АЛГОРИТМ УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО СОЕДИНЕНИЯ В СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Глинская Е. В.
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

В МГТУ им. Н.Э. Баумана осуществлена разработка алгоритма установления защищенного соединения между оконечным пунктом и узлом коммутации сети передачи данных (ПД) на базе виртуальных каналов. Алгоритм имеет прямое отношение к категории сети связи специального назначения, выполняющую функцию передачи данных.

В ходе выполнения работы была разработана математическая модель расчета выбора механизмов защиты, в частности, алгоритмов шифрования и хеширования. Также было проведено их тестирование. По результатам тестирования были выбраны соответствующие механизмы защиты для определенных случаев, которые, в дальнейшем были использованы в разработке алгоритмов и программного обеспечения.

Общие положения алгоритма установления коммутируемого виртуального канала (КВК) узла локальной сети (УЛК) на абонентском участке оконечного пункта (рисунок 1).

Прежде чем приступить к аутентификации оконечный пункт, инициирующий установление коммутируемого виртуального канала, определяет область применения и конфигурацию сети ПД. ЦКП и взаимодействующий с ним оконечный пункт создают защищенную связь (SA) [5, 6], согласовывая алгоритмы и параметры:

– алгоритмы шифрования E (DES, AES, ГОСТ 28147–89);

– алгоритмы хеширования H (MD5, SHA-1, SHA-2, SHA-3, ГОСТ Р 34.11–2012);

– длина ключа LK;

– длина профиля сообщений LH.

Следует отметить, что приведенный перечень характеристик не является окончательным и может быть изменен (дополнен) в дальнейшем.

Возможны два варианта согласования характеристик:

1. В первом варианте функцию источника I первого сообщения выполняет оконечный пункт назначения при установлении КВК.

2. Во втором варианте функцию источника I первого сообщения выполняют оконечные ЦКП, функцию получателя R – оконечный пункт.

Указываются в конце текста, например, – Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта 01-02-34567).

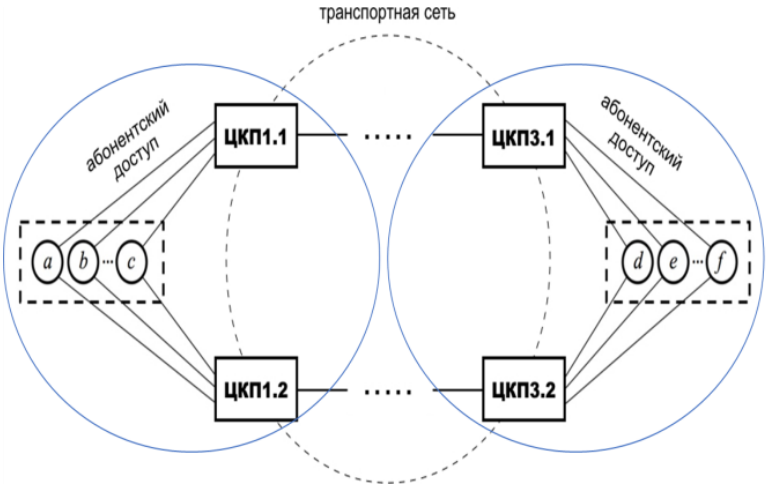


Рис. 1. Конфигурация сети ПД

Алгоритм проверки подлинности открытых ключей сертификатов. Для проверки подлинности открытых ключей источник проверки выполняет соответствующий запрос к удостоверяющему центру. В случае, если подлинность не была подтверждена – соединение считается не безопасным и завершается.

Для разработки программного обеспечения, имитирующего алгоритм протокола взаимной аутентификации оконечного пункта и ЦКП необходимо составить программное обеспечение, имитирующее сертификаты:

– источника, выданный в удостоверяющем центре УЦI;

– получателя, выданный в удостоверяющем центре УЦR;

– общего удостоверяющего центра УЦО, выданный в удостоверяющем центре УЦR;

– удостоверяющего центра УЦI, выданный в общем удостоверяющем центре УЦО;

– общего удостоверяющего центра УЦО, выданный в удостоверяющем центре УЦI;

– удостоверяющего центра УЦR, выданный в общем удостоверяющем центре УЦО.

При составлении ПО, имитирующего сертификат, необходимо:

– создать открытый и закрытого ключ сертификата;

– вычислить хэш-функцию открытого ключа сертификата;

– произвести шифрование закрытым ключом удостоверяющего центра (выдавшего сертификат) хэш-функцию открытого ключа.

Приведем алгоритм проверки подлинности открытого ключа I (PI) в сообщении 1. Допустим, что I отправил следующие сертификаты. Для упрощения в составе сертификатов оставим только один параметр – открытый ключ.

R получил сертификат I, выданный в удостоверяющем центре УЦI:

$$\text{УЦI} \ll I \gg = \text{PISУЦI}(\text{hash}(\text{PI})), \quad (1)$$

где SУЦI – закрытый ключ УЦI, hash(PI) – хэш-функция PI.

R получил так же цепочку из двух сертификатов:

Сертификат удостоверяющего центра УЦО, выданный в удостоверяющем центре УЦR:

$$\text{УЦR} \ll \text{УЦО} \gg = \text{РУЦО SУЦR (hash(РУЦО))},$$

где SУЦR – закрытый ключ УЦR, hash(РУЦО) – хэш–функция РУЦО.

В УЦR выдан сертификат получателя R. Поэтому достоверное знание открытого ключа R (РУЦR) позволяет проверить достоверность открытого ключа удостоверяющего центра УЦО (РУЦО). Для этого следует расшифровать hash(РУЦО) с помощью достоверного ключа РУЦR. {hash(РУЦО) = РУЦR SУЦR (hash(РУЦО))} и сравнить с hash(РУЦО), полученным из открытой части сертификата.

Сертификат удостоверяющего центра УЦІ, выданный в общем удостоверяющем центре УЦО:

$$<<УЦІ>> = РУЦІSУЦО(hash(РУЦІ)), \quad (2)$$

где SУЦО – закрытый ключ УЦО, hash(РУЦR) – хэш-функция РУЦІ.

Достоверное знание открытого ключа РУЦО позволяет проверить достоверность открытого ключа удостоверяющего центра УЦІ (РУЦІ). Алгоритм проверки аналогичен приведенному выше алгоритму проверки достоверность открытого ключа удостоверяющего центра УЦО (РУЦО).

Полученное достоверное знание открытого ключа источника РУЦІ позволяет аналогично проверить достоверность открытого ключа (PI) в сертификате источника – УЦІ <<I>> = PISУЦІ(hash(PI)), убедившись, что РУЦІSУЦІ(h(PI) = hash(PI).

Алгоритм проверки подлинности открытого ключа аналогичен алгоритму проверки достоверности открытого ключа источника.

Литература

1. Матвеев В. А., Бельфер Р. А. Учебное пособие для разработки студентами программного обеспечения сети передачи данных и планирование создания лабораторного стенда сети с высоким уровнем безопасности и надежности. // Сборник трудов XXV Всероссийской конференции «Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов» – М.: Академия управления МВД Россия, 2016. – С. 51–57.

2. Матвеев В. А., Бельфер Р. А. Общие положения алгоритмов учебного лабораторного стенда сети передачи данных на базе виртуальных каналов // Электросвязь. – 2016. – № 8. – С. 51–55.

3. Федеральный закон Российской Федерации №126–ФЗ от 7.07.2003 (редакция от марта 2016 г.) «О связи» // Справочно-правовая система «Консультант Плюс» / Компания «Консультант Плюс».

4. Бельфер Р. А. Сети и системы связи (технологии, безопасность) // Учеб. пособие по дисциплине «Сети и системы связи»: электронное учеб. изд. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2012. – 723 с.

УДК 681.536.55

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Студенты гр. 11303123 Глущенко К. Д., Шехов Е. А.
Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Микроклимат учебных помещений играет ключевую роль в обеспечении комфортных условий для обучения. Температура, влажность, концентрация углекислого газа (CO_2) и уровень освещенности существенно влияют на когнитивные способности студентов, их работоспособность и самочувствие. Повышенный уровень CO_2 приводит к ухудшению концентрации, сонливости и головной боли, что негативно сказывается на способности усваивать новую информацию. Исследования показывают, что концентрация CO_2 выше 1000 ppm может снижать когнитивные функции на 20–30 %. Оптимальная температура в помещении должна составлять 20–24 °C, так как перегрев или переохлаждение ведет к снижению продуктивности и повышенной утомляемости. Влажность воздуха также оказывает значительное влияние: низкий уровень влажности (менее 30 %) может вызывать сухость слизистых оболочек и дискомфорт, тогда как высокая влажность (более 60 %) способствует развитию плесени и распространению инфекций. Недостаточный уровень освещенности вызывает напряжение глаз и снижает концентрацию внимания, в то время как чрезмерная яркость может приводить к зрительному утомлению [1]. Контроль микроклиматических параметров в учебных помещениях является важным аспектом создания здоровой образовательной среды. Разработка системы мониторинга микроклимата позволит контролировать данные параметры и своевременно реагировать на их изменения.

На сегодняшний день существует ряд решений для мониторинга микроклимата, среди которых можно выделить промышленные системы, применяемые в корпоративных и образовательных учреждениях. Индустриальные решения включают интегрированные системы управления зданием (Building Management Systems, BMS), которые не только отслеживают микроклиматические параметры, но и управляют инженерными системами вентиляции, отопления и кондиционирования. Подобные системы, представленные компаниями Siemens, Schneider Electric, Honeywell, позволяют автоматизировать процессы регулирования микроклимата и минимизировать

энергопотребление. Однако их внедрение требует значительных финансовых вложений и сложных этапов интеграции. Кроме того, существуют промышленные решения, такие как IoT-платформы, предназначенные для мониторинга параметров воздуха в помещениях. Данные устройства могут подключаться к облачным платформам и передавать данные в режиме реального времени, обеспечивая удобный доступ через веб-интерфейсы и мобильные приложения. Преимущества таких решений включают высокую точность измерений, автоматическую калибровку датчиков и возможность интеграции с другими системами управления зданиями. Недостатком является относительно высокая стоимость и зависимость от интернет-подключения [2].

Расчет системы мониторинга должен включать определение необходимого количества датчиков в зависимости от объема помещения, расчет оптимального расположения устройств для равномерного покрытия зоны мониторинга, а также расчет времени отклика системы.

Таким образом, для разработки конструкции системы мониторинга и управления микроклимата в учебных помещениях нужно решить следующие задачи:

– Определить составные части системы управления климат-контроля.

– Разработать электрическую схему системы управления.

– Оптимизировать конструкционное исполнение блока управления системой климат-контроля в учебных помещениях.

Литература

1. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков. – 4-е изд. испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2004. – 616 с.

2. Aranet CO_2 Monitoring Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aranet.com/. – Дата доступа: 26.02.2025.

УДК 621.311

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ДИАГНОСТИКЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Аспирант Громыко И. Л.
Кандидат техн. наук, доцент Галушко В. Н.
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Диагностика трансформаторов на сегодняшний день является довольно долгим и затратным мероприятием. Современные методы диагностики не всегда однозначно указывают на место и вид дефекта.

Одним из авторов данной работы был предложен метод диагностики межвитковых коротких замыканий, основанный на анализе, с использованием сверточных нейронных сетей отношений токов, напряжений, активных мощностей и коэффициентов мощностей [1]. С помощью даннного метода можно производить непрерывный онлайн-мониторинг работы трансформатора. С помощью сверточных нейронных сетей, данный метод может не только определять наличие и примерное место межвиткового короткого замыкания, но также отличает данный вид неисправности от резких изменений нагрузки и различного рода помех. Однако данный метод не применим для обнаружения деффектов сердечника.

В настоящее время, перспективным методом диагностики состояния трансформатора, является метод частотных характеристик (FRA) или частотный анализ. Используя метод трех вольтметров и трансформатор ОСМ-1,0 У3, были проведены эксперименты с различными состояниями сердечника (рис. 1):

– нормальное состояние;

– с ослабленным креплением пластин срдечника;

– с воздушным зазором 2 мм;

– с воздушным зазором 4 мм.

На основании приведенных результатов измерений наиболее распространенных дефектов сердечника наибольшие изменения в импедансных и фазо-частотных характеристиках связаны со следующими параметрами: апмлитудой первого «резонанса» импедансных характеристик и сдвигом его частоты; формой фазо-часточных характеристик. В связи с этим авторы разработали

архитектуру сверточной нейронной сети, позволяющую определять и классифицировать указанные процессы.

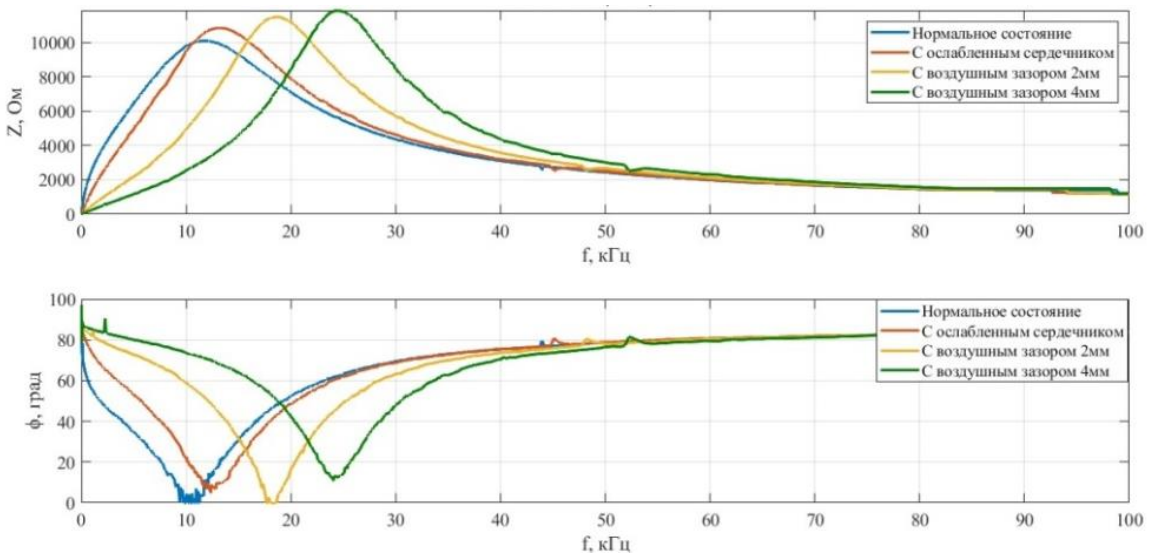


Рис. 1. Импедансная и фазо-частотная характеристики при обнаружении дефектов сердечника трансформатора ОСМ-1,0 У3

Литература

1. Hramyka I. Development of Software and Hardware for Identification of Interturn Short Circuit in Single-Phase Transformers // 2024 Third International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T). – IEEE, 2024. – P. 241–246.

УДК 681

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНДОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ

Студент группы 11312121 Драница М. Ю.
Кандидат техн. наук, доцент Ризноокая Н. Н., ст. преподаватель Куклицкая А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Эндоскопия в неразрушающем контроле (НК) представляет собой метод визуального исследования внутренней структуры объекта при помощи эндоскопа, что позволяет выявлять дефекты без повреждения исследуемых материалов. Основным принципом эндоскопии в НК является использование гибких или жестких инструментов (эндоскопов), оборудованных камерами и источниками света, для визуализации труднодоступных мест. Это позволяет проводить детальный осмотр внутренних поверхностей, выявлять коррозию, трещины, отслоения и другие дефекты, не прибегая к разрушению конструкции [1].

Целью работы является проведение диагностики объекта контроля при помощи эндоскопа и получение изображений дефектов.

Объектом контроля являлась стенка цилиндров двигателя внутреннего сгорания автомобиля. При помощи производственного эндоскопа получены следующие изображения.

Изображения, представленные на рисунках 1 и 2 были получены путем внедрения эндоскопа в отверстие свечей зажигания. В результате проведения контроля обнаружены зоны локальной коррозии стенок первого и второго цилиндров камеры сгорания. Обнаружен нагар на головках поршней.

Для получения изображений на рисунках 3 и 4 пришлось провести частичную разборку двигателя. Были сняты воздушный фильтр и карбюратор, что значительно повлияло на удобство проведения контроля. Обнаружено нарушение герметичности за счет потери эластических свойств маслосъемных колпачков клапанов коленчатого вала, о чем свидетельствует наличие сгоревшего масла на стрежнях впускных клапанов и появления нагара на каналах головки блока цилиндров.



Рис. 1. Стенка гильзы первого цилиндра



Рис. 2. Стенка гильзы второго цилиндра



Рис. 3. Стенка камеры сгорания первого цилиндра



Рис. 4. Стенка камеры сгорания первого цилиндра

Таким образом для контроля внутренней поверхности объекта или его труднодоступных мест целесообразно использовать эндоскоп.

Литература

1. Неразрушающий контроль / В. В. Клюев, В. Н. Филинов, А. А. Кеткович, М. В. Филинов. – 6 том. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва. – 2006. – 842 с.

2. Коваленко А. А., Драница М. Ю., Куклицкая А. Г., Воробей Р. И. Неразрушающий контроль объектов с использованием видимого и инфракрасного излучения / «XXXI Республиканский конкурс научных работ студентов», Минск, 1 октября 2024 г. – 7 марта 2025 г. – Минск: БНТУ, 2025.

УДК 681

РАСЧЕТЫ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

Студент группы 11312121 Драница М. Ю.
Кандидат техн. наук, доцент Ризноокая Н. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Расчеты в неразрушающем контроле играют важную роль в обеспечении точности и надежности результатов контроля. Примерами могут послужить расчеты на прочность для определения минимальной допустимой толщины объекта контроля, расчет остаточного ресурса, позволяющий определить продолжительность эксплуатации объекта. При наличии выпучин или вмятин необходимо провести расчет ее параметров и оценить их на соответствие нормам нормативно-технической документации.

Целью работы являлось определение необходимости проведения расчетов в неразрушающем контроле.

Расчеты минимальной допустимой толщины проводятся по ГОСТ 34233.2 [1], для определения допустимых напряжений используют ГОСТ 34233.1 [2].

Основным повреждающим фактором, влияющим на остаточный ресурс устройства, является коррозионно-эрозионный износ металла стенок, поэтому расчет остаточного ресурса производится по формулам

$$R(T) = \frac{S_ф - S_{обл}}{a}, \quad (1)$$

$$a = \frac{S_{пр} - S_ф}{T_E}, \quad (2)$$

где $R(T)$ – остаточный ресурс, годы; $S_ф$ – фактическая толщина оцениваемого элемента, мм; $S_{отб}$ – отбраковочная толщина оцениваемого элемента, мм; a – скорость коррозии (эрозионного износа), мм/год; $S_{пр}$ – проектная толщина оцениваемого элемента, мм; T_E – принятый срок эксплуатации.

При наличии вмятин расчет на прочность выполняют согласно ГОСТ 34233.11 [3].

Расчет будет проводиться для вмятины со следующими размерами:

$r_в$ = 150 мм – радиус вмятины в плане;

δ = 15 мм – прогиб вмятины;

Расчет на статическую прочность.

Условие прочности обечайки с учетом овальности определяется выражением (28) ГОСТ 34233.11

$$\sigma_{max} \leq 3\sigma_{доп},$$

где σ_{max} – максимальное напряжение в зоне несоответствий, МПа; $\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение для стали при расчетной температуре, МПа; для стали 16ГС с толщиной стенки до 32 мм при температуре 20 °С согласно таблице А.1 ГОСТ 34233.1 $\sigma_{доп}$ = 177,0 МПа.

Максимальное напряжение определяется по выражению (24) с учетом выражений (26) и (27) ГОСТ 34233.11

$$\sigma_{max} = \alpha_\sigma \sigma_н, \quad (3)$$

где α_σ – коэффициент концентрации напряжений; $\sigma_н$ – номинальное напряжение, МПа.

Коэффициент концентрации напряжений рассчитываются по выражению

$$\alpha_\sigma = 1 + B\left(\frac{\delta'}{s_ф}\right)^m, \quad (4)$$

где B – параметр для случая локальной некруглости; δ′ – условное значение отклонения для локальной некруглости, мм; $S_ф$ – минимальная измеренная толщина стенки в зоне вмятины, мм; m – показатель степени для случая локальной некруглости.

Параметры B, δ′, m рассчитываются по выражениям

$$B = -0{,}234\frac{r_в^2}{R_р s_ф} + 0{,}84\frac{r_в}{\sqrt{R_р s_ф}} + 1{,}36; \quad (5)$$

$$m = 0{,}315\frac{r_в}{\sqrt{R_р s_ф}} + 0{,}232; \quad (6)$$

$$\delta' = \delta\left(1 - \frac{\sigma_н}{R_{m/t}}\right), \quad (7)$$

где $R_р$ = 1600 мм – радиус кривизны выпуклого днища в зоне вмятины; *Rm/t* – минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при расчетной температуре, МПа.

Минимальное значение временного сопротивления для стали 16ГС при толщине стенки до 32 мм согласно таблице Б.2 ГОСТ 34233.1 при рабочей температуре 100 °С составляет *Rm/t* = 265,5 МПа.

Номинальное напряжение рассчитывается по выражению

$$\sigma_н = \frac{pR_р}{2\varphi(s_ф - c)}, \quad (8)$$

где p = 0,81 МПа – расчетное внутреннее давление, равное рабочему; φ = 1 – коэффициент прочности сварного соединения.

$$\sigma_н = \frac{0{,}81 \cdot 1600}{2 \cdot 1{,}0(7{,}8 - 0{,}4)} = 87{,}6 \text{ МПа}; \quad (9)$$

$$\delta' = 15 \cdot \left(1 - \frac{87,6}{265,5}\right) = 10,1 \text{ мм}; \quad (10)$$

$$m = 0,315\frac{150}{\sqrt{1600 \cdot 7,8}} + 0,232 = 0,655; \quad (11)$$

$$B = -0,234\frac{150^2}{1600 \cdot 7,8} + 0,84\frac{150}{\sqrt{1600 \cdot 7,8}} + 1,36 = 2,07; \quad (12)$$

$$\alpha_\sigma = 1 + 2,07 \cdot \left(\frac{10,1}{7,8}\right)^{0,655} = 3,45; \quad (13)$$

$\sigma_{max} = 3,45 \cdot 87,6 = 302,2$ МПа.

Проверка выполнения условия

$\sigma_{max} = 302,2$ МПа $< 3\sigma_{доп} = 3 \cdot 177,0 = 531,0$ МПа.

Условие прочности выполняется.

Расчеты на прочность позволяют решать многие задачи в области неразрушающего контроля. Исходя из расчетов можно определять допустимые дефекты для определенных групп объектов, можно допускать наличие вмятин определенного размера.

Литература

1. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек: ГОСТ 34233.2–2017 [Электронный ресурс]. – Взамен ГОСТ 14249–89 в части разделов 2–5, ГОСТ 25221–82; введ. 01.09.19. – Режим доступа: https://standart.stb.by/indexStandart.php#!/StandardId/553959 (дата доступа: 12.03.2025).

2. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования: ГОСТ 34233.1–2017 [Электронный ресурс]. – Взамен ГОСТ 14249–89 в части раздела 1, ГОСТ 26158–84 ; введ. 01.09.19. – Режим доступа : https://standart.stb.by/indexStandart.php#!/ StandardId/553956.

3. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек: ГОСТ 34233.11–2017 [Электронный ресурс]. – Введ.01.09.19. – Режим доступа : https://standart.stb.by/indexStandart.php#!/StandardId/553978.

УДК 315

ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ ПРИ ПРЫЖКАХ В ВЫСОТУ С ШЕСТОМ

Студенты гр. 11904122 Жарикова Е. В., Гулевич О. Н.
Ст. преподаватель Ломтев А. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Основными параметрами при прыжке с шестом являются скорость, ускорение и траектория. Для измерения такой физической величины как скоростно-силовые качества спортсмена, используем трехосный акселерометр LIS302DL.

Акселерометр LIS302DL – это трехосевой микромеханический акселерометр, который предлагает измерение ускорения в трех направлениях. Он основан на принципе работы микроэлектромеханических систем (MEMS). MEMS-акселерометры используют микроэлектромеханические структуры, такие как кристалл кремния, для измерения ускорения. Внутри акселерометра LIS302DL есть микросхема, которая содержит микромеханические датчики ускорения.

Акселерометр LIS302DL состоит из двух ключевых элементов (рис. 1):

– МЭМС-кремниевого микромеханического емкостного сенсора, чувствительного к ускорению или повороту;

– схемы обработки сигнала, преобразующей выходные сигналы этого сенсора в аналоговые или цифровые сигналы.

А также МЭМС технологии позволяют создавать конденсаторы с подвижными обкладками на кремниевой подложке, что существенно уменьшает размер устройства, и что не маловажно – его стоимость.



Рис. 1. LIS302DL – трехосевой акселерометр

Вот основные характеристики этого устройства:

– трехосевой: LIS302DL измеряет ускорение в трех перпендикулярных направлениях;

– цифровой интерфейс: он оснащен цифровым интерфейсом SPI или I2C для передачи данных в микроконтроллер или другое устройство;

– диапазон измерения: обычно имеет диапазон измерения от ±2g до ±16g, что позволяет измерять ускорение в широком диапазоне с различными уровнями чувствительности;

– низкое энергопотребление: это делает его подходящим для портативных устройств и устройств с ограниченной энергией;

– два настраиваемых выхода для прерываний, обнаружение кликов (постукиваний);

– встроенный фильтр, корпус LGA14;

– имеет небольшой размер (общий размер пластины: 3 × 5 × 0,9 мм).

Так как спортсмен движется в трехмерном пространстве, наиболее подходящим будет данный акселерометр. Входные сигналы (по осям x, y, z), поступают на акселерометры. В акселерометре, посредством чувствительных элементов, входные сигналы преобразуются в ускорение. Для того, чтобы ускорение преобразовать в скорость, а скорость в перемещение необходимо использовать интеграторы. От акселерометров и интеграторов выходные величины скорость, ускорение и перемещение поступают на микроконтроллер, где преобразуются в соответствующие выходные сигналы для передачи на радиопередатчик.

Также стоит использовать радиопередатчик, так как он практически не имеет временную задержку, т. е. все исследуемые параметры в реальном времени поступают на радиоприемник, а с радиоприемника на персональный компьютер. С помощью компьютера, посредством программного обеспечения, по полученным данным можно провести биомеханический анализ движения прыгуна с шестом.

Данный акселерометр часто используется в мобильных устройствах, навигационных системах, игровых контроллерах, спортивной электронике, а также в промышленных и медицинских устройствах, где требуется точное измерение ускорения.

УДК 621.317.317

УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Студент гр. 31303123 Евсеенко И. А.
Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

При эксплуатации магистральных воздушных линий электропередачи под воздействием окружающей среды: термомеханическая деградация при экстремальных температурных режимах: при диапазоне 30–50 °C наблюдается линейное термическое расширение проводников, вызывающее увеличение стрелы провеса на 10–30 % от номинального значения. Криогенные и аэродинамические нагрузки: гляциологическая нагрузка: аккреция льда толщиной 10 мм индуцирует дополнительную массу 3 кг/м, приводя к суммарной нагрузке 900 кг на пролет 300 м. Комбинированное воздействие (ледовая корка и поперечный ветер 10–15 м/с) повышает эквивалентное механическое напряжение в 2–3 раза, превышая предел текучести материала. Динамические и аэроупругие явления: резонансные колебания (амплитудой до 0,5 м) при ветровых порывах. Термоциклическая усталость: суточные температурные колебания инициируют релаксационно-напряженные циклы, ускоряющие деградацию кристаллической решетки металла.

Сезонная вариация натяжения: зимнее нагружение и летняя релаксация. Некорректный расчет температурной компенсации провеса приводит к критическим деформациям. Электротравматизм: снижение габаритного расстояния в урбанизированных зонах. Потери мощности: рост активного сопротивления на 5–7 % из-за пластической деформации. Ложные срабатывания релейной защиты: уменьшение межфазного расстояния ниже уставок селективности. Деформация опорных конструкций: асимметричная нагрузка, вызывающая продольный изгиб.

В настоящее время широко применяются: ультразвуковые высотомеры Даль2 и КС-СНМ-600А [1].



а *б*

Рис. 1. Ультразвуковой высотомер Даль2 (а); КС-СНМ-600А (б).

Данные устройства обладают функциональными ограничениями: 1. Климатическая уязвимость: рабочий диапазон – 10–25 °С (Даль2) и 5–25 °С (КС-СНМ-600А) и не соответствует условиям эксплуатации линий электропередач в условиях РБ. 2. Отсутствие мультипараметрического мониторинга: невозможность синхронной фиксации температуры (более 25 °С), влажности, атмосферного давления, геодезических координат. 3. Отсутствие цифрового интерфейса для передачи данных, например в SCADA-системы. 4. Систематическая погрешность: неучтенные внешние факторы (турбулентность, термооптические аберрации).

Разработка мультипараметрического измерительного устройства для мониторинга линий электропередач с расширенным функционалом является актуальным. Поэтому для разработки новой конструкции высотомера необходимо выполнить следующие задачи: 1. Оптимизировать конструктивное исполнение прибора. 2. Синтезировать электрическую схему прибора с цифровой обработкой сигналов и беспроводным интерфейсом; 3. Выбор элементной базы прибора должен осуществляться с учетом воздействия электромагнитных полей и климатическим условием.

Литература

1. Дальномеры ультразвуковые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://izm.by/dalnomery-ultrazvukovye. – Дата доступа: 25.02.2025.

УДК 531.383

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Кандидат техн. наук, ассистент Каликанов А. В.
Тульский государственный университет, Тула, Россия

В настоящее время увеличивается спрос на различные интеллектуальные робототехнические комплексы воздушного базирования (ИРКВБ), применяемые для решения большого ряда гражданских задач – это и задачи экологического мониторинга, задачи видеосъемки сельхозугодий с расчетом нормализованного вегетационного индекса, применяемого для повышения эффективности удобрения агрокультур. Все это приводит к необходимости построения автономной и адаптивной системы ориентации ИРКВБ, которая могла бы быть инвариантной к внешним воздействиям [1].

В работе рассматривается подход к построению адаптивной интегрированной системе ориентации для ИРКВБ. Данный подход рассматривается с точки зрения аппаратной и информационной интеграции измерительных средств, что в последнем случае означает их взаимную информационную поддержку: синтез недостающих данных за счет других, прогноз информации, сужение диапазона неопределенности, восстановление работоспособности и т. п. Надежность

и точность выработки параметров ориентации ИРКВБ предлагается обеспечить многоуровневостью (рис. 1) и иерархичностью структуры интегрированной системы ориентации.

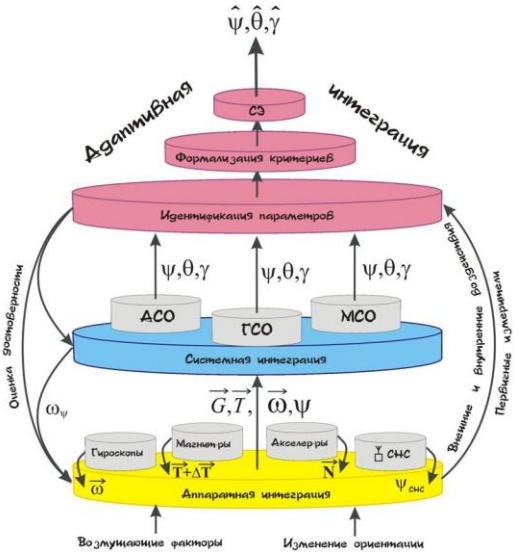


Рис. 1. Адаптивной интегрированной системе ориентации для ИРКВБ

Многоуровневость и иерархичность структуры означают наличие нескольких уровней (слоев), имеющих разную функциональность. Слой аппаратной интеграции предполагает прием и обработку сигналов измерителей с целью повышения их точностных характеристик за счет сильно связанного комплексирования на основании алгоритмов оптимальной фильтрации.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники № ДС/162 от 28.12.24.

Литература

1. Каликанов, А. В. Аналитический обзор систем ориентации и навигации малоразмерных беспилотных летательных аппаратов / А. В. Каликанов // Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов. – 2018. – № 17. – С. 57–63.

УДК 621.391.6

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Магистрант Книга Н. А.
Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях интенсивного развития промышленных технологий и автоматизации производственных процессов особую значимость приобретает обеспечение надежного контроля эксплуатационных параметров технических объектов. Многоканальные системы мониторинга, основанные на использовании нескольких беспроводных каналов связи, представляют собой эффективное решение для оперативного сбора, обработки и анализа данных в реальном времени. Такие системы находят применение в различных областях, включая автоматизацию производства, управление энергопотреблением, и управление важными процессами [1].

Необходимость внедрения многоканальных систем обусловлена возрастающими требованиями к надежности, точности и отказоустойчивости оборудования. В условиях промышленного производства даже незначительные отклонения эксплуатационных параметров, таких как температура, давление, уровень жидкости или газа, могут привести к серьезным авариям, остановке производства и значительным экономическим потерям. Традиционные одноканальные системы мониторинга не всегда способны обеспечить достаточную надежность, особенно в условиях повышенных электромагнитных помех или при необходимости резервирования каналов связи.

Многоканальные системы мониторинга базируются на одновременном использовании нескольких каналов передачи данных, что позволяет минимизировать риски потери информации и обеспечить непрерывность функционирования даже в случае выхода из строя одного из каналов. Для передачи данных применяются различные беспроводные технологии, каждая из которых обладает уникальными характеристиками, определяющими ее применимость в конкретных условиях эксплуатации [2].

Технология Wi-Fi обеспечивает высокую скорость передачи данных, достигающую нескольких гигабит в секунду, что делает ее оптимальным решением для устройств, обрабатывающих значительные объемы информации, таких как видеокамеры или серверы [3]. Однако ограниченная дальность передачи, не превышающая 100 метров в условиях открытого пространства, а также высокое энергопотребление ограничивают ее использование в автономных устройствах, где ключевым требованием является энергоэффективность.

Технология ZigBee разработана для создания распределенных сетей с высокой надежностью и низким энергопотреблением. Она поддерживает подключение до 65000 устройств в рамках одной сети, что делает ее эффективным решением для крупномасштабных систем мониторинга и управления, таких как умные дома или промышленные объекты [4].

Для задач, требующих передачи данных на большие расстояния при минимальном энергопотреблении, используются технологии LoRa и NB-IoT. LoRa обеспечивает дальность передачи до 15 километров в условиях открытого пространства, что делает ее применимой для мониторинга обширных территорий, таких как сельскохозяйственные угодья или экологические системы. NB-IoT, использующий инфраструктуру сотовых сетей, обеспечивает связь на расстояниях до 50 километров и оптимизирован для работы с большим количеством устройств, что делает его подходящим для систем мониторинга инфраструктуры и интеллектуальных счетчиков.

Таким образом, разработка универсальных многоканальных систем, способных интегрировать различные технологии передачи данных и обеспечивать одновременный мониторинг множества параметров, представляет собой актуальную задачу. Такие системы позволят повысить эффективность контроля, обеспечить безопасность и стабильность работы технических объектов, а также снизить риски аварий и сбоев в производственных процессах.

Литература

1. Голдсмит, А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит ; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2015. – 848 с.

2. Ратынский, М. В. Основы сотовой связи / М. В. Ратынский. – Москва: Радио и связь, 2000. – 248 с.

3. Кузьмин, А.В. Интернет вещей: технологии и применение / А. В. Кузьмин, Е. А. Петрова // Датчики и системы. – 2020. – № 4. – С. 23–30.

4. Сидоров, А. А. Беспроводные сети и технологии : учебное пособие / А. А. Сидоров, В. В. Козлов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 320 с.

УДК 681

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В ВИЗУАЛЬНОМ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КОНТРОЛЕ

Студент гр. 11312121 Коваленко А. А.
Кандидат техн. наук, доцент Воробей Р. И., ст. преподаватель Куклицкая А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Визуальный и измерительный контроль, как один из методов оптического неразрушающего контроля, в первую очередь основан на возможностях зрения человека. Объект контроля исследуется в видимом излучении, метод относится к числу наиболее дешевых, быстрых и информативных методов неразрушающего контроля. Данный метод является базовыми и предшествует всем остальным методам контроля в дефектоскопии.

Визуальный и измерительный контроль проводится с использованием простейших измерительных средств, таких как лупа, рулетка, штангенциркуль и т. д.

Цель работы – сравнение особенностей применения нониусных инструментов для визуального и измерительного контроля с инструментами с цифровой индикацией на примере штангенциркуля.

Нониусный штангенциркуль – ручное средство измерений с отсчетом по нониусу и ценой деления 0,05 мм.

Нониусные инструменты обеспечивают высокую точность измерений ширины шва, глубины проплавления и других характеристик, что важно для контроля прочности и надежности сварных соединений.

Использование штангенциркуля с цифровой индикацией обеспечивает минимизацию случайной погрешности, связанной с опытом оператора и особенностями его зрения. Они удобнее и проще в использовании, но вместе с тем нониусные инструменты обладают следующими преимуществами:

1. Высокая точность – обеспечивают точные измерения, позволяя определить малейшие отклонения.
2. Независимость от источника питания – работают без батареек и аккумуляторов.
3. Меньшая цена – часто дешевле в покупке и обслуживании.
4. Простота конструкции – менее подвержены поломкам и неисправностям.
5. Долговечность – механические компоненты обеспечивают стабильную работу на протяжении долгого времени.
6. Отсутствие необходимости в калибровке – часто не требуют регулярной перенастройки.
7. Устойчивость к воздействиям – не боятся влаги и пыли, что делает их идеальными для сложных условий.
8. Совместимость с традиционными методами – легко интегрируются в существующие процессы.
9. Невосприимчивость к помехам - не подвержены электрическим или магнитным полям, что делает их идеальными для некоторых условий.

Нониусные приборы представляют собой надежное и экономичное решение для измерений в самых разных сферах. Их простота конструкции, долговечность и независимость от электропитания делают их особенно привлекательными в условиях, где важна устойчивость и точность измерений. Несмотря на рост популярности электронных устройств, нониусные приборы продолжают оставаться актуальными благодаря своим уникальным преимуществам, которые позволяют эффективно решать задачи без лишних затрат.

УДК 681

ДОСТОИНСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКИХ МАТРИЧНЫХ ДЕТЕКТОРОВ В ЦИФРОВОМ РАДИОГРАФИЧЕСКОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

Студенты гр. 11312121 Козлов А. С., Винник К. В.
Кандидат техн. наук, доцент Воробей Р. И., ст. преподаватель Куклицкая А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Гибкие матричные детекторы являются современным решением для радиографического неразрушающего контроля и открывают новые возможности в этой области. В отличие от традиционных плоскопанельных детекторов, которые имеют жесткую основу и ограничены в применении из-за своей конструктивной сложности и хрупкости, гибкие детекторы обладают уникальными преимуществами, существенно расширяя их область применения в различных сферах, включая промышленность и технику.

Цель научно-исследовательской работы – определить основные преимущества гибких матричных полупроводниковых детекторов и перспективные сферы их применения.

Одним из главных достоинств гибких матричных детекторов является их способность быть интегрированными в устройства с нестандартной формой и адаптированными под мобильные условия. Это особенно важно для радиографического контроля объектов сложной геометрии или

в труднодоступных местах, где традиционные жесткие детекторы не могут быть эффективно использованы. Их применение позволяет проводить неразрушающие испытания в полевых условиях или на объектах с ограниченным доступом, что значительно повышает мобильность и универсальность оборудования.

Гибкость и легкость таких детекторов также увеличивает их устойчивость к механическим повреждениям, что особенно актуально при работе в условиях с высокой степенью вибрации или загрязненности. Гибкие детекторы способны выдерживать внешние воздействия, такие как удары или перегибы, что повышает их долговечность и снижает риски повреждений. Это делает их идеальными для эксплуатации в различных сферах промышленности, где требуются регулярные и надежные проверки.

Снижение стоимости производства гибких детекторов благодаря современным технологиям, таким как печатные и нано структурные методы, делает их доступными для массового производства. Это значительно снижает затраты на радиографическое оборудование для неразрушающего контроля и расширяет их применение в различных отраслях, от аэрокосмической и автомобильной промышленности до энергетики и строительства.

Интеграция с искусственным интеллектом значительно повышает эффективность обработки данных, получаемых при радиографическом контроле. ИИ позволяет более точно и быстро выявлять дефекты, такие как трещины, коррозию или поры, и классифицировать их. Это ускоряет процесс диагностики и снижает вероятность человеческой ошибки, что особенно важно в критически важных отраслях, где безопасность играет решающую роль.

В итоге, гибкие матричные детекторы представляют собой прорыв в области радиографического неразрушающего контроля. Их преимущества – мобильность, устойчивость к повреждениям, компактность и интеграция с ИИ – делают их важным инструментом для повышения безопасности и качества на различных этапах производства, а также для улучшения процессов диагностики и мониторинга технического состояния объектов. Самыми перспективными сферами применения являются аэрокосмическая и автомобильная промышленность, энергетика.

УДК 681

ПОРТАТИВНЫЙ ТВЕРДОМЕР В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

Студенты гр. 11312121 Козлов А. С., Винник К. В.
Кандидат техн. наук, доцент Ризноокая Н. Н., ст. преподаватель Куклицкая А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Основным недостатком традиционных методов измерения твердости является их ограниченная мобильность и сложность в использовании на крупных или сложно конфигурированных объектах. Это особенно актуально при контроле твердости трубопроводов, сварных соединений и других сложных конструкций, где стандартные стационарные приборы не всегда удобны. В связи с этим разработка портативных и удобных в применении твердомеров является актуальной задачей.

Цель – разработать методику контроля твердости материалов с использованием прибора ТПЦ-7. ТПЦ-7 изготовленный ИПФ НАН РБ представлен на рисунке 1 [1].

Портативный твердомер ТПЦ-7 предназначен для неразрушающего измерения твердости изделий из углеродистых конструкционных сталей по шкалам Бринелля, Роквелла и Виккерса. Помимо этого, твердомер ТПЦ-7 обладает малыми габаритными размерами и массой, а также позволяет проводить измерения при произвольной ориентации твердомера в пространстве [1].

Методика применения ТПЦ-7 включает следующие этапы: установка прибора на контролируемый объект, проведение измерения с использованием встроенного датчика. передача и анализ данных с помощью специализированного программного обеспечения, интерпретация полученных результатов для оценки качества материалов.



Рис. 1. Портативный твердомер ТПЦ-7 ИПФ НАН РБ

На основе разработанной методики были проведены измерения твердости различных чугунов, которые позволяют адаптировать данный метод для измерения твердости разных видов чугуна. В результате работы были получены корректирующие коэффициенты и доказана возможность применения метода для измерения твердости чугуна.

Современное развитие ИИ позволяет расширить возможности использования данного твердомера на многие группы материалов. Полученные данные позволяют обучить модель искусственного интеллекта для автоматизации обработки данных и получения более точных результатов измерения твердости.

Предложенная методика позволяет получать точные данные о твердости материала в кратчайшие сроки и использовать прибор в широком спектре промышленных задач.

Литература

1. Институт прикладной физики НАН Беларусь. Твердомер ТПЦ-7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://iaph.bas-net.by/tverdomer-tpc-7/. – Дата доступа: 12.03.2025.

УДК 681.786

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ РАДИОМОДУЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Студент гр. 141301 Корецкий Д. М.[1]
Кандидат техн. наук, доцент Здоровцев С. В.[2]
[1]Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
[2]ОАО «МНИПИ» Минск, Беларусь

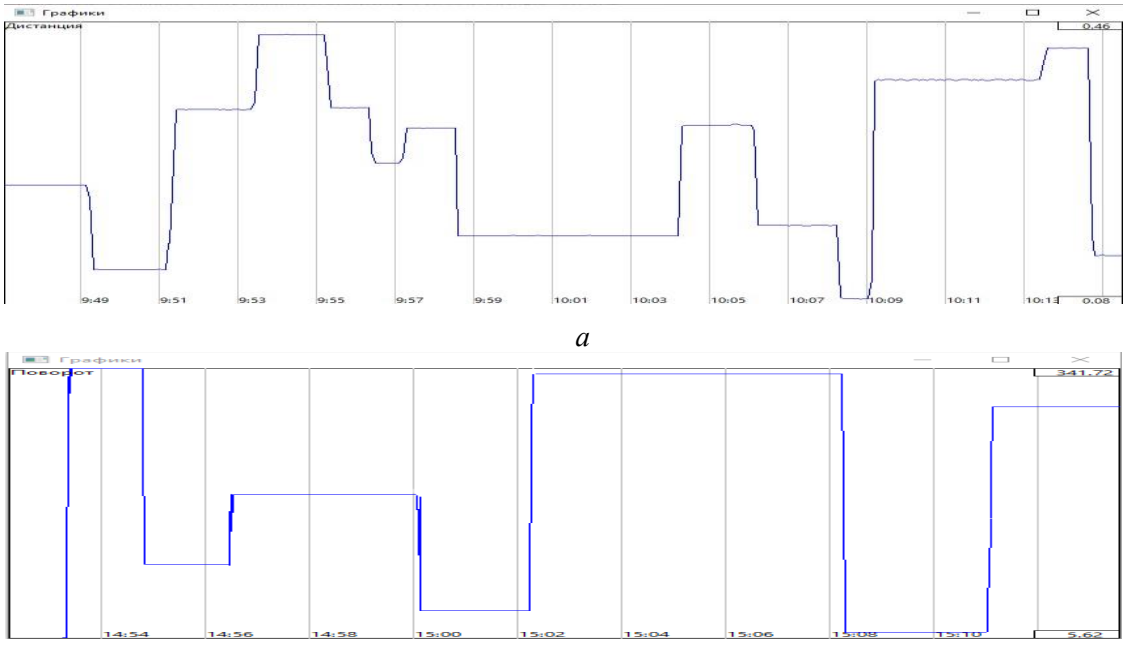
Для контроля положения подвижных объектов широко используются оптические приборы, позволяющие определять положение объектов при их линейном и угловом перемещении. При контроле линейного перемещения объектов широкое распространение получили лазерные дальномеры, а также различные системы контроля и обеспечения безопасности на основе лазерных датчиков. Для контроля углового перемещения объектов часто используются оптические энкодеры и различные устройства на их основе.

В работе представлены результаты исследования беспроводной системы контроля положения объектов (БСК) при их линейном и угловом перемещении. В состав системы входят: сенсорные блоки контроля перемещения объектов (СБК), блок регистрации данных (БРД), включающий радиопередающий модуль для передачи данных на удаленный ПК; радиомодем, подключаемый к ПК, для приема данных, поступающих с БРД.

В качестве сенсорного элемента для контроля линейного перемещения объектов использован лазерный модуль M701A с широким диапазоном измерения расстояния (от 0,03 до 40 м) и высо-

кой точностью измерения (±1,0 мм) [1]. Для контроля углового перемещения объектов использован оптический энкодер ENS1J-B28-L00256L с количеством импульсов на оборот – 265 [2]. Примененный в БСК радиомодуль обеспечивает беспроводный дистанционный контроль положения объектов на расстоянии до 500 м.

На рис. 1 представлены информационные окна удаленного ПК БСК, отображающее динамику изменения положения повижного объекта при линейном *а* и угловом *б* перемещении.



а

б

Рис. 1. Динамика изменения положения повижного объекта:
а – при линейном перемещении; *б* – при угловом перемещении

Литература

1. Лазерный дальномер армейский промышленный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.jrt-measure.com/industrial-laser-distance-sensor/57215216.html. – Дата доступа: 12.02.2025.

2. ENS1J-B28-L00256L [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://imrad.com.ua/ru/ens1j-b28-l00256l. – Дата доступа: 12.02.2025.

УДК 681

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ И ФЕРРИТА» МОСТОВЫМ МЕТОДОМ

Студент гр.11312122 Крюков А. Н.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы. Целью работы являлась разработка методики измерения составляющих μ1 и μ2 комплексной магнитной проницаемости:

$$\mu^* = \mu_1 - i\mu_2, \quad (1)$$

мостовым методом в зависимости от частоты, а также анализ вклада процессов смещения доменных границ и вектора намагниченности процесса перемагничивания металлических ферромагнетиков и ферритовых диэлектриков.

Порядок выполнения. В ходе работы разработан порядок выполнения работы, включающий в себя следующие операции:

1. На тороидальном образце трансформаторной стали с известными размерами и числом витков измерительной обмотки мостовым методом измеряется модуль комплексного сопротивления Z:

$$Z = \omega L, \quad (2)$$

где L – индуктивность, ω – циклическая частота. Таким же методом определяем и фазовый угол φ в диапазоне частот от 50 до 5 × 104 Гц.

2. На тороидальном образце никель–цинкового феррита с известными размерами и числом витков измерительной обмотки мостовым методом измеряется модуль комплексного сопротивления и фазовой угол, в диапазоне частот от 50 до 5 × 104 Гц.

3. Действительная и мнимая составляющие комплексной магнитной проницаемости обоих образцов и также угла магнитных потерь вычисляются по следующим формулам:

$$\mu_1 = \frac{L'}{L_0}, \quad (3)$$

$$L' = \frac{Z}{\omega}\sin\varphi, \quad (4)$$

$$\mu_2 = \frac{L''}{L_0}, \quad (5)$$

$$L'' = \frac{Z}{\omega}\cos\varphi, \quad (6)$$

$$\mathrm{tg}\delta_м = \frac{\mu_1}{\mu_2}. \quad (7)$$

4. Строятся графики зависимости $\mu_1 = f(\lg \nu)$, $\mu_2 = f(\lg \nu)$, $\mathrm{tg}\delta_м = f(\lg \nu)$.

На основании выполненных исследований проведена оценка величины магнитной проницаемости исследуемых материалов, связанная со смещением доменных границ и вращениям доменов.

Литература

1. Мостовые измерения, типы мостов, измерительные схемы // Школа для электрика. – Режим доступа: https://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/1436-mostovye-izmerenija.html. – Дата доступа: 12.02.2025.

2. Электростатика. Постоянный электрический ток: учеб. пособие / В. С. Кунаков, И. В. Мардасова, О. М. Холодова и др. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2010. – 66 с.

УДК 004.82.343

ОБНАРУЖЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Студенты гр. 11305124 Малиновская П. В., Смоляная В. В.
Кандидат. физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Мошенничество – это серьезная проблема, которая затрагивает многие области, включая финансовый сектор, страхование и здравоохранение. С развитием технологий и ростом объема данных традиционные методы выявления мошенничества становятся менее эффективными. Искусственный интеллект предоставляет инструменты для анализа данных и предотвращения мошенничества в реальном времени.

Ключевые компоненты ИИ-систем для выявления мошенничества (табл. 1):

1. Сбор и обработка данных: для работы ИИ-системы необходимо собирать и обрабатывать данные из различных источников. Это могут быть транзакции, поведенческие данные и т. д.

2. Модели машинного обучения: машинное обучение (ML) – ключевой компонент современных систем обнаружения мошенничества. Эти алгоритмы обучаются на исторических данных для выявления сложных и скрытых закономерностей, указывающих на мошеннические действия.

3. Анализ аномалий: выявление аномалий – это определение отклонений от нормального поведения. Этот метод полезен для обнаружения новых, ранее неизвестных схем мошенничества.

В бизнес-секторе понимают важность и перспективы систем защиты платежей, построенных на технологии искусственного интеллекта. Компании внедряют различные ИИ-решения, направленные на помощь в мгновенном выявлении мошеннических случаев и повышении общего уровня безопасности платежей:

VISA. Один из крупнейших в мире поставщиков платежных услуг внедрил усовершенствованную систему авторизации VISA Advanced Authorization и полностью перевел анализ данных на ИИ-механизмы. В результате корпорация сэкономила $25 миллиардов, которые могли быть похищены мошенниками.

Табица 1 – Эффективность методов обнаружения мошенничества [1]

Метод	Преимущества	Недостатки
Машинное обучение	Высокая точность, быстрая адаптация	Требует много данных
Глубокое обучение	Обработка сложных данных	Высокие вычислительные затраты
Анализ аномалий	Выявление неожиданных паттернов	Может дать ложные срабатывания

Spotify. Алгоритмы анализируют поведение пользователей, чтобы находить ботов и поддельные аккаунты. В результате удаление тысяч фальшивых аккаунтов и предотвращение искусственного увеличения популярности музыкантов.

Tesla. При оформлении страхования автомобилей Tesla алгоритм анализирует данные о стиле вождения, чтобы исключить поддельные претензии по страховым случаям. В результате – снижение количества мошеннических страховых заявлений и оптимизация страховых тарифов для пользователей.

Применение ИИ в борьбе с мошенничеством открывает новые возможности для обнаружения и предотвращения преступных действий в онлайн-среде. Однако, необходимо развивать эти технологии таким образом, чтобы они соответствовали этическим и юридическим принципам и обеспечивали безопасность и конфиденциальность пользователей в интернете.

Литература

1. ИИ против онлайн мошенничества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cgon.rospotrebnadzor.ru/naseleniyu/gramotnyy-potrebitel/ii-protiv-onlayn-moshennichestva/. – Дата доступа: 12.02.2025.

УДК 681

СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВИДЕОКАМЕР

Студенты Мелюх Н. С., Веселовский В. А., Лычковский В. А.
Кандидат техн. наук Исаев А. В., ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном мире использование видеокамер в различных сферах деятельности человека является неотъемлемым элементом, охватывая задачи от видеоконференцсвязи до охранных систем [1]. Для разных целей разработаны соответствующие технологии, среди которых выделяются два основных типа: статичные и PTZ-камеры.

Статичные видеокамеры используются для мониторинга конкретной зоны, не требуя изменения угла поворота или направления съемки. Такие камеры не оснащены механизмами, изменяющими положение объектива, что делает их более экономичным решением для заказчиков [2]. Они применяются в офисах, магазинах, на складах и парковках, где важно постоянное наблюдение за фиксированной областью.

В ситуациях, где необходима динамическая настройка угла обзора, управление направлением съемки или изменение объекта наблюдения, используются PTZ-камеры (Pan-Tilt-Zoom). Эти устройства позволяют дистанционно управлять поворотом, наклоном и зумированием, обеспечивая охват больших территорий и детализированное наблюдение за объектами [1]. PTZ-камеры востребованы в аэропортах, на стадионах, в охранных системах и при проведении видеоконференций.

PTZ-камеры оснащены механизмами, обеспечивающими их подвижность и функциональность:

1. Поворотный механизм (Pan) – отвечает за горизонтальное вращение камеры. Реализуется с помощью шаговых электродвигателей, обеспечивающих точное и плавное перемещение камеры в горизонтальной плоскости [1].

2. Наклонный механизм (Tilt) – регулирует вертикальное движение камеры. Подобно поворотному механизму, он использует шаговые двигатели для точного позиционирования в вертикальной плоскости [1].

3. Механизм зумирования (Zoom) – отвечает за изменение фокусного расстояния объектива, позволяя приближать или отдалять изображение. Реализуется как оптическим способом (путем перемещения линз внутри объектива), так и цифровым методом (с использованием программной обработки изображения) [3].

Основным недостатком современных PTZ-камер это практически невозможность использования систем позиционирования с нештатным оборудованием, а также плохая согласованность таких систем на программном уровне. Поэтому достаточно актуальной задачей является создание некой автономной платформы с собственным алгоритмом управления, позволяющей установку на нее любого соответствующего оборудования без несения дополнительных материальных затрат.

Управление движением разрабатываемых систем позиционирования видеокамерами может осуществляться с помощью специализированных контроллеров, пультов дистанционного управления на основе соответствующего программного обеспечения. В результате чего в системах видеонаблюдения камеры смогут автоматически работать по заранее заданным маршрутам, а в видеоконференцсвязи – настраиваться на активного участника встречи [3].

Литература

1. PTZ-камера [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://trueconf.ru/blog/wiki/ptz-kamera. – Дата доступа: 06.03.2025.

2. Оборудование для видеоконференций – купить в интернет-магазине Unitsolutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unitsolutions.ru. – Дата доступа: 06.03.2025.

3. Защищенная видеоконференцсвязь и корпоративный мессенджер Труконф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://trueconf.ru. – Дата доступа: 06.03.2025.

УДК 681

ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты Мелюх Н. С., Веселовский В. А., Фомаиди А. Ю., Лычковский В. А.
Кандидат техн. наук Исаев А. В., ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные системы видеонаблюдения играют важную роль в обеспечении общественной безопасности, снижении уровня преступности и повышении эффективности расследований. Видеокамеры устанавливаются как в общественных местах, так и в частных владениях, обеспечивая контроль за происходящими событиями в режиме реального времени и создавая доказательственную базу при расследовании правонарушений. В мире наблюдается рост использования систем видеонаблюдения, и статистические данные подтверждают их эффективность.

Наличие видеокамер в общественных местах и жилых районах способствует снижению преступности. В Москве, например, в 2021 году благодаря видеокамерам было раскрыто 6,8 тыс. преступлений, а в 2022 году это число увеличилось до 9,1 тыс., что подтверждает растущую эффективность систем видеонаблюдения. В целом, использование видеокамер приводит к сокращению преступлений, поскольку потенциальные нарушители осознают вероятность быть опознанными и привлеченными к ответственности.

В Беларуси также наблюдается активное развитие систем видеонаблюдения. В 2021 году в стране насчитывалось около 700 камер, а в 2024 году – 35 тысяч [1]. Этот рост сопровождается снижением количества преступлений в общественных местах: в 2017 году было зафиксировано 19,6 тыс. правонарушений, а в 2018 году – уже 18,8 тыс. [2].

Системы видеонаблюдения значительно повышают качество расследования преступлений, обеспечивая следственные органы точными записями событий. Видеозаписи позволяют восстанавливать ход событий, идентифицировать подозреваемых и проверять показания свидетелей, что повышает объективность следственных действий. По данным МВД Беларуси, с помощью видеокамер в стране было раскрыто почти 2,5 тыс. преступлений.

В Минске новая система видеомониторинга, запущенная в 2022 году, уже за короткий срок способствовала раскрытию более 40 преступлений. Эти примеры демонстрируют, что современные технологии видеонаблюдения позволяют правоохранительным органам оперативно реагировать на инциденты и повышать раскрываемость преступлений.

Кроме снижения уровня преступности и повышения эффективности расследований, видеонаблюдение обладает рядом других преимуществ:

1. Профилактика правонарушений. Наличие камер само по себе является сдерживающим фактором, снижая вероятность совершения преступлений.

2. Повышение общественной безопасности. Камеры позволяют контролировать ситуацию в местах массового скопления людей, предотвращая беспорядки и аварийные ситуации.

3. Защита собственности. Видеозаписи используются для расследования случаев краж, вандализма и других правонарушений, что повышает уровень защиты частных владений и бизнеса.

4. Контроль за дорожным движением. Видеокамеры помогают фиксировать нарушения ПДД, что способствует снижению аварийности на дорогах.

Развитие и внедрение систем видеонаблюдения оказывают значительное влияние на безопасность общества. Статистика показывает, что в странах, активно использующих камеры, наблюдается снижение уровня преступности и повышение раскрываемости правонарушений. Видеозаписи становятся не только инструментом контроля, но и важной доказательственной базой при расследованиях. Однако для максимальной эффективности необходимо учитывать такие факторы, как грамотное размещение камер, их технические характеристики и интеграция с другими элементами системы безопасности. Современные технологии позволяют правоохранительным органам более эффективно выполнять свои задачи, обеспечивая защиту граждан и их имущества.

Литература

1. В Беларуси благодаря камерам видеонаблюдения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belnovosti.by/obshchestvo/v-belarusi-blagodarya-kameram-videonablyudeniya-raskryto-okolo-2-tys-prestupleniy. – Дата доступа: 04.03.2025.

2. Видеокамеры помогли раскрыть более 2 тыс. преступлений в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://minsknews.by/videokamery-pomogli-raskryt-bolee-2-tys-prestuplenij -v-belarusi. – Дата доступа: 04.03.2025.

УДК 621.313.333

МЕЖВИТКОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБМОТОК

Ассистент Мирош Д. В.
Кандидат техн. наук, доцент Галушко В. Н.
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

Внедрение технической диагностики в настоящее время позволяет более точно устанавливать прогрессивные межремонтные сроки, предупреждать аварийные износы и повреждения [1]. Невмешательство в работу исправно действующего оборудования является важным приоритетным направлением при эксплуатации вращающихся электрических машин.

В ходе деятельности по установлению закономерностей для заранее подготовленных неисправностей на базе Белорусского государственного университета транспорта были проведены измерения по методу трех вольтметров с применением генератора низких частот. В ходе эксперимента рассматривалось влияние различных неисправностей: межвиткового короткого замыкания, межфазного замыкания, замыкание обмотки на корпус. Самым значимым является исследование характера межвиткового короткого замыкания. Остальные неисправности на практике проявляются не так часто, о чем свидетельствует анализ авторов в [1], однако в целях создания корректной многофункциональной и высокоэффективной сверточной нейронной сети необходимо обработать все возможные сценарии изменения параметров, соответствующих неисправному состоянию обмотки статора. Примеры применения нейросетей указаны в [2] и [3]. На рисунке 1 представлена диаграмма изменения характера кривой полного сопротивления для обмотки с установленным межвитковым замыканием в фазе «В» при протекании токов на частотах

от 10 до 50 кГц. Изменение формы сигнала позволяет оценить влияние установленного дефекта на обмотку и обучить нейронную сеть обнаруживать подобные дефекты.

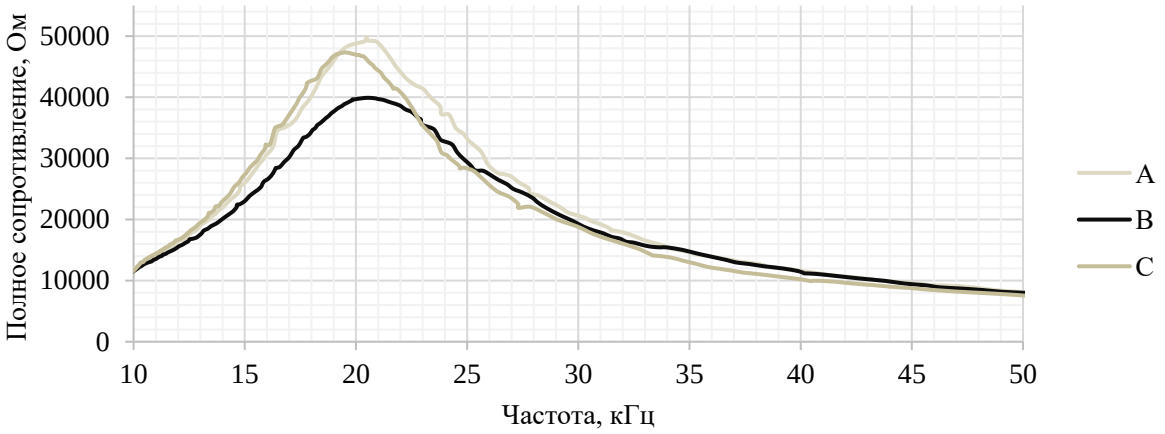


Рис. 1. Характер изменения полного сопротивления от частоты
для обмоток асинхронного электродвигателя

Литература

1. Мирош, Д. В. Нейронные сети в диагностике. Анализ неисправностей асинхронных двигателей железнодорожной отрасли и их диагностика на базе искусственного интеллекта / Д. В. Мирош, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2023. – № 4. – С. 30–32.

2. Мирош, Д. В. Нейросетевая обработка параметров состояния асинхронных двигателей при межвитковом замыкании / Д. В. Мирош // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2024. – № 3(51). – С. 105–115.

3. Галушко, В. Н. Диагностирование электродвигателей методом контроля отношений токов статора / В. Н. Галушко, Д. В. Мирош // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2024. – Т. 1. – С. 19–21.

УДК 681.2.08

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ДВУХ ТЕРМОПАР В ОДНОЙ ТОЧКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Аспирант Мороз А. С.
Кандидат техн. наук, доцент Тявловский А. К.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Термопары типа К широко применяются в промышленности благодаря широкому температурному диапазону и надежности. Однако их точность может снижаться из-за шумов, дрейфа и различий в динамических характеристиках. Решением становится использование двух термопар типа К в одной точке измерения, отличающихся толщиной проволоки и типом конструкции (например, заземленная и незаземленная). Это позволяет компенсировать индивидуальные недостатки датчиков, а применение нейросетей для обработки данных повышает достоверность результатов.

Использование двух термопар типа К в одной точке измерения температуры, отличающихся толщиной проволоки и типом конструкции, основано на компенсации их физических ограничений. Термопары с тонкой проволокой (диаметром 0,25–0,5 мм) обладают меньшей тепловой инерцией, что обеспечивает быстрое время отклика (до 0,1–0,5 с, что очень критично в газовых средах), но подвержены сильному температурному дрейфу, более подвержены деградации при окислении, электромагнитным помехам и механическим повреждениям. Толстые проволоки (1,0–1,5 мм) демонстрируют стабильность в условиях вибраций и меньше дрейф термоЭДС, но их время реакции может достигать 2–5 с.

Дополнительное различие в типе конструкции (заземленная vs. незаземленная термопара) влияет на уровень шумов и устойчивость к коррозии. Например, заземленные датчики быстрее передают тепловую энергию, но подвержены паразитным токам в проводящих средах, тогда как изоляция уменьшает помехи, вызванные паразитными токами, но защитная изолирующая оболочка сильно увеличивает отклик на изменение температуры.

Парная установка термопар позволяет:

– фильтровать высокочастотные шумы – используя данные «медленного» толстопроволочного датчика как опорные для коррекции «быстрого» тонкопроволочного;

– устранять дрейф – долгосрочные тенденции толстопроволочной термопары компенсируют краткосрочные погрешности тонкой (выявляя аномалии в показаниях одного датчика на основе тенденций другого) [2];

– повышать надежность – при выходе одного датчика из строя, система будет получать данные с резервного. Исключит критескую неисправность системы при неправильной полярности подключении одного из датчиков [3].

Подход актуален в энергетике, металлургии и аэрокосмической отрасли, где критична точность измерений в условиях вибраций, агрессивных сред или резких температурных скачков. Например, в турбинах одновременный мониторинг через два датчика позволяет прогнозировать перегрев.

Заключение.

Комбинация двух термопар типа К с разными параметрами и нейросетевой обработкой создает надежную систему мониторинга. Это снижает риски ошибок и расширяет возможности прогнозной аналитики в реальном времени. Двойная установка термопар типа К с разными параметрами – это не избыточность, а инженерная оптимизация. Данные подход подтвержден экспериментами, где совместное использование разнотипных датчиков и нейросетей обеспечивает точность, недостижимую для одиночных и независимых измерительных систем.

Литература

1. Manual on the Use of Thermocouples In Temperature Measurement, Fourth Edition. – Revision of ASTM Special Publication 470B, Philadelphia, PA. – 1993. – 275 p.

2. Hysteresis effects and strain-induced homogeneity effects in base metal thermocouples / Pavlasek P. [et al.] // International Journal of Thermophysics. – 2015. – Vol. 36. – P. 467–481.

3. Мороз, А. С. Повышение точности и надежности нормирующего преобразователя сигналов термопар = Improving the accuracy and reliability of the normalizing thermocouple signal converter / А. С. Мороз, А. К. Тявловский // Приборостроение–2021: материалы 14-й Международной научно-технической конференции, 17–19 ноября 2021 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 114–116.

УДК 621

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Студент гр. 31303121 Поляков К. О.
Ст. преподаватель Ломтев А. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Анализатор многоканальный для диагностики цифро-аналоговых сигналов и последовательно – параллельных интерфейсов предназначен для визуального наблюдения и исследования электрических сигналов путем:

– измерения амплитудных и временных параметров исследуемого сигнала;

– одновременного изображения шестидесяти четырех исследуемых сигналов на одной развертке;

– изображения функциональных зависимостей между двумя сигналами в режиме X–Y.

Число каналов вертикального отклонения – шестьдесят четыре.

Измерение напряжений в диапазоне от 2,5 В до 15 В. Наблюдение напряжений от 2,5 В до 15 В.

Нормальные условия эксплуатации: температура окружающей среды (20 + 5) °С, относительная влажность (30–80) %, атмосферное давление (630–795) мм рт. ст.

Рабочие условия эксплуатации: температура – от минус 30 °С до плюс 50 °С, относительная влажность до 98 % при температуре до +35 °С.

Прибор нормально работает после воздействия (в укладочном ящике) ударных нагрузок:

– многократного действия с ускорением до 15g и длительностью импульса от 5 до 10 мс;

– одиночного действия с ускорением до 75g и длительностью от 1 до 10 мс.

Прибор имеет шестьдесят четыре канала, выводит внешний вид аналогового и цифрового сигнала на экран, делает необходимые вычисления по полученным осциллограммам. Эти две последние задачи выполняет IBM PC-совместимый компьютер, подает оцифрованный сигнал, полученный с одного из шестидесяти четырех каналов в порт компьютера.

Функционально анализатор состоит из блока выборки номера измеряемого канала и блока управления и обработки. В процессе измерения выбирается один из 64 каналов, причем, сначала выбирается группа, к которой принадлежит анализируемый канал, а затем сам канал. То есть выбор происходит за два этапа. Это дает возможность согласовать схему выбора канала. Измеряемый сигнал преобразуется в цифру и передается в персональный компьютер.

Прибор может одновременно обрабатывать до шестидесяти четырех каналов с частотой до 150 кГц. Максимальная амплитуда входного сигнала доходит до тридцати вольт. Также следует отметить простоту построения, а как следствие – простоту эксплуатации, надежность и ремонтопригодность.

Блоки предварительной выборки каналов и выбора конечного канала используются для выбора канала измерения. Так как нам необходимо подключить один из 64 каналов, то мы используем восемь блоков предварительной выборки каналов (ПВК) по восемь в каждом включая нужный во время выборки. Затем из этих восьми каналов происходит выбор конечного канала измерения блоком идентичным этим восьми (ВКК).

Таким образом, сначала происходит выбор одного из восьми каналов в блоке предварительной выборки канала, а затем выбирается непосредственно один из этих блоков в блоке выбора конечного канала.

Работа анализатора происходит следующим образом. Программно в порт компьютера записывается управляющее слово. Затем блок управления включает блок управления записью/чтением на запись. В порт записывается управляющее слово, которое отвечает за выбор канала и устанавливает коэффициент деления на управляемом делителе напряжения. Затем блок управления выключает блок управления записью и происходит передача данных (чтение).

УДК 541

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Студент гр. 11310223 Пролиско Д. А.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью работы является изучение методик измерения коэффициента теплопроводности. В работе проведен обзор литературы в области термохимии. Особое внимание направлено на метод стационарного теплового потока. Под теплопроводностью понимается процесс переноса тепловой энергии в теле за счет градиента температур.

Метод стационарного теплового потока (СТП) предназначен для изучения зависимости коэффициента теплопроводности (λ) пластин. У пластин разный тип проводимости. Суть метода заключается в том, что через исследуемый образец и два эталона пропускается температурный поток. У эталонов значения теплопроводности известны. Затем измеряются температуры на границах образца и эталонов. По разности температур вычисляется теплопроводность образца.

Для математического обоснования этого метода, моделируют систему, состоящую из N-плоскопараллельных пластин, которые скреплены между собой. Для исключения потери тепла на границах пластин считается, что тепловой контакт между пластинами идеальный; температура в системе не зависит от времени; тепло распространяется только вдоль оси z (рис. 1).

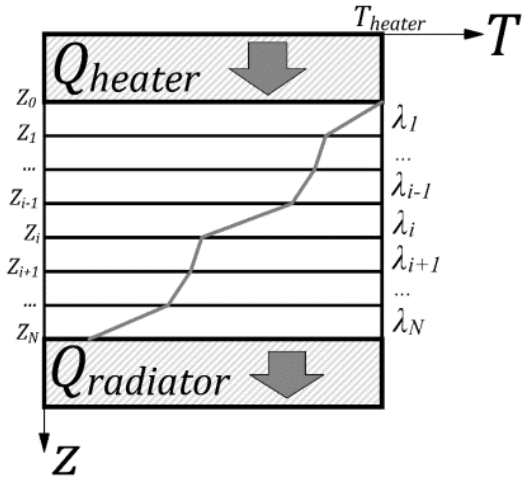


Рис. 1. Распределение температуры в системе

Тогда уравнение для трехслойной системы (образец между двумя эталонами) будет выглядеть следующим образом:

$$\lambda_{\text{образца}} = \lambda_{\text{эталона}} \frac{\Delta T_{\text{эталона}} d_{\text{образца}}}{\Delta T_{\text{образца}} d_{\text{эталона}}}. \quad (1)$$

У этого метода есть ряд ограничений. Геометрические:

1. Литеральные размеры (длина и ширина) образца и эталонов должны совпадать для равномерного распределения тепла.

2. Толщина образца должна быть мала относительно ширины или длины, чтобы избежать боковых потерь. Для того, чтобы повысить точность измерения, рекомендуется использовать вакуум. Это позволит пренебречь теплообменом с окружающей средой.

Теплопроводность эталона должна быть близкой к теплопроводности образца. При несовпадении теплопроводности, нужно изменять толщину эталона.

Нагреватель и радиатор должны иметь высокую теплоемкость.

Литература

1. Дорохин, М. В. Измерение коэффициента теплопроводности методом стационарного теплового потока / М. В. Дорохин, А. В. Здоровейщев, Ю. М. Кузнецов. – Н. Новгород, 2019. – 45 с.

УДК 681

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УЗЛА ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СИГНАЛОВ ОПОВЕЩЕНИЯ РЕЧЕВОГО ОПОВЕЩАТЕЛЯ С РАДИОКАНАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Студент гр. 11301121 Пряжко А. В.
Кандидат техн. наук Исаев А. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы заключается в разработке электрической принципиальной семы устройства, алгоритма выполнения программы микропроцессор и самой программы.

Разрабатываемый в данной работе узел является речевым оповещателем – техническим устройством, предназначенным для воспроизведения речевых сообщений.

Информационно-измерительная система строится на основе следующей элементной базы: микропроцессор AT89C2051-12SU; речевая микросхема ISD1420; модуль приемника радиомодуля RF-5V; 12-ватный звуковой усилитель производства SGS Thomson Microelectronic TDA2008; трехконтактный линейный регулятор напряжения производства Texas Instruments LM317 и др. [1].

Основные характеристики микропроцессора AT89C2051-12SU [2]: тип корпуса – 20 DIP; 2 кбайт программируемой Flash-памяти; 15 программируемых линий ввода/вывода; наличие последовательных порта ввода и порта вывода; напряжение питания 2,7–6 В; простая схема организации внешнего генератора тактовых импульсов; максимальная тактовая частота 12 МГц; потребляемый ток: в активном режиме (12 МГц, 6 В/ 3 В – 15/5,5 мА), в режиме ожидания (12 МГц, 6 В/ 3 В – 5/1 мА).

Программная часть написана с использованием языка программирования макроассемблер A51 для микропроцессоров семейства MCS-51 с учетом особенностей реализации микропроцессора AT89C2051 [3]. Структурно программная часть состоит из трех частей:

– основной программы;

– обработчика прерывания по передаче/приему байта по последовательному интерфейсу;

– обработчика прерывания по изменению сигнала на линии T0 порта ввода/вывода P3.

При включении питания микропроцессора получает управление основная программа. Основная программа производит процедуру инициализации подготавливая микропроцессор к работе.

После выполнения инициализации основной программой микропроцессор находится в ожидании приема байта данных последовательному интерфейсу.

При поступлении байта последовательных данных на линию RxD микропроцессора происходит его прием и размещение в регистре SBUF, в регистре SCON устанавливается бит RI признака приема данных по последовательному интерфейсу, в микропроцессоре возникает прерывание по приему байта по последовательному порту и управление передается соответствующему обработчику.

Микропроцессор находится в состоянии ожидания завершения воспроизведения речевого сообщения. При достижении метки конца речевого сообщения речевая микросхема формирует на выходе RECLED кратковременный сигнал низкого уровня, который по переходу из 1 в 0 вызывает прерывание по изменению сигнала на линии T0 порта ввода/вывода P3 и управление передается соответствующему обработчику.

Разрабатываемое устройство использует одни радиоканал диапазоном 432-433 МГц и не требует для записи речевых оповещений применения программатора. Применение речевой микросхемы вместе с микрофоном позволяет записывать новые оповещений при непосредственной работе с оповещателем, не разбирая корпус.

Литература

1. Is the biggest online electronic component datasheets search engine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// www.alldatasheet.com. – Дата доступа: 22.09.2024.

2. Микропроцессоры. Микроконтроллеры фирмы Atmel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// dims.petrsu.ru. – Дата доступа: 19.09.2024.

3. Микропроцессоры серии 8051: практический подход / Ю. С. Магда. – Москва: ДМК Пресс, 2008. – 228 с.

УДК 681

КОНСТРУКЦИЯ СИГНАЛИЗАТОРА ЗАГАЗОВАННОСТИ

Студент гр. 11301121 Пряжко А. В.
Ст. преподаватель Третьяк И. Б.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью работы является разработка конструкцию сигнализатора загазованности для газораспределительных станций для обнаружения сжиженного газа с климатическим исполнением В2 и корпусной защитой IP55. Сигнализатор автономный, светозвуковой.

Сигнализатор состоит из трех разъемных узлов (рис. 1), которые соединяются в корпусе сигнализатора: преобразователь газовый универсальный, оповещатель светозвуковой, аккумулятор.

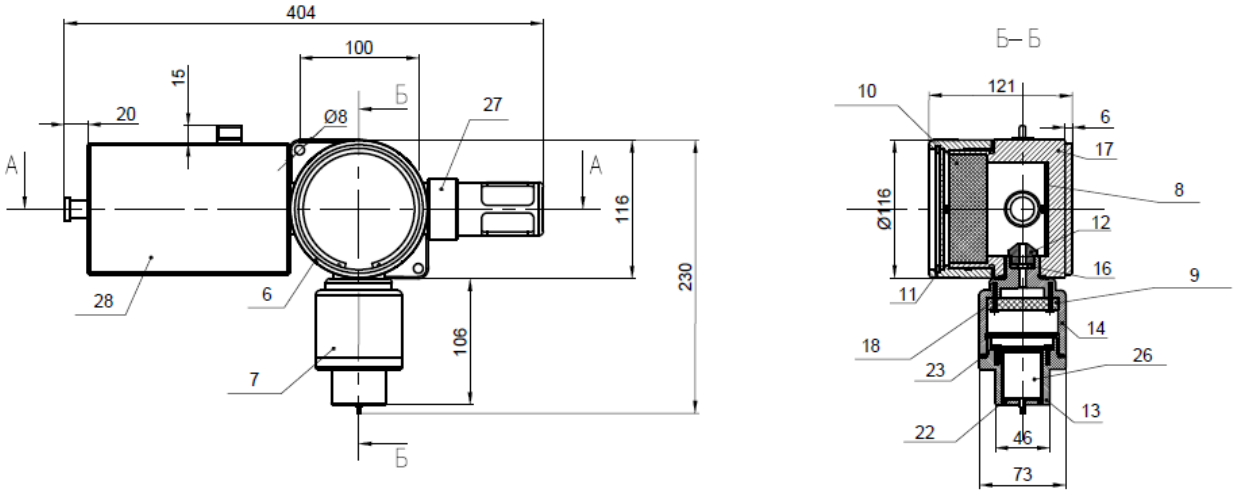


Рис. 1. Сигнализатор загазованности [1]

Конструкция сигнализатора представляет собой разъемное устройство, состоящее из корпуса и крышки, полученных литьем и механнообработкой на токарных станках из сплава нержавеющей термостойкой стали 03Х17Н14М3 ГОСТ 5632-72. Крышка и корпус соединяются с помощью резьбы М100-1,5. Для обеспечения герметичности устройства между ними используется кольцо уплотнительное 118-115-25 ГОСТ 9833-73 из силиконовой резины.

Преобразователь газовый универсальный представляет собой разъемное устройство, состоящее из крышки и корпуса, полученных механнообработкай на токарных станках из сплава нержавеющей термостойкой стали 03Х17Н14М3 ГОСТ 5632-72. Они соединяются с помощью резьбы М60х1,5. Для обеспечения герметичности устройства между корпусом и крышкой используется кольцо уплотнительное 065-070-30 ГОСТ 9833-73 из силиконовой резины. ПГУ крепится к корпусу прибора с помощью резьбы М30×1,5.

В качестве оповещателя светозвукового используется готовое изделие СЗО-20 с соответствующей IP55 или выше защитой, материалом корпуса из сплава 03Х17Н14М3 ГОСТ 5632-72, с резьбовым соединением М30×1,5, возможностью подогрева электронных элементов при низких температурах и др. техническим характеристика сигнализатора.

В качестве источника питания используется готовое изделие ВИП-АКБ [2], обладающее корпусом IP55 или выше, материалом корпуса из сплава 03Х17Н14М3 ГОСТ 5632-72, с резьбовым соединением М30×1,5, напряжением 24 В.

Данная конструкция позволяет обеспечить работу сигнализатора в условиях всеклиматического исполнения В2 при рабочих температурах минус 60–50 °С.

Литература

1. ПОЖГАЗПРИБОР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// pozhgazpribor.ru. – Дата доступа: 10.09.2024.

2. ГОРЕЛТЕХ. Завод взрывозащищенного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// exd.ru. – Дата доступа: 12.09.2024.

УДК 681

СИСТЕМА ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ОПОВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПКП ЗАО НВП БОЛИД

Студент гр. 11301121 Пряжко А. В.
Кандидат техн. наук Исаев А. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы – разработка централизованной адресно-аналоговой системы пожарной сигнализации и системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре типа CO_4 для первого этажа художественного музея.

Разработанная система состоит из: пульт управления С2000М [1]; контроллер двухпроводной линии связи С2000-КДЛ; модуль речевого оповещения Рупор-200; блок сигнально-пусковой С2000-СП1 исп.1; устройство оконечное объектовое системы передачи извещений «Молния»; оповещатель пожарный речевой настенный ОПР-С120.1; оповещатель световой табличный адресный С2000-ОСТ; извещатель пожарный тепловой максимально-дифференциальный С2000-ИП-03; извещатель пожарный ручной адресный ИПР 513-3АМ; адресный расширитель С2000-АР8; адресный расширитель С2000-АР2 исп.02; извещатель пожарный дымовой электроиндукционный ИП 216-02 [2]; блок разветвительно-изолирующий БРИЗ; резервный источник питания РИП-12 исп. 06 (рис. 1).

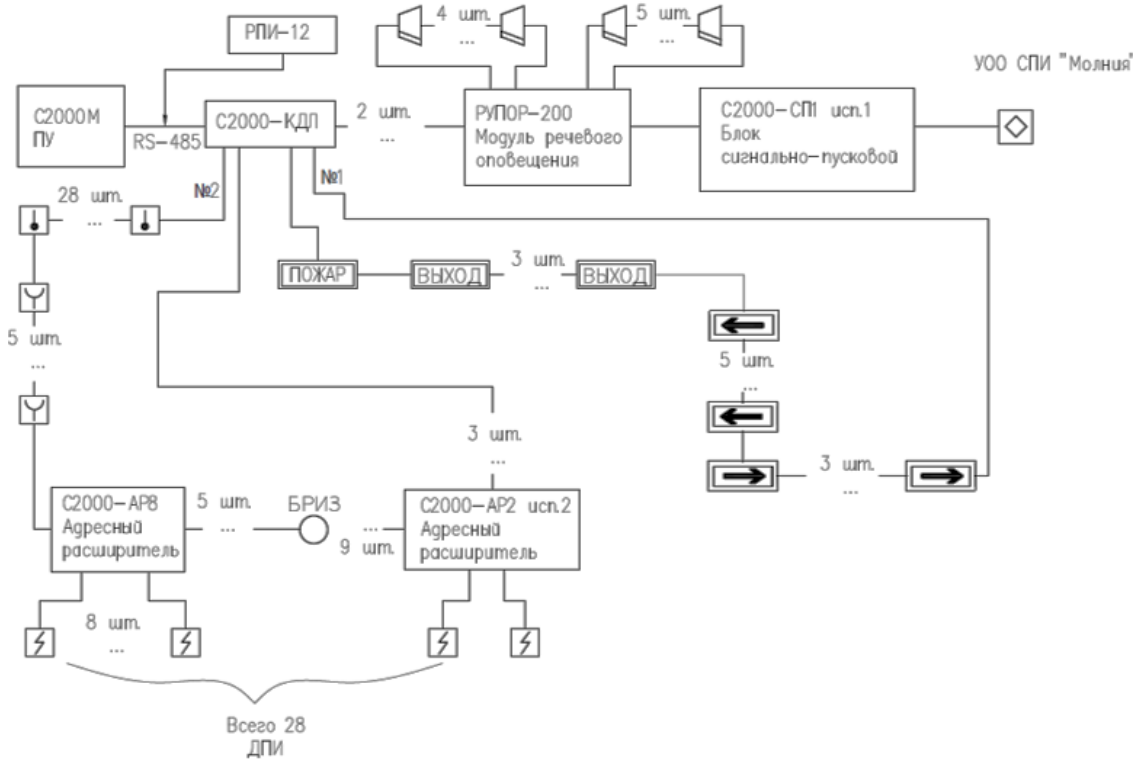


Рис. 1. Структурная схема СПС и СОУЭ

Данная система позволяет построить адресно-аналоговую централизованную систему с оповещением типа СО-4 с наименьшими финансовыми затратами, сохраняя возможность для расширения системы и позволяя организовать централизованное наблюдение не только СПС, но и системы охранной сигнализации.

Литература

1. BOLID Системы безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// bolid.ru. – Дата доступа: 10.12.2024.

2. RADAR MMS Датчик предаварийного контроля ИП 216-002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// radar-mms.com. – Дата доступа: 10.12.2024.

УДК 681

КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА РЕЧЕВОГО ОПОВЕЩАТЕЛЯ С ЗАПИСЬЮ И ВОСПРОИЗВОДСТВОМ СИГНАЛОВ ОПОВЕЩЕНИЯ С РАДИОКАНАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Студент гр. 11301121 Пряжко А. В.
Ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью работы является разработка конструкции корпуса для речевого оповещателя с записью и воспроизводством сигналов оповещения с радиоканальным управлением.

Разрабатываемый корпус речевого оповещателя предназначен для обеспечения защиты от различных внешних воздействий на устройство, удобства монтажа и эксплуатации.

Корпус прибора представляет собой параллелепипед, состоящий из 2 частей: основания и крышки (рис. 1) [1]. Габаритные размеры устройства 296×148 мм. Материал корпуса – листовая сталь, марка 08Х18Н10 ГОСТ 5632-2014. Детали изготавливаются путем гибки и сварки.

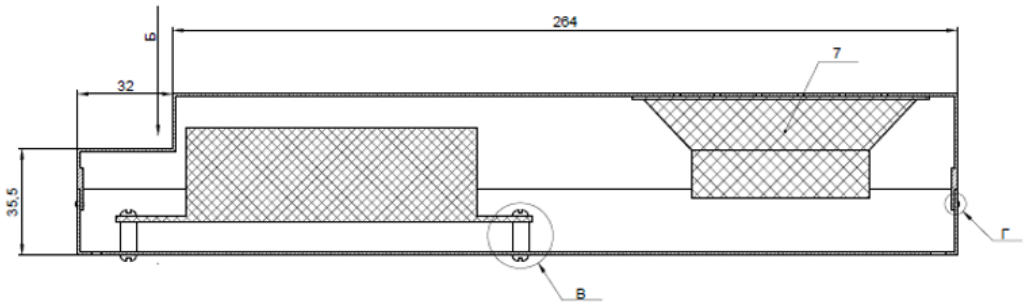


Рис. 1. Корпус речевого оповещателя

Конструкция основания содержит элементы закрепления печатной платы и крышки, а также отверстия для проводов питания и внешней антенны и отверстия для монтажа устройства на стену. Основание содержит 3 отверстия d = 3 мм, расположенных по периметру детали, для монтажа устройства на стену, 2 отверстия d = 5 мм для подключения внешнего питания и внешней антенны на противоположных сторонах основания. Для крепления платы к основанию в детали предусмотрены 4 отверстия d = 3 мм, предполагающих использование специальных стоек (h = 10 мм) и винтового соединения [2]. Высота основания 22 м. Для обеспечения сопряжения основания и крышки предусмотрены 4 отверстия d = 1,2 мм под винтовые соединения, расположенные попарно на противоположных стенках основания [3].

Крышка содержит отверстие для вывода светодиода индикации. Высота крышки в этом месте на протяжении 32 мм равна 13,5 мм. Для остальной части крышки, где располагаются динамик и компоненты платы, чьи высоты превышают высоту светодиода, равна 32 мм. Для прохождения звука в зоне установки динамика присутствуют 6 прямоугольных отверстий 70×2 мм. Предполагается клеевое крепление динамика. Для обеспечения сопряжения крышки с основанием к противоположным стенкам крышки с внутренней стороны попарно приварены 4 выступающих за край крышки пластины (сталь, лист 0,8 мм) с 4 отверстиями d = 1,2 мм под винтовые соединения.

Данная конструкция корпуса по сравнению со своими аналогами обладает большей миниатюрностью, ударопрочностью и долговечностью (за счет выбора материала). Изготовление конструкции требует минимальное количество экономических и технологических затрат. Внутренняя блочно-узловая конструкция обеспечивает надежность функционирования и обслуживания.

Литература

1. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники / С. Г. Григорьян. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 303 с.

2. Стойки установочные крепежные шестигранные с резьбовым концом и отверстием: ГОСТ 20862-81. – Взамен ГОСТ 20862-74 ; введ. 01.07.1982. – Минск, БелГИСС, 2023. – 12 с.

3. Винты с полукруглой головкой классов точности А и В. Конструкция и размеры: ГОСТ 17473-80. – Взамен 17473-72 ; введ. 01.01.1982. – Минск, БелГИСС, 2021. – 8 с.

УДК 621.3

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТОКОВ УТЕЧКИ

Студент гр. 31303121 Скоторенко Б. О.
Ст. преподаватель Ломтев А. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Разработка системы контроля токов утечки предназначена для установки на троллейбусы с целью обеспечения безопасности эксплуатации. Устройство выполняет функции диагностики утечки тока от электрооборудования, подключенного к контактной сети, на землю через корпус транспортного средства. Кроме того, оно осуществляет мониторинг возможного попадания высокого напряжения на корпус троллейбуса, сопровождающегося визуальной индикацией.

Действие устройства основано на сравнении электрических параметров в контролируемой цепи. Специальный компаратор анализирует входное напряжение, которое пропорционально величине утечки тока, и сравнивает его с заранее установленными пороговыми значениями. В схему включен блок формирования опорного напряжения, который задает два предельных значения:

– порог предупреждения (включение системы оповещения);

– порог отключения (автоматическое размыкание цепи питания).

В случае превышения допустимого уровня утечки (свыше 3 мА) срабатывает система оповещения, включающая звуковую и световую сигнализацию, а также активируется механизм экстренного отключения транспортного средства от контактной сети.

Устройство размещается в прочном пластиковом корпусе, обеспечивающем защиту от механических повреждений и воздействия окружающей среды. На передней панели расположены:

– индикационные элементы (лампы сигнализации);

– кнопка проверки работоспособности контактных цепей перед подключением устройства;

– тумблер включения и отключения питания.

Задняя панель содержит разъемы для подключения к электропитанию, системе управления троллейбуса, внешним индикаторам и заземляющему устройству, контактирующему с дорожным покрытием.

Были изучены различные модели систем контроля токов утечки, отличающиеся конструктивным исполнением и применяемыми компонентами. Несмотря на вариативность решений, их функциональное назначение остается неизменным – предотвращение электрических утечек и обеспечение безопасности пассажиров и водителя. Выбор конкретного варианта устройства зависит от технического задания, требований заказчика и инженерных решений разработчиков.

УДК 551.508

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Студент гр. 141201 Скуратович М. Д.[1]
Кандидат техн. наук, доцент Здоровцев С. В.[2]
[1]Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
[2]ОАО «МНИПИ» Минск, Беларусь

Технический мониторинг параметров окружающей среды необходимо проводить для отслеживания степени и скорости изменения контролируемых параметров и обеспечения безопасности в контролируемой зоне за счет своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения контролируемых параметров и принятия мер по устранению возникающих негативных факторов, ведущих к ухудшению состояния окружающей среды. В настоящее время широко используются беспроводные системы мониторинга, имеющие неоспоримые преимущества по сравнению с проводными: быстрый монтаж системы и ее переналадка, возможность контроля с использованием подвижных средств, невысокая стоимость.

В работе рассмотрена беспроводная система мониторинга параметров окружающей среды (БСМ), предназначенная для непрерывного сбора измерительной информации с приборов и датчиков, оснащенных беспроводным интерфейсом передачи данных, с последующей визуализацией данных, архивированием данных с представлением их в виде таблиц и графиков, оповещением (местного и удаленного) о произошедших событиях с использованием стационарных и мобильных средств сбора данных. В состав сисемы входят: сенсорные блоки конроля параметров окружающей средв (СБК), беспроводные регистраторы данных (БРД), снабженные радиомодулями передачи измерителтьной информации, полученной СБК, радиомодем, подключаемый к центральному ПК для приема данных, поступающих с БРД. СБК снабжены датчиками контроля абсолютной температуры (от –40 до +85 °С), относительной влажности (от 0 до 98 %), атмосферного давления (от 300 до 1100 гПа), освещенности (от 10 до 60 000 лк). Наличие беспроводного радиоинтерфейса позволяет выполнять дистанционный мониторинг состояния окружающей среды в реальном времени за счет передачи данных на центральный ПК на расстояние до 3 км с возможностью последующей трансляцией данных в сеть Интернет и размещением измерительной информации на удаленном сервере в табличном и графичыеском виде.

На рис. 1 представлен пример графического отображения данных БСМ (абсолютная температура и относительная влажность), размещенных на удаленном сервере.

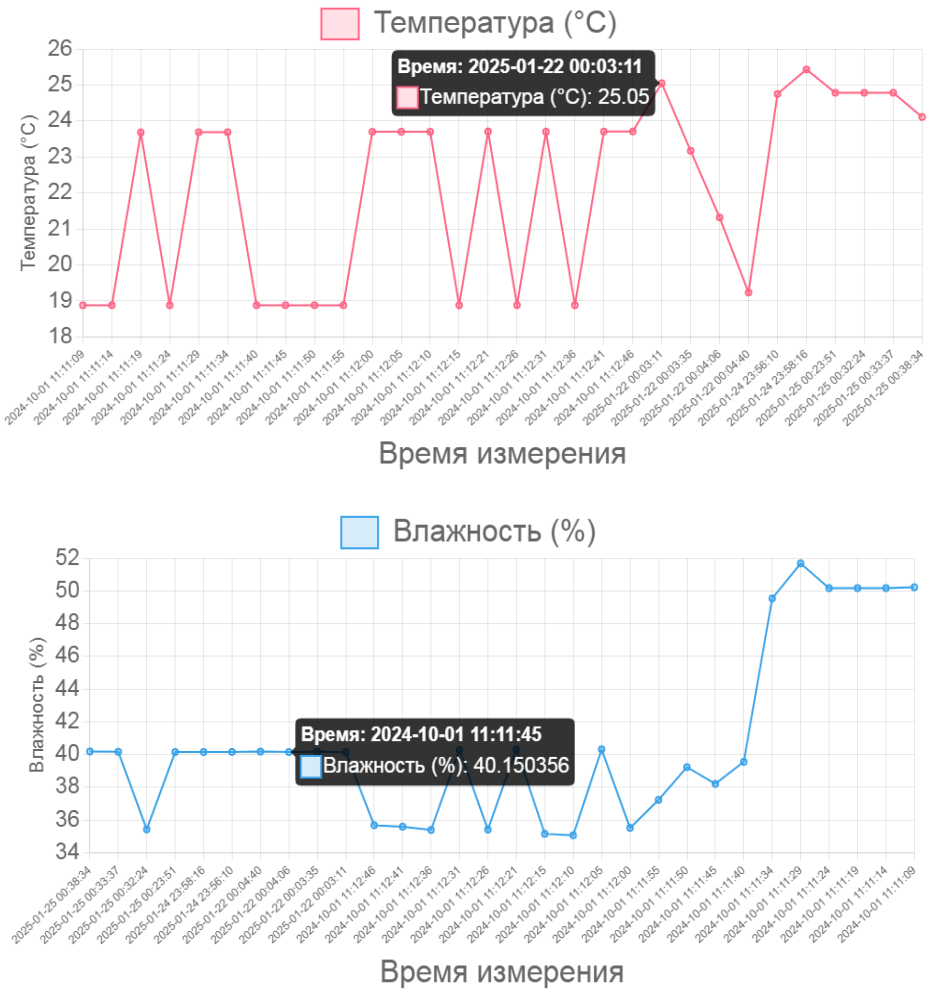


Рис. 1. Пример отображения данных БСМ (абсолютная температура и относительная влажность), размещенных на удаленном сервере

УДК 537.3; 539.2

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТУКТУР НА ОСНОВЕ GaAs, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ЗАТВОРОМ ШОТТКИ

Студент гр.11303124 Смирнов В. В.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Черный В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТЗШ) на основе GaAs широко используются в радиотехнике для частот до 30 ГГц [1–3]. Их достоинством является довольно простая технология изготовления, что обеспечивает невысокую стоимость.

Транзисторы, работающие на более высоких частотах, требуют для производства более сложные технологии, что обуславливает значительно большую стоимость приборов.

Для создания ПТЗШ используется полуизолирующий арсенид галлия. Чаще всего для создания тонкого проводящего канала используют имплантацию высокоэнергетических ионов химических элементов, являющихся донорами или акцепторами, в тонкие пластины.

В результате имплантации вводятся также радиационные дефекты, которые удаляются путем нагрева при необходимой температуре и в специальных условиях (этот процесс называется отжигом радиационных дефектов). Используется также быстрый термический отжиг при использовании некогерентных источников света. В результате отжига атомы внедренной примеси встраиваются в кристаллическую решетку. После отжига и возникает тонкий проводящий канал.

Электрические свойства канала, такие как сопротивление, подвижность носителей, во многом зависят от условий имплантации и отжига. В данной работе исследовались электрические свойства слоев, полученных путем имплантации одинакового заряда ионов, но при различной плотности ионного тока Si+. Данные плотности относились как 1:3:10.

После имплантации пластины подвергались быстрому термическому отжигу в вакууме порядка 0,05 атмосферы. Далее из них вырезались образцы в виде прямоугольного параллелепипеда, к которым наносились омические контакты для измерений электропроводности и эффекта Холла. Измерения эффекта Холла проводились в режимах постоянного тока и постоянного магнитного поля.

В результате измерений было установлено, что тонкие каналы для образцов всех трех групп приобрели проводимость n-типа. При этом средние значения проводимости каналов, концентрации ($4 \cdot 1017$ см$^{-3}$) и холловской подвижности (3000 см^2/(В·с) носителей тока для образцов первых двух групп оказались практически идентичными. При дополнительном отжиге некоторой части образцов данные параметры не изменялись.

Отмеченные параметры для образцов из третьей группы заметно отличались. Средние значения концентрации носителей и их подвижности были заметно ниже (на 30–40 %) по сравнению с образцами первых двух групп.

Подобное отличие может быть связано с образованием более сложных и термически более устойчивых радиационных дефектов в условиях более плотного потока ионов.

Это подтвердили результаты дополнительного отжига, в результате которого параметры образцов данной группы приблизились к параметрам образцов первых двух групп, но все еще заметно отличались от последних.

Полученные результаты позволяют заключить, что первые два режима имплантации являются более выгодными для получения проводящих каналов ПТЗШ. При таких режимах, как следует из полученных результатов, достигается более высокий уровень активации внедренной примеси и более эффективно удаляются вводимые радиационные дефекты.

Литература

1. Пожела, Ю. Физика быстродействующих транзисторов / Ю. Пожела. – Вильнюс: Мокслас, 1989. – 264 с.

2. Шур, М. Современные приборы на основе арсенида галлия / М. Шур. – М.: Мир, 1991. – 632 с.

3. Полевые транзисторы на арсениде галлия / Под ред. Д. В. Ди Лоренца, Д. Д. Канделуола. – М.: Радио и связь, 1988. – 496 с.

4. Арсенид галлия в микроэлектронике / Н. Айнспрука, У. Уиссемена. – М.: Мир, 1988. – 555 с.

УДК 615.849.11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ И МАЗЕЙ СКВОЗЬ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Аспирант Степаненко А. И.
Кандидат техн. наук, доцент Савченко А. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

При разработке и эксплуатации магнитотерапевтических приборов имеется потребость в определении полезной эффективности, которая определяется глубиной проникновения магнитного поля. В данном опыте чернила были взяты в связи с их хорошей визуализацией проведенного эксперимента. В связи с тем, что чернила не обладают магнитными свойствами, на часть объекта исследования был нанесен небольшой слой ферромагнитных частиц [1]. В таблице 1 результаты эксперимента сведены в таблицу.

Таблица 1 – Результаты проникновения чернил в картошку

	Без воздействия, мм	С воздействием, мм
Черные чернила	1,02	1,99
Черные чернила	1,85	2,30
Фиолетовые чернила	2,13	2,57

Опыт показал, что при воздействии магнитного поля, направленного сверху на объект исследования на расстоянии 1 см, чернила проникают глубже, чем при отсутствии какого–либо воздействия при условии добавления ферромагнитных частиц (от 25 % до 100 %). В следующем опыте был использован медицинский синий краситель, в составе которого имелись вещества, которые реагировали на импульсное индукционное магнитное поле [2].

Таблица 2 – Результаты проникновения красителя в картошку

	Без воздействия, мм	С воздействием, мм
Синий краситель	3,08	4,53
	3,18	3,99

Опыт с красителями показал, что глубина проникновения напрямую зависит от состава проникающей смеси. Применение ферромагнитных частиц позволило сделать рисунок проникновения более ярким и более глубоким, чем без него. Вследствие этого были сделаны предположения, позволяющие определить наиболее подходящий состав косметологического геля, в котором будет ингредиент, реагирующий на импульсное магнитное поле, который не будет пагубно влиять на здоровье человека. Ингредиентом, реагирующим на магнитное поле, который может быть безопасен для использования в косметическом геле, является магнитный порошок, который обычно состоит из железных или металлических частиц, покрытых слоем полимера или оксида, чтобы предотвратить их реакцию с кислородом и водой [3]. Также можно использовать гидрогели, которые способствуют увлажнению и удержанию влаги в коже, что может повысить проникающую способность магнитных частиц [4].

Литература

1. Vegera Z. Heat transfer in magnetic fluids in magnetic and electric fields // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Vol. 1399. – №. 2. – P. 022006.

2. Марков, Д. В. Гигиеническая оценка и оптимизация электромагнитной обстановки современных физиотерапевтических кабинетов : специальность 14.00.50: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Марков Дмитрий Владимирович. – Москва, 2008. – 24 с.

3. Jokela, K. Dielectric polarization transients in biological tissue moving in a static magnetic field / K. Jokela, I. Laakso // Bioelectromagnetics. – 2016. – Vol. 37. – №. 6. – P. 409–422.

4. A Review on in situ Gel of Gastro Retentive Drug Delivery System / Aiwale B. V. – 2022. – P. 314–320.

УДК 530.145

КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР – КОМПЬЮТЕР БУДУЩЕГО

Студент гр. 11902124 Степочкин Е. А.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Квантовые компьютеры представляют собой новую парадигму вычислений, основанную на принципах квантовой механики. Разработка квантовых компьютеров обещает значительный прорыв в решении задач, недоступных классическим компьютерам, таких как факторизация больших чисел, оптимизация и моделирование сложных систем. Более того их использование позволяет преодолеть физические ограничения по быстродействию и размерам элементов интегральных схем, которые присущи современным компьютерам. Ключевым преимуществом квантовых компьютеров является их способность выполнять вычисления параллельно за счет суперпозиции состояний [1–4]. Целью данной работы является анализ основных принципов работы квантовых компьютеров, текущего состояния исследований и перспектив их развития.

Квантовые компьютеры работают на принципах квантовой механики. К основным принципам относятся суперпозиция, кубиты, квантовое взаимодействие, запутанность, квантовые алгоритмы, квантовая декогеренция [4]. К современным технологиям можно отнести сверхпроводниковые кубиты, ионные ловушки и фотонные системы [2, 5]. Также изучаются такие важные направления развития, как коррекция квантовых ошибок, масштабирование вычислений и улучшение стабильности кубитов. Особое внимание уделяется изучению возможностей в области квантового машинного обучения и его потенциальным применениям.

Анализ современных исследований показывает, что, несмотря на значительные успехи в разработке квантовых процессоров, существующие технологии пока ограничены числом кубитов и уровнем квантовой помехоустойчивости. Такие компании, как Google, IBM и Rigetti, продолжают активно разрабатывать квантовые процессоры, демонстрируя прогресс в их масштабировании. В 2019 году Google объявила [3, 6] о достижении квантового превосходства, продемонстрировав выполнение вычислений, которые были недоступны классическим компьютерам. Однако для практического использования квантовых вычислений необходимы дальнейшие исследования в области коррекции ошибок и устойчивости кубитов. Квантовые алгоритмы, такие как алгоритм Гровера и алгоритм Шора [3, 6], продолжают оставаться ключевыми направлениями исследований.

Белорусские ученые также внесли вклад в эту бурно развивающуюся область. В частности, обзорной работе [4] рассматривается теория квантовая информация и ее приложения в квантовых компьютерах, в квантовой криптографии и квантовых вычислениях.

Из проведенного анализа можно сделать следующие выводы. Квантовые компьютеры обладают огромным потенциалом, однако их практическое применение остается ограниченным из-за текущего уровня развития технологий. Необходимо продолжение исследований в области коррекции ошибок, улучшения стабильности кубитов, а также разработка новых алгоритмов. В перспективе квантовые компьютеры могут найти применение в различных сферах науки и техники, включая современную криптографию, моделирование сложных химических процессов, финансовый анализ и решении сложных оптимизационных задач.

Литература

1. Nielsen, M. A. Quantum Computation and Quantum Information / M. A. Nielsen, I. L. Chuang. – Cambridge University Press, 2010. – 710 p.

2. Preskill, J. Quantum Computing in the NISQ era and beyond / J. Preskill // Quantum. – 2018. – Vol. 2, № 79. – P. 79 (20).

3. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor / F. Arute [et al.] // Nature. – 2019. – Vol. 574. – P. 505–510.

4. Килин, С. Я. Квантовая информация / С. Я. Килин // УФН. – 1999. – Т. 169, № 5. – С. 507–527.

5. Devoret, M. H.Superconducting Circuits for Quantum Information: An Outlook / M. H. Devoret, R. J. Schoelkopf // Science. – 2013. – Vol. 339. – P. 1169–1174.

6. Quantum computational advantage using photons / Zhong H. S. [et al.] // Science. – 2020. – Vol. 370. – P. 1460–1463.

УДК 315

ТЕНЗОДАТЧИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СПОРТЕ

Студент гр. 11902122 Шиманович А. В., студент гр. 11904122 Ахмадов К. В.
Ст. преподаватель Ломтев А. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Тензодатчики позволяют получать точную и объективную информацию о характеристиках спортсменов, спортивного оборудования и среды, в которой происходит спортивный процесс. Это помогает улучшать спортивную технику, контролировать нагрузку, анализировать результаты и повышать эффективность тренировок и соревнований.

Тензорезистивные измерительные приборы – конструкция, к которой крепятся тензорезисторы и другие функциональные и механические элементы всей измерительной системы.

Существует несколько основных типов датчиков для регистрации различных параметров, включая: приборы измерения нагрузки и усилия; устройства для измерения давления в различных средах; датчики для отслеживания перемещения; акселерометры или же датчики ускорения; приборы для измерения крутящего момента.

Тензодатчики работают на основе чувствительных резистивных элементов, электрическое сопротивление которых изменяется при их деформации (рис. 1). Тензорезисторы включаются в плечи мостовой измерительной схемы, известную как мост Уитстона. В состоянии покоя мост находится в равновесии и на его выходе сигнал отсутствует. А уже при деформации упругого элемента сопротивление тензорезисторов изменяется, что вызывает разбаланс моста. В результате на выходе появляется электрический сигнал, который прямо пропорционален степени деформации.

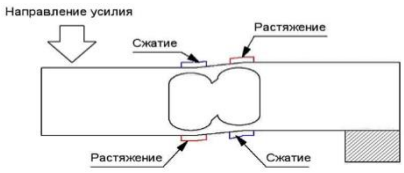


Рис. 1. Воздействие нагрузки на тензодатчик

Тензорезистивные датчики обеспечивают широкий диапазон и высокую точность измерений (до 0,017 %, в зависимости от конкретной модели), включая случаи с высокой частотой динамических деформаций основания. При условии компенсации тензодатчики могут функционировать в широком температурном диапазоне. Благодаря своей плоской компактной конструкции их можно легко установить на плоские и изогнутые поверхности.

Общепринятого стандарта для питания моста не существует. Обычно используются напряжения 3 В и 10 В. Ток, проходящий через тензодатчик обычно варьируется от 2 до 30 мА для датчиков с сопротивлением в диапазоне от 1 кОм до 120 Ом. Желательно, чтобы напряжение питания моста было максимально большим, для увеличения отношения сигнала к шуму, но при этом достаточно малым, чтобы свести к минимуму погрешность, вызванную саморазогревом датчика.

Погрешности могут происходить из-за изменений в сопротивлении преобразователя при температурных колебаниях. С изменением температуры, сопротивление меняется как из-за изменения удельного сопротивления материала, так и из-за изменения натяжения, вызванного различными температурными коэффициентами удлинения тензорезистора и элемента, на который он прикреплен.

Преимущества использования тензометрических технологий включают: быстрый отклик; простота компенсации температурных эффектов; малая чувствительность к динамическим воздействиям.

Однако есть и недостатки: невозможность достижения более низких диапазонов измерений; снижение точности показаний при вибрациях; необходимость точного совмещения с окружающей средой; сложность первоначальной настройки.

СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ПРИБОРОВ

УДК 681

ROBOTIC ARM DRIFT COMPENSATION USING MACHINE LEARNING MODELS

Student, Master of Technology Degree in Industrial Automation Mashiyani P.
Lecturer, Eng. Makusha T. D.
Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

The integration of machine learning (ML) into robotics has changed the approach to drift control in industrial robotics, addressing a critical challenge that affects the precision of robotic operations. Robotic arms, essential in tasks such as assembly and welding, often encounter drift caused by various factors, including temperature fluctuations, gearbox backlash, and sensor inaccuracies. These issues complicate the precision required for high-stakes operations, necessitating effective drift compensation strategies.

Traditional model-based methods for drift compensation primarily rely on mathematical models that can be rigid and labor-intensive to develop. This inflexibility hinders their ability to adapt to the dynamic conditions often found in industrial environments. In contrast, data-driven techniques leverage historical and real-time data, providing a more flexible and responsive solution to drift management. By utilizing extensive datasets, these methods can quickly adapt to changes in operating conditions, improving the overall reliability of robotic systems.

This paper delves into the effectiveness of Long Short-Term Memory (LSTM) networks and Linear Parameter Varying (LPV) hybrid methods as innovative solutions for drift compensation in robotics. LSTM networks, a type of recurrent neural network, excel in identifying temporal patterns in time-series data, making them particularly suited for real-time drift prediction and correction based on sensor inputs. Their ability to learn from sequential data allows for continuous improvement and adjustment as new data becomes available.

On the other hand, LPV methods facilitate the dynamic adjustment of control strategies by representing the behavior of robotic systems as linear systems with time-varying parameters. This characteristic enhances the robustness of the control mechanisms against drift, allowing for more accurate performance in fluctuating environments. By combining these two approaches, the proposed methodology aims to harness the strengths of both LSTM and LPV techniques to create a more effective drift compensation framework.

To evaluate the proposed solutions, this study involves obtaining relevant datasets from the robotics industry and segmenting this data for thorough analysis. The models will be developed using MATLAB, enabling the generation of results that can be scrutinized for performance metrics. The paper will systematically review various data-driven and hybrid methods, with a particular focus on the integration of LSTM and LPV techniques. Through comprehensive comparative analysis and real-world case studies, we aim to demonstrate how these advanced methodologies can significantly enhance the accuracy and reliability of robotic systems in industrial settings. Ultimately, the findings of this research are expected to contribute to improved operational efficiency, reducing downtime and costs associated with drift in robotic applications.

УДК 681

DEVELOPMENT OF A DEEP LEARNING-BASED DIAGNOSTIC SYSTEM FOR KERATITIS USING CORNEAL IMAGES

Ndebele A. G.[1],
Eng. Rushambwa Ch. M.[1], Lecturer Palaniappan R.[2]
[1]Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe
[2]University of Technology Bahrain, Bahrain

Keratitis, an inflammation of the cornea, is one of the major causes of vision impairment leading to serious complications if not diagnosed and treated in time. Various traditional methods have been employed in the diagnosis of keratitis, and these include slit lamp examinations, corneal sensitivity tests,

microbial cultures, as well as advanced imaging techniques such as optical coherence tomography (OCT). Although these techniques are valuable, they present challenges such as operator dependency, high costs, inaccessibility in remote areas, and lengthy processing times. As such, there is a need for more efficient and accessible diagnostic solutions.

This research paper aims to explore the integration of Convolutional Neural Networks (CNNs) and deep learning techniques in developing a diagnostic system specifically tailored for keratitis detection. CNNs are particularly effective in image processing, and can potentially transform the diagnostic landscape by automating image analysis and improving diagnostic accuracy. The proposed system will utilize a robust dataset of corneal images collected from various sources, serving as the foundation for training the CNN.

The methodology will include several phases, which will begin with collecting a diverse and comprehensive dataset. This dataset will include images with healthy eyes, and infected eyes exhibiting the different types of keratitis. Reports on the images within the dataset, obtained from ophthalmologists will be used for comparison with the system to ensure accurate training and validation of the model. Following the dataset collection, the project will implement a bag-of-features approach to enhance the model's ability to recognize and classify keratitis-related features accurately.

Training the CNN will involve fine-tuning hyperparameters to optimize the model's performance, and several data augmentation techniques shall be implemented to increase the robustness and generalizability of the system. The CNN's architecture will be designed to extract relevant features from the corneal images, enabling the model to learn intricate patterns associated with keratitis.

From this research paper, the researcher intends to develop a diagnostic tool that will not only expedite the diagnosis of keratitis but also facilitate early intervention, with the objective of ultimately improving patient outcomes. By harnessing the power of artificial intelligence and medical imaging, this project seeks to bridge the gap between traditional diagnostic methods and modern technology, making keratitis diagnosis accessible in all clinical settings including the low resource setups, and improve efficiency.

Additionally, the research will analyze the performance of the CNN model against existing diagnostic techniques, providing insights into its effectiveness and reliability. The integration of deep learning into the diagnostic process is intended to reduce the burden on healthcare professionals while empowering them with advanced tools that enhance their diagnostic capabilities.

In conclusion, this project will allow advances in the intersection of medical imaging and artificial intelligence, which could pave the way for future developments in automated diagnostic systems, ultimately contributing to better healthcare delivery and improved patient care in the field of ophthalmology.

УДК 681

РАЗРАБОТКА КОРПУСА АВТОНОМНОГО ДЫМОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С КОНТРОЛЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ УГАРНОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИИ

Студент гр. 11301121 Адамович К. А., студент гр. 11301123 Койро А. В.
Ст. преподаватель Василевский А. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы заключается в разработке корпуса автономного дымового пожарного извещателя с контролем концентрации угарного газа в программном комплексе SolidWorks.

В ходе моделирования был разработан корпус в соответствии с принципиальной схемой устройства, который представляет собой параллелепипед, состоящий из (рис. 1): 1 – датчик угарного газа, 2 – решетка дымовой камеры, 3 – отверстия зуммера, 4 – световая индикация. Размеры определены в соответствии с конструкцией печатной платы, индикации и датчика угарного газа.

Материал корпуса – пластик ABS по ГОСТ 33366.1-2015 [1].

Климатическое исполнение устройства соответствует УХЛ3 по ГОСТ 15150–69, IP40 [2].

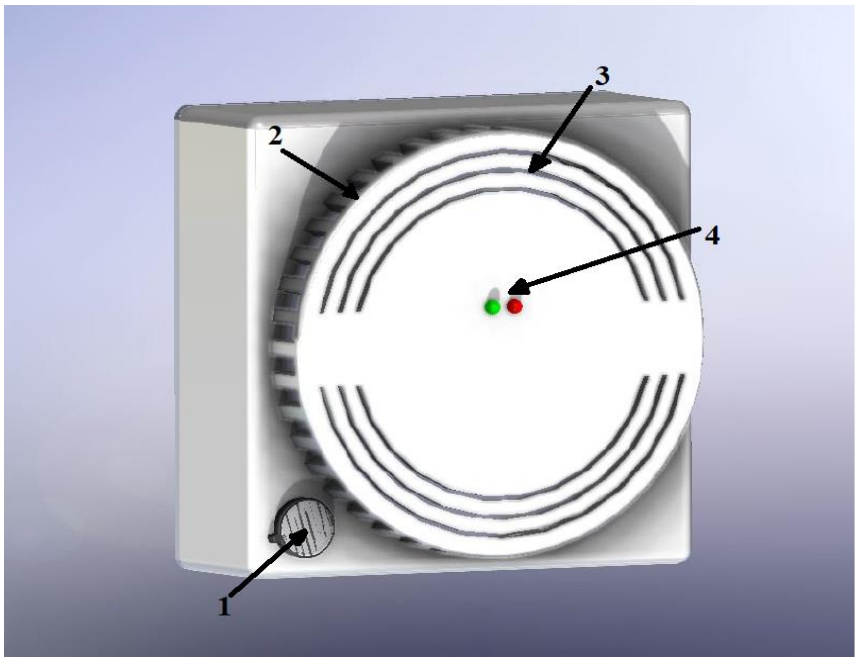


Рис. 1. Разработанная модель корпуса

Основной отличительной особенностью данного извещателя является наличие датчика угарного газа. Датчик своевременно обнаруживает превышение концентрации угарного газа при незначительной концентрации дыма в дымовой камере извещателя. Извещатель подает непрерывный звуковой сигнал, также и при срабатывании порогового устройства от фотоприемника дымовой камеры.

Благодаря квадратной форме извещателя, его можно устанавливать на полки, карнизы без закрепления на поверхности, что гораздо упрощает его использование. Такой извещатель жизненно необходим для домов сельской местности с печным отоплением, поскольку основной причиной гибели людей при пожаре является повышенная концентрация угарного газа.

Литература

1. Пластмассы. Условные обозначения и сокращения: ГОСТ 33366.1–2015. – Введ. 01.01.2017. – 20 с.
2. Машины, приборы и другие технические изделия: ГОСТ 15150–69. – Введ. 01.01.1971. – 71 с.

УДК 615.47+615.8-7+616.727.5-009.12-085.82-7

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНТРАКТУР ЛУЧЕЗАПЯСТНОГО СУСТАВА

Студент гр. 11307222 Андрушкевич И. В.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Контрактура лучезапястного сустава – это патология, вызванная поражением околосуставных тканей, в результате чего нарушается сгибательно-разгибательная функция [1]. В зависимости от происхождения контрактуры подразделяются на врожденные (связанные с патологиями внутриутробного развития) и приобретенные в результате травм и заболеваний.

Восстановление функции сустава требует комплексного подхода, включающего физиотерапию, лечебную гимнастику и использование специализированных реабилитационных устройств.

Основная задача устройств – обеспечить постепенное и контролируемое увеличение амплитуды движений в суставе, способствуя улучшению кровообращения, растяжению связок и восстановлению нормального функционирования мышц и сухожилий.

В основе принципа действия устройства для разработки контрактур лучезапястного сустава (рис. 1) лежит метод непрерывной пассивной мобилизации сустава. Данный терапевтический метод подразумевает выполнение больным суставом пассивных движений, которые совершаются благодаря специальному оборудованию, при этом околосуставные мышцы избавлены от

активных сокращений. Основное преимущество данного метода перед активной лечебной физкультурой – это меньшее количество противопоказаний, т. к. поврежденный сустав и мышечная система испытывают существенно меньшие нагрузки, чем при лечебной физкультуре, и каждый сеанс сопровождается менее выраженными болезненными ощущениями [2].



Рис. 1. Устройство для разработки контрактур лучезапястного сустава

Для использования устройства достаточно зафиксировать больную руку в лотке предплечья, зафиксировать кисть в ручке пронации/супинации или в ручке для сгибания/разгибания и девиации, установить на пульте управления требуемый режим и выбрать длительность сеанса терапии. В ходе сеанса сустав будет совершать ритмичные пассивные движения.

Применение подобных устройств как в медицинских учреждениях, так и в домашних условиях доказывает их результативность в ускорении процесса восстановления сустава и повышении качества жизни пациентов [3].

Дальнейшее усовершенствование конструкций и внедрение инновационных технологий открывают новые возможности для более эффективного и комфортного восстановления двигательных функций.

Литература

1. Контрактура лучезапястного сустава [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ckbran.ru/cure/musculo-skeletal-system/bolezni-sustavov-i-sukhozhilij/kontraktura-luchezapyastnogo- sustava. – Дата доступа: 25.02.2025.

2. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ormed.ru/ katalog/reabilitatsiya-sustavov/trenazher-dlya-luchezapyastnogo-sustava-ormed-flex-05/. – Дата доступа: 25.02.2025.

3. Медицинская реабилитационная техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medaboutme.ru/articles/meditsinskaya_reabilitatsionnaya_tekhnika_kakie_trenazhyery_ispolzuyutsya_dlya_reabilitatsii/. – Дата доступа: 25.02.2025.

УДК 681

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТВЕРДОФАЗНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ СМЕСЕЙ

Студент гр. 4910 Бенчак Г.
Д-р тех. Наук Бразовский К. С.
Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

Введение. В настоящее время для определения состава сложных смесей используются аналитические методики, требующие сложного оборудования, дорогостоящих расходных материалов и тяжелой преаналитической подготовки. Альтернативным методом определения концентрации веществ может быть твердофазная спектрофотометрия на абсорбирующей полиметилметакрилатной матрице (ПММ).

Цель. Показать возможность применения метода твердофазной спектрофотометрии в сочетании с хемометрическими алгоритмами для определения концентраций веществ в сложных смесях.

Материалы и методы. В качестве исследуемых веществ использовались растворы красителей (родамина и кристаллического фиолетового) в концентрациях 5–20 мг/л, а также их смеси.

Для экстракции веществ в твердой фазе использовались пластины полиметилметакрилатной матрицы.

Спектры поглощения регистрировались с помощью спектрофотометра Agilent Cary 60, в диапазоне длин волн 900-195 нм с шагом 1 нм, скорость сканирования 300 нм/мин.

Обработка данных проводилась с помощью пакета программы Rstudio версии 4.4.2. Для построения модели определения концентрации веществ использовалась регрессия методом частичных наименьших квадратов.

Результаты. В ходе работы были приготовлены растворы красителей в концентрациях 5, 10, 20 мг/мл и их смеси. В растворы на равное время погружались пластинки ПММ. После экстракции бесцветная прозрачная матрица принимает окраску красителя, сохраняя прозрачность. Затем регистрировали спектры поглощения, измеряя оптическую плотность (рис. 1).

Из полученных данных были составлены обучающая и тестовая выборки. Было проведено моделирование спектральных данных и получена модель определения концентрации красителей в растворах.

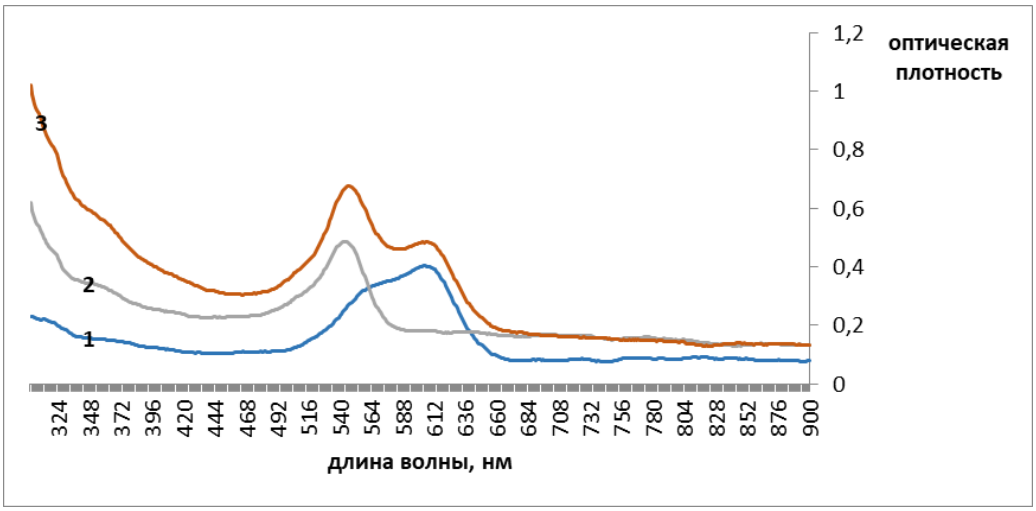


Рис. 1. Спектры поглощения растворов: *1* – кристаллический фиолетовый (С(1) = 20 мг/л); *2* – родамин (С(2) = 20 мг/л); *3* – смесь кристаллического фиолетового и родамина (С(1) = 20 мг/л, С(2) = 20 мг/л)

Выводы. В результате работы была показана возможность применения твердофазной спектрофотометрии для определения содержания красителей в смесях. Определены оптимальные условия регистрации спектров поглощения (диапазон длин волн, шаг сканирования, скорость сканирования).

УДК 666.227.3

УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЗ К ИСТИРАНИЮ

Студент гр. 11302121 Бохан А. А.
Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Разработка установки для контроля устойчивости поверхности очковых линз к истиранию направлена на обеспечение качества и долговечности оптической продукции. В основу разрабатываемой конструкции положена стандартные методика и схема контроля [1].

Установка предназначена для решения ряда практических и исследовательских задач, включая оценку износостойкости линз при механических воздействиях, тестирование различных материалов (пластик, стекло) и защитных покрытий, контроль качества продукции на предприятиях, оптимизацию технологий обработки и нанесения покрытий и как итог разработку новых материалов и технологий для создания более долговечных линз.

Разрабатываемая установка предназначена для тестирования сферических линз с эффективными диаметрами от 55 мм до 70 мм. Согласно [1] в установке для контроля устойчивости поверхности очковых линз заложены следующие технические характеристики: скорость поворота платформы 30–40 об/мин; число оборотов 1000; нагрузка на наконечник 2,0 ±0,1 Н; расстояние от оси вращения 10 мм.

Конструкция установки устроена следующим образом. Основание установки опирается на четыре полиуретановые ножки. В круглые пазы в основании устанавливаются несущие колонны, сверху на колонны устанавливается крышка. В крышке обработано отверстие под подшипник, зафиксированный кольцом, а на подшипник установлен вал, соединенный со столиком шпонкой и проставленный двумя кольцами. Вращение столика осуществляется электродвигателем постоянного тока, закрепленным на угловом кронштейне, который, в свою очередь, закреплен на основании стенда. Передача вращения обеспечивается прямым присоединением вала электродвигателя к валу столика. Количество оборотов считается индукционным датчиком по вращению связанного с выходным валом двигателя поворотным валом.

Испытуемая линза устанавливается на резиновую подставку, которая крепиться к столику. Создание необходимого усилия обеспечивается подкручиванием гаек, расположенных на колонне, что приводит к перемещению кронштейна, с закрепленным на нем профилем. А к профилю в свою очередь крепится основание и тензодатчик. Вал передает усилие тензодатчику, по значениям которого устанавливается прописанное в стандарте нагружение на испытуемую очковую линзу.

Методика контроля следующая: линза устанавливается на столик и вращается с заданной частотой и усилием, а истирание поверхности осуществляется через прокладку из батиста с использованием резинового наконечника. После испытания проводится визуальный осмотр и измерение изменений оптических характеристик.

Точность задания величины нагружения зависит от таких составляющих как:

– погрешность самого тензодатчика;

– перекос единения винт-гайка колонны;

– перекос резьбы вала-наконечника;

– перекос установки стакана на основание;

– перекос установки колонны в стакан;

– перекос установки линзы на резиновую оправку;

– перекос закрепления резиновой оправки на столике;

– перекос соединения тензодатчика с основанием кронштейна;

– погрешность измерения числа оборотов зависит от точности датчика и составляет не больше 1 оборота, что соответствует задание.

Литература

1. Линзы очковые. Общие технические условия: ГОСТ Р 51044-97. – Москва; ГОССТАНДАРТ России, 2001. – 16 с.

УДК 519.673

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ КРОВОПОТЕРИ ПО ДАННЫМ ВИТАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

Студент гр. 4911 Вишталюк Г. С.
Кандидат мед. наук Толмачев И. В.
Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

Введение. Современные медицинские мониторы предоставляют информацию о физиологических показателях пациента в режиме реального времени, отследить динамику их изменений, что позволяет врачам оценить состояние пациента. Но качество оценки находится в сильнейшей зависимости от опыта и квалификации медицинского персонала

Разрабатываемый проект направлен на создание модели киберфизической системы для контроля состояния пациентов в палатах интенсивной терапии и в машинах бригад скорой медицинской помощи. Исследование является поисковым и направлено на оценку возможности использования гибридных интеллектуальных СППВР в условиях интенсивной терапии. В настоящей работе используется подход, основанный на базе прецедентов.

Цель исследования. Разработать алгоритм оценки интенсивности кровопотери по данным витального мониторинга на основе двухэтапного математического моделирования геморрагического шока.

Материалы и методы. Для моделирования физиологических показателей при кровопотере использовался многоплатформенный универсальный симулятор физиологии человека Pulse Physiology Platform, модифицированный для работы.

Для решения обратной задачи математического моделирования используется нейронная сеть.

Результаты. Система Pulse Physiology Platform используется для обеспечения точного и согласованного физиологического моделирования в реальном времени. Компонентами платформы являются верифицированные модели физиологических механизмов и фармакокинетические/фармакодинамические модели.

Для тестирования подхода был сгенерирован массив данных содержащий 86394 записи, содержащий изменения физиологических параметров в течение 5 мин: диастолическое артериальное давление, систолическое артериальное давление, частота сердечных сокращений, частота дыхания, сатурация крови кислородом (шаг моделирования скорости кровопотери из нижних конечностей 100 мл/мин), общий объем сгенерированных данных составил 13,67 Гб данных в формате CSV.

Для построения итоговой модели СППВР на основе нейросетевых алгоритмов было разработано программное приложение на языке Python. При помощи сформированного на предыдущем этапе аннотированного датасета формируются нейронная сеть Long short-term memory (LSTM – сети долгой краткосрочной памяти). Итоговый алгоритм СППВР выполняет функцию определения скорости кровопотери и объема по данным физиологического мониторинга (ЧСС, САД, ДАД, SpO2, ЧД)

При оценке качества работы смоделированной структуры получены следующие характеристики: конечная точность по среднеквадратической ошибке (mean squared error, MSE): 0,992 (99,1 %), конечная точность по средней абсолютной ошибке (mean absolute error, MAE): 0,997 (98,9 %).

Выводы. Интегрирование разработанного алгоритма в функционал кардиологических мониторов или в общую систему мониторинга в перспективе позволит в реальном времени выявлять наличие и интенсивность кровопотери при нахождении пациента в палате интенсивной терапии или в машине бригады скорой медицинской помощи. Дальнейшая работа связана с верификацией разработанной модели с применением реальных данных из палаты интенсивной терапии. Для решения этой задачи в настоящее время в клиниках СибГМУ интегрирована реанимационно-анестезиологическая информационная система, позволяющая структурировано копить данные пациентов в палате интенсивной терапии.

УДК 684.4.059.1

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ ЦАРАПАНИЕМ

Студент гр. 31302221 Волчанин Е. В.
Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Твердость – одно из важных качеств любого покрытия. Покрытия, имеющие слишком малую твердость, плохо выдерживают механические нагрузки, а покрытия со слишком высокой твердостью склонны к образованию трещин. Для повышения качества изготовления покрытий и подготовки поверхности устанавливаются методы определения характеристик и эксплуатационных свойств покрытий. Одним из способов оценки механических свойств материалов и покрытий является царапание (метод склерометрии).

Метод склерометрии при измерении твердости имеет следующие преимущества [1]:

– усреднение данных в рамках обработки результатов;

– уменьшение влияния шероховатости и поверхностных дефектов;

– снижение эффекта упругого восстановления ширины царапины;

– возможность изучения анизотропии механических свойств.

Одна из реализаций метода склерометрии заключается в определении ширины царапины, оставленной иглой склерометра под действием нагрузки. Этот метод применяется при типовых испытаниях лакокрасочных покрытий [2].

На рис. 1 показана кинематическая схема устройства для определения твердости покрытий царапанием, в котором реализована стандартная методика.

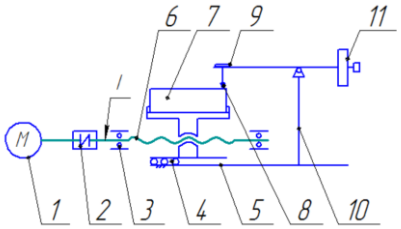


Рис. 1 Схема кинематическая устройства

Сущность метода измерения твердости лакокрасочного покрытия заключается в следующем. Испытуемый образец *7* с нанесенным лакокрасочным покрытием помещают на направляющую *4*. Образец изготовлен из дерева. Иглу *8* осматривают под микроскопом на наличие дефектов. Коромысло уравновешивают вращением противовесов *11* так, чтобы острие иглы без нагрузки касалось испытуемой поверхности, но не оказывало на нее давление. Коромысло приподнимают и нагружают грузом *9*, масса которого определена соответствующей нормативно-технической документацией. После чего плавно опускают на поверхность образца. Каретку с закрепленным образцом при помощи соединенного муфтой *2* двигателя *1* через винтовую передачу приводят в движение с равномерной скоростью (10 ±5) мм/с, чтобы образовалась царапина длиной от 50 до 60 мм. Образец снимают с устройства, протирают мягкой тканью и замеряют ширину царапины под микроскопом. Ширину царапины измеряют на трех участках по всей ее длине.

Литература

1. Усеинов, А. Измерение механических свойств методом царапания / А. Усеинов, С. Усеинов // Наноиндустрия. – Выпуск 6. – 2010. – С. 12–16.

2. Детали и изделия из древесины и древесных материалов методы определения твердости защитно-декоративных покрытий царапанием: ГОСТ 27326-87. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 8 с.

УДК 615.47

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ В ПРОЦЕССЕ КРИОВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Студент гр. 4110, лаборант-исследователь Вощенко А. О.
Мл. научный сотрудник Плешков М. О., вед. научный сотрудник, Толмачев И. В., мл. научный сотрудник Стасевский В. И., д-р мед. наук, доцент Кужеливский И. И.
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет», Томск, Россия

В настоящее время в медицине широко применяются криохирургические процедуры, в ходе которых происходит удаление различных патологических образований на коже и слизистых оболочках посредством заморозки до ультранизких температур (t = −196 °C). При проведении данных процедур существует риск неэффективного лечения в случае недостаточной заморозки, а также риск послеоперационных осложнений и возникновения косметических дефектов в случае избыточной заморозки. Ожидается, что успешное внедрение технологии электроимпедансной спектроскопии позволит на новом уровне определять достаточный уровень заморозки патологических образований, повысив качество проведения криопроцедур.

Целью работы является разработка интраоперационных инструментов для оценки состояния биологических тканей в процессе криовоздействия на основе метода электроимпедансной спектроскопии.

Набор интраоперационных инструментов представлен их двумя формами: пинцет и кольцо. При разработке криопинцета учитывались основные требования: конструкция представлена

в виде анатомического пинцета, на браншах пинцета располагается две пары электродов в виде серебряных пластин (4 электрода). Между первой парой электродов проходит электрический ток, а между второй происходит измерение сигнала напряжения. При разработке криокольца учитывались основные требования: конструкция представлена в виде кольца, у внутренних границ нижней окружности кольца равномерно по окружности располагается четное количество металлических электродов цилиндрической формы (подобранное количество – 16 шт.). Между двумя соседними электродами пропускается электрический ток, а между остальными попарно соседними электродами замеряется электрическое напряжение сигнала.

В зависимости от вида и особенностей криохирургического вмешательства будет выбираться тот или иной вид инструмента. Инструменты подключаются к экспериментальной установке, от которой подается высокочастотный электрический ток низкого напряжения. Между электродами прикладываемых инструментов сквозь биологические ткани проходит электрический ток, сигнал которого передается обратно в лабораторную установку собственной разработки. С помощью работы специального программного обеспечения происходит обработка данных сигнала, получение изменяющихся значений электрического импеданса в процессе заморозки ткани на разных частотах зондирующего тока, визуализация изменения импеданса и в ближайшей перспективе определение границ и степени промерзания ткани, а также определение достаточного уровня заморозки, что в результате сможет повысить качество проводимых криопроцедур. В связи с потребностью в высоком качестве деталей изготовление комплектующих для инструментов производилось при помощи фотополимерной 3D-печати.



Рис. 1. Экспериментальные образцы криоинструментов

Программно-аппаратный комплекс, включающий в себя разрабатываемые инструменты, позволит на новом уровне осуществлять термобиоконтроль за криовоздействием, что в будущем повысит качество проведения криопроцедур.

УДК 7.023.1-034:620.92

ЛОПАСТНЫЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ С ВНУТРЕННЕЙ УПОРЯДОЧЕННОЙ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Учащиеся 10 класса Грудько Е. А.[1], Савицкая Е. Н.[1]
Заведующий лабораторией Есман Д. Ю.[1], кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.[1,2]
[1]УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Одной из важнейших задач проектирования современных конструкций сложных изделий является снижение их материалоемкости. Избыточный вес конструкции приводит, к увеличению сил трения между деталями механизма, уменьшению износостойкости деталей, а также увеличению энергии, необходимой для движения каждого элемента. При этом конструкция должна обладать необходимой жесткостью и прочностью [1].

Лопасти ветрового генератора являются сложным и основным элементом устройства, определяющим его технические параметры, возможность установки в том или ином месте, а также его габаритные размеры. В зависимости от типа ветрового генератора и географических особенностей вид лопастей может меняться. Важным параметром, при расположении лопаток ветрогенератора, является угол их установки (угол β), который определяется по формуле 1:

$$\beta = \operatorname{arctg}\frac{2R}{3rZ} - \alpha, \quad (1)$$

где R – радиус наружного круга вращения; r – радиус вращения, без учета комля и прикомлевой части; Z – быстроходность кончика данного элемента устройства; α – угол атаки.

Вторым существенным параметром является ширина лопасти (размер «b»), которая определяется по формуле 2:

$$b = \frac{16\pi R(R/r)}{9Z^2 i}, \quad (2)$$

где i – количество лопастей [2].

Ячеистые структуры, полученные при помощи технологии лазерной 3D-печати металлом (SLM), могут найти свое применение для изготовления лопастей электро-ветрогенераторов. Применение этой технологии в производстве лопастей позволит существенно увеличить прочностные характеристики лопасти, что повлияет на срок службы детали, а также повысить КПД установки за счет увеличения устойчивости к сильным порывам ветра.

Для моделирования внутренней структуры детали использовано программное обеспечение САПР SolidWorks. Среди рассмотренных вариантов есть пять структур, позволяющих значительно снизить массу детали: многогранная стержневая структура, структура элементов в виде буквы X и структуры в виде скрещивающихся стержней рис. 1 [3].

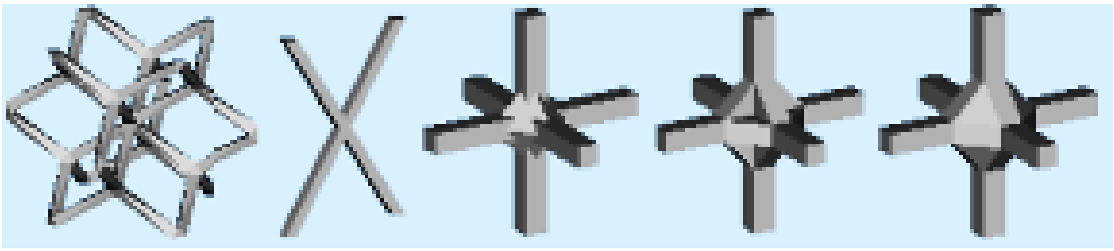


Рис. 1. Структуры, обеспечивающие наименьшую массу детали

Литература

1. Модельный анализ пластичных ячеистых объектов периодической структуры / В. В. Напрасников [и др.] // Белорусский национальный технический университет г. Минск.

2. Исследование ветроэнергетической установки: для энергетических специальностей УВО / сост. И. Н. Прокопеня [и др.]. – Минск: БНТУ, 2019. – 24–30 с.

3. Елисов, В. П. 3D-печать металлическими порошками деталей РКТ с применением ячеистых структур / В. П. Елисов, Д. В. Черепанов, А. Д. Рыков // Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева Российская Федерация, г. Красноярск.

УДК 67.02

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ СТЕЛЕК

Студенты гр. 11307222 Добровольская Е. Д., Андрушкевич И. В.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Ортопедические стельки – это доступный и эффективный метод восстановления биомеханики ходьбы. Стельки корректируют положение стопы в покое, выравнивают ее положение при движении, поддерживают и разгружают своды, улучшают амортизационные свойства стопы, помогают правильно распределить нагрузку при ходьбе с проблемных участков на другие элементы стопы.

Комбинация этих элементов в различных сочетаниях в структуре стелек дает нужный эффект: каркас обеспечивает правильное положение стопы при движении, он не дает стопе «заваливаться» в какую-либо сторону; валик Зейца - поддерживает поперечный свод; поддержка продольных сводов осуществляется за счет выкладки внутреннего и внешнего свода; пяточный амортизатор гасит нагрузку, снимает давление с пяточной области; супинаторы и пронаторы помогают каркасу удерживать стопу от «заваливания»; стелька может иметь зоны разгрузки и жесткие зоны, бортики и бугорки в местах разгрузки или поддержки необходимой части стопы [1].

3D-печатное производство стелек состоит из четырех этапов. Первый этап – 3D-сканирование. Пациент посещает клинику, где проводится 3D-сканирование ноги.

Пациент помещает ногу на подометр, контролируеся правильность размещения и запускается процесс сканирования, затем пациент устанавливает вторую ногу, и процесс повторяется.

После завершения работы программа напишет отчет о сканировании, а также создаст два STL-файла и фотографии левой и правой ноги.

Второй этап – 3D-моделирование стельки. Файлы, полученные на первом этапе, получает врач-ортопед, в соответствии с планом лечения приступает к моделированию будущей стельки.

Сначала файлы для левой и правой стопы загружаются в программное обеспечение STL, затем корректируются линия изгиба сустава и центральные точки. Затем начинается моделирование стельки.

При моделировании необходимо задать такие основные параметры, как толщина и ширина стельки, ее высота. В основном это зависит от типа обуви, для которой предназначена стелька. При создании стельки врач может в любой момент оценить положение стопы на стельке и ее прилегание к ней, а также внести любые необходимые корректировки.

Третий этап – 3D-печать. В зависимости от желания и требуемой отделки стельки, можно установить наполнитель, а также выбрать, следует ли заполнять первый и последний слои. Это влияет на скорость печати, а также улучшает сцепление с поверхностью при использовании некоторых материалов для стелек с плотным верхом.

Четвертый этап – Обработка и доводка. Сразу после печати на 3D-принтере стельки готовы к отделке. Если во время печати появятся лишние потертости или нужно убрать переходы между слоями и секторами, их можно удалить механическим способом [2].

Применение 3D-печати в производстве дает возможность создавать индивидуальные стельки к каждой конкретной ноге, позволяет проводить необходимую коррекцию будущей стельки еще до ее изготовления, максимально экономить материал, тем самым уменьшая затраты на окончательную обработку и доводку готового изделия.

Литература

1. Для чего нужны ортопедические стельки? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ortonik.ru/articles/dlya-chego-nuzhny-ortopedicheskie-stelki. – Дата доступа: 28.09.2024.

2. 3D печатное производство стелек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.raise3d.com/case/a-guide-to-the-stages-of-3d-printed-production-of-orthopedic-insoles/i. – Дата доступа: 28.09.2024.

УДК 681.1

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНТРАКТУР КОЛЕННОГО СУСТАВА

Студент гр. 11307222 Добровольская Е. Д.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Подавляющее большинство нарушений функций конечностей являются результатом нарушений опорно-двигательного аппарата. В повседневной жизни коленные суставы подвергаются большим нагрузкам, что приводит к их постепенному изнашиванию и дальнейшей повышенной вероятности получения травм. Очень часто травмы являются причинами снижения или утраты трудоспособности. Это происходит из-за позднего обнаружения, отсутствия верного лечения или нарушения реабилитации. Своевременное и правильное использование средств восстановительной терапии влияет на продолжительность лечения и реабилитации. Функциональное восстановительное лечение имеет большое значение, особенно в послеоперационный период.

Контрактура коленного сустава – стойкое ограничение движений, обусловленное травмой, врожденным пороком развития, дегенеративно-дистрофическим процессом или продолжительной иммобилизацией. Контрактура является достаточно широко распространенной патологией, нередко становится причиной ограничения трудоспособности и выхода на инвалидность [1].

Эффективным способом для разработки контрактур коленных суставов является механотерапия. В ней применяются устройства для пассивной и активной разработок суставов.

Устройство, представленное на рис. 1, предназначено для разработки контрактур коленного сустава, и включает в себя следующие основные элементы: лоток для бедра *1*, служащий для

регулировки бедра пациента по высоте и совмещения оси коленного сустава с осью шарниров; рукоятка для регулирования лотка для бедра по высоте *2*; шарниры аппарата в области колена *3*, при настройке аппарата необходимо расположить ось коленного сустава на оси шарниров; установочный винт для регулировки по длине бедра в соответствии с антропометрическими данными пациента *4*; рукоятки для регулирования лотка для голени по высоте *5*; лоток для голени *6*, служит для фиксации голени пациента; лоток для стопы *7*, располагает стопу пациента в удобном для него положении; установочный винт для регулировки угла положения стопы и поворота лотка для стопы *8*; рукоятка для регулировки поворота и высоты лотка для стопы, а также для его демонтажа *9*; установочный винт для регулировки по длине голени *10* (рис. 1).

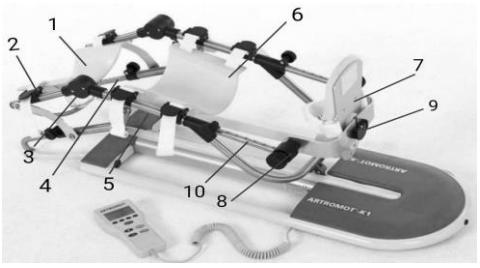


Рис. 1. Устройство для разработки контрактур коленного сустава

Устройство для разработки контрактур коленного сустава оказывает циклическое воздействия на конечность, позволяя сгибать и разгибать ее в диапазоне 0–120°.

Внедрение в клиническую практику тренажеров для восстановительного лечения уменьшит количество послеоперационных контрактур, связанных с недостаточной послеоперационной реабилитацией пациентов, позволит сократить сроки госпитального лечения, снизить сроки нетрудоспособности больных.

Литература

1. Контрактура коленного сустава – причины, симптомы, диагностика и лечение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.krasotaimedicina.ru/diseases/traumatology/knee-contracture#:~:text=Контрактура%20коленного%20сустава%20(от%20лат.,трудоспособности%20и%20выхода%20на%20инвалиность – Дата доступа: 25.02.2025.

2. Механотерапевтический аппарат для разработки контрактур коленного сустава [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/110738/126-130.pdf?sequence= 1&isAllowed=y. – Дата доступа: 25.02.2025.

УДК 628.973.9

ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Студенты гр. 11309122 Дудик С. А., Добровольская С. А.
Кандидат техн. наук, доцент Зайцева Е. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Освещение может как подчеркнуть выгодные стороны товара, так и выделить некоторые его изъяны. Ювелирные изделия нуждаются в световой «огранке» больше других из-за небольших размеров. Качество светового дизайна определяется значениями цветовой температуры и показателя цветопередачи (CRI) используемого света.

Цветовая температура, выражаемая в Кельвинах, определяет оттенок цвета, излучаемого светом, варьируясь от 2000 до 6000 К. Свет с низкой цветовой температурой имеет желтоватый оттенок, в то время как при более высокой температуре излучаемый свет приобретает голубоватые, более холодные тона.

Цветовая точность (CRI) отражает способность источника света адекватно передавать цвета объектов. Солнечный свет обладает наивысшей цветовой точностью, равной 100, в то время как искусственное освещение имеет показатели от 50 до 95.

Бриллианты, золото, серебро и драгоценные камни раскрывают свою истинную красоту под естественным дневным светом. Хотя полностью воспроизвести солнечный свет невозможно,

можно добиться близкого результата. Светодиоды, благодаря своему цветовому спектру, максимально приближены к солнечному, и именно они способны наиболее полно продемонстрировать красоту ювелирных изделий.

На рис. 1 приведены графики спектрального распределения солнечного излучения и светодиодной лампы, в которой используются светодиоды с фиолетовым светом, покрытые трехкомпонентным люминофором, где фиолетовый свет преобразуется в близкий к солнечному с полноценной красной, зеленой и синей составляющей [1]. Спектр света таких светодиодов действительно похож на спектр солнечного света, а индекс цветопередачи составляет около 97.

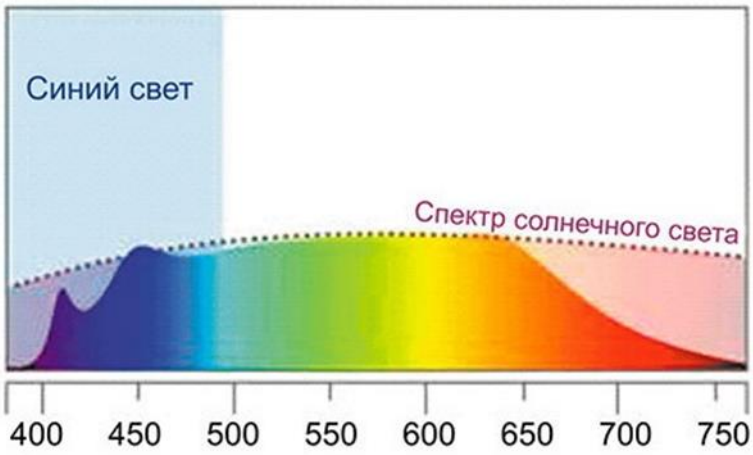


Рис. 1. Графики спектрального распределения солнечного спектра и светодиодной лампы с преобразованием фиолетового цвета [1]

Если сравнить спектр других ламп с солнечным, будет заметно их большое различие, следовательно, изменится восприятие цвета ювелирных украшений.

Литература

1. Overclockers. Почему свет светодиодных ламп вреден для зрения, а солнечный нет / Н. Никифоров. – 8 сентября 2024, воскресенье 10:15. – Режим доступа: https://overclockers.ru/blog/ remont_ accumulyatora_ noutbuka/show/178915/Lampochki-ubijcy-ili-pochemu-svet-svetodiodnyh-lamp-vreden-dlya-zreniya-a-solnechnyj -net. – Дата доступа: 18.02.25.

УДК 681

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК

Студент гр. 4911 Зайцева Е. А.
Д-р тех. наук Бразовский К. С.
Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

Введение. В настоящее время для измерения параметров жизнеспособности клеток применяется проточная цитофлуометрия с использованием специализированных меток. Этот метод характеризуется высокой чувствительностью и специфичностью, однако требует применения дорогостоящих реагентов с небольшим сроком годности. Альтернативные методики обнаружения клеток в состоянии существенно сниженной жизнеспособности основаны на измерение электрических свойств клеточных культур.

Цель. Показать возможность использования метода широкополосной электроимпедансной спектроскопии для оценки жизнеспособности опухолевых клеток.

Материалы и методы. Образцы «живых» и зафиксированных спиртом («мертвых») опухолевых клеток. Для измерения импеданса клеток использовался прибор GW Instek LCR- 78101G и пакет программного обеспечения. Измерения проводились в диапазоне частот от 20 Гц до 1 МГц.

Образцы опухолевых клеток объемом 1 мл помещались в специальную кювету с подключенными к ней электродами. Далее через них пропускался переменный ток с указанной выше частотой, происходило определение импеданса. Результаты измерений записывались в файл формата xls. Далее проводилась нормировка полученных данных и сравнение групп. Были построены графики зависимости значения импеданса от частоты. Статистический анализ данных проводился с помощью пакета программ RStudio версии 4.3.1.

Результаты. Были получены зависимости импеданса от частоты для исследованных проб опухолевых клеток. После проведения сравнения групп и постройки графиков было установлено, что значение импеданса «живых» клеток значимо выше, чем у «мертвых».

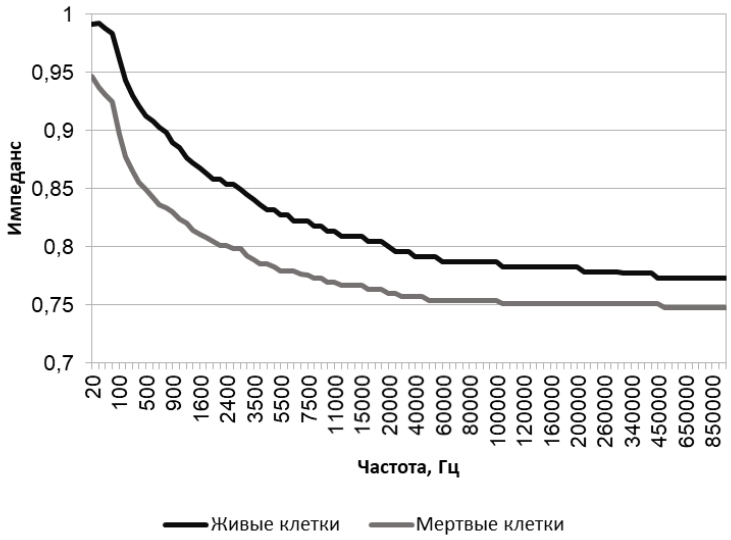


Рис. 1. Графики зависимости значения импеданса от частоты для «живых» и «мертвых» клеток

Данный результат объясняется тем, что мембраны «живых» клеток неповреждены и при прохождении через них электрического тока значение сопротивления выше, как и значение импеданса. У «мертвых» клеток мембраны могут быть не только повреждены, но и полностью разрушены, что приводит к снижению значения сопротивления в контексте проводимого измерения.

Выводы. На основании проведенного исследования было установлено, что метод широкополосной электроимпедансной спектроскопии может использоваться для оценки жизнеспособности опухолевых клеток.

УДК 681

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКОМ СКРИНИНГЕ СОАС

Студент гр. 4911 Захарова М. С., ассистент Митриченко У. М.
Кандидат тех. наук, доцент Аксенов С. В.
Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

В последние годы нарушения дыхания во сне (НДС) выделяют как один из механизмов прогрессирования и развития осложнений хронических неинфекционных заболеваний.

Наиболее изученным видом НДС является синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) – состояние, при котором регистрируют повторяющиеся эпизоды отсутствия дыхания во сне свыше 10 секунд (апноэ/гипопноэ) в следствие периодического спадения верхних дыхательных путей на уровне глотки, храп, гипоксемию, избыточную дневную сонливость и грубую фрагментацию сна [1].

Распространенность клинически выраженных НДС составляет около 15 % у лиц терапевтического профиля и возрастает по мере присоединения сопутствующих патологий, достигая 50–98 % у больных с морбидным ожирением; 35–80 % среди пациентов с артериальной гипертен-

зией (АГ), 38–65 % при ишемической болезни сердца (ИБС), 38–72 % среди пациентов, перенесших инсульт, 35–40 % при сердечной недостаточности (СН) и 56–74 % у пациентов с нарушениями ритма. Учитывая современную тенденцию к старению населения и пандемию ожирения, что признано основными факторами риска СОАС, ожидается неуклонный рост развития НДС.

К сожалению, многие специалисты не обладают навыками расшифровки инструментальных методов диагностики НДС (наиболее распространенный – респираторный мониторинг) и не осведомлены о методах диагностики и ведения пациентов [2]. Выходом может стать система принятия решений для специалистов первичного звена, основанная на анализе анамнеза пациента и результатов респираторного мониторинга.

Было проведено обследование группы из 140 пациентов обоего пола с различными хроническими неинфекционными заболеваниями: ХОБЛ (n = 15), бронхиальная астма (n = 22), ожирение (n = 106), гипертоническая болезнь (n = 73), сахарный диабет 2 типа (n = 30), предъявлявших жалобы на нарушения дыхания во сне (храп, остановки дыхания, ночные пробуждения от нехватки воздуха). Возраст обследуемых составил от 18 до 70 лет включительно.

Всем пациентам проведено стандартное общетерапевтическое объективное обследование (включая измерение АД, роста, веса, расчет ИМТ), был собран анамнез и выполнен ночной респираторный мониторинг (с фиксацией SpO2, пульса, назального потока и актиграфии).

На основании современных клинических рекомендаций по диагностике и лечению СОАС была разработана система индивидуальных рекомендаций, учитывающая различные варианты анамнеза, объективных данных и результатов диагностики. Данная система в зависимости от исходных индивидуальных данных может предложить: консультации узких специалистов, меры по приверженности к здоровому образу жизни (отказ от курения, снижение массы тела), а также специфические методы дообследования (проведение респираторного мониторинга с оценкой дыхательных усилий, полисомнографии) и лечения выявленных нарушений дыхания во сне в зависимости от степени тяжести (позиционная терапия, использование внутриротовых устройств, упражнения для укрепления мышц мягкого неба, проведение CPAP и BIPAP терапии).

Данная система принятия решений способна облегчить ведение пациентов с выявленными нарушениями и их маршрутизацию к специалистам узкого профиля и может быть успешно внедрена в повседневную амбулаторную практику. Это позволит усовершенствовать диагностику и лечение нарушений дыхания во сне, которые признаны одним из важных факторов развития и прогрессирования сердечно-сосудистых, эндокринных и других заболеваний.

Литература

1. Синдром обструктивного апноэ сна: диагностика и консервативное лечение. Позиция невролога / Крюков А. И. [и др.] // Методические рекомендации. – Москва, 2020. – 25 с.

УДК 616.831-009.11-053.2:616.7+629.32

ВЕЛОСИПЕД ДЛЯ ДЕТЕЙ БОЛЬНЫХ ДЦП

Студент гр. 11307222 Иванова Е. И.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Детский церебральный паралич (ДЦП) – это комплекс специфических двигательных нарушений, возникших в результате поражения центральной нервной системы ребенка в процессе внутриутробного развития, во время родов или в первые 1–2 года жизни. Патология проявляется нарушением двигательных функций различной степени тяжести от легких затруднений до полной неподвижности. Как правило, ребенок с детским церебральным параличом имеет также речевые и/или психические нарушения, различные формы задержки умственного развития.

Патология относится к неизлечимым, и основной задачей врачей является максимальное устранение неприятных симптомов, профилактика осложнений и адаптация ребенка к жизни в обществе [1].

Реабилитационные мероприятия подбираются в индивидуальном порядке с учетом формы заболевания, выраженности симптомов, возраста ребенка. Одним из видов реабилитации является лечебная физкультура и механотерапия для укрепления мышц, овладения элементарными навыками.

Одним из технических средств для осуществления такого вида реабилитации является трехколесный велосипед для детей больных ДЦП (рис. 1).



Рис. 1. Трехколесный велосипед для детей больных ДЦП

Такие велосипеды состоят из низкой рамы для удобства посадки ребенка, регулируемого сиденья со спинкой и фиксирующими ремнями, регулируемого по высоте и углу наклона руля, педалей с фиксаторами для ног и родительской ручки для помощи ребенку при передвижении.

Данное реабилитационное средство способствует: развитию мышечной силы, развитию вестибулярного аппарата, развитию пространственного осознания, развитию навыков движения ног для последующего обучения ходьбе, профилактике контрактур, развитию и поддержанию гибкости суставов, поддержанию правильной осанки и мышечного тонуса верхних и нижних конечностей, развитию контроля туловища, плеч и головы [2].

Таким образом, применение трехколесного велосипеда для детей больных ДЦП в реабилитационных целях позволяет разрабатывать мышцы ног, что способствует дальнейшему обучению ходьбе.

Литература

1. Детский церебральный паралич у детей – СМ – Доктор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.smdoctor.ru/disease/dtsp/. – Дата доступа: 21.02.1025.

2. Велосипеды для детей с ДЦП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://med-ob.by/velosipedy-dlya-dcp/. – Дата доступа: 21.02.2025.

УДК 620.179.14

ДВУХКООРДИНАТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

Студент гр. 11302122 Ивашко Е. Д.
Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для листового проката сталей, в первую очередь холоднокатаной, важно не только знать механические характеристики, определяющие прочностные и иные эксплуатационные свойства, но и однородность свойств в плоскости листа. Неоднородность свойств листовой стали определяется как структурой, так и текстурой металла. Наибольшее практическое значение имеет исследование несимметричности или анизотропии механических свойств стального листового проката. Анизотропию механических свойств обычно описывают коэффициентом анизотропии R [1, 2], представляющий собой отношение логарифмической деформации по ширине к логарифмической деформации по толщине образца на участке равномерной деформации при испытаниях на растяжение. Растяжение осуществляют заранее подготовленного набора из трех образцов, вы-

рубленных так, чтобы направление растяжение совпадало с направлением прокатки, было перпендикулярно направлению прокатки и находилось под углом в 45° по отношению к направлению прокатки.

В работе [3] было показано, что оценить наличие и величину анизотропии механических свойств листового проката сталей можно по магнитной анизотропии, которую можно описать как относительную разницу величин нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных на определенном расстоянии от центра намагниченного участка вдоль и поперек направления прокатки. Для установления значения искомого расстояния от центра намагничивания необходимо снимать распределение величины остаточной намагниченности по поверхности исследуемых материалов в разных направлениях относительно прокатки стального листа. В исследовательских целях такие измерения осуществляются вручную, с отсутствием какой-либо автоматизации, что приводит к погрешностям, вызванным человеческим фактором.

Для повышения точности построения распределения величины напряженности поля остаточной намагниченности по поверхности плоского ферромагнитного образца необходимо использовать автоматические средства. Наиболее простым решением является устройство, построенное на базе двухкоординатного стола с возможностью поворота. Использование в таком устройстве шаговых двигателей позволит задавать любой шаг для получения распределения величины остаточной намагниченности по стальному листу, обеспечит возможность точного возвращения в начальную точку отсчета. Поворотный механизм позволит точно выставлять необходимый угол относительно направления прокатки, что часто бывает необходимо при исследованиях поведения магнитной анизотропии в образцах листовой стали.

Особенностью двухкоординатного стола для целей оценки анизотропии механических и магнитных свойств холодно- и горячекатаного стального проката, в отличии от широко используемых в приборостроении и других сферах аналогичных столов, например, стола микроскопа, является необходимость обеспечивать минимальный зазор (а в идеале его отсутствие) между исследуемым образцом и передвигающимся вдоль заданного направления феррозондового датчика, что приводит к усложнению конструкции устройства и необходимости модернизации существующих конструкций аналогов.

Литература

1. Томленов, А. Д. Влияние анизотропии листового металла на процессы пластического формоизменения / А. Д. Томленов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1962. – № 4. – С. 1–2.

2. Шевелев, В. В. Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку / В. В. Шевелев, С. П. Яковлев – М.: Машиностроение, 1972. – 133 с.

3. Бурак, В. А. Анизотропия магнитных свойств листового проката из стали 35 / В. А. Бурак, В. Ф. Матюк, А. С. Счастный // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2019. – № 3. – С. 17–31.

УДК 681

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА КЛЕЕВОЙ ОСНОВЫ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЛЕНТ

Студент гр. 51315024 (магистрант) Иоффе К. В.
Кандидат техн. наук, доцент Монич С. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель исследования: оценить влияние различных факторов на клеевую основу изоляционных лент с целью выявления оптимальных условий для повышения их эксплуатационных характеристик и долговечности.

В работе проведен обзор литературных источников, посвященных исследованию влияния различных факторов на адгезионные свойства клеевых основ изоляционных лент. Также рассмотрены методы и приборы для оценки усилия отрыва клеевых лент.

Температурное воздействие на клеевую основу тесно связано с природой взаимодействующих сил между двумя поверхностями. В случаях, когда адгезия обусловлена молекулярными силами, температура оказывает незначительное влияние на адгезию. Напротив, при химическом

взаимодействии температура оказывает существенное влияние на работу адгезии. Следовательно, характер работы адгезии с температурой может служить индикатором того, является ли взаимодействие физическим или химическим.

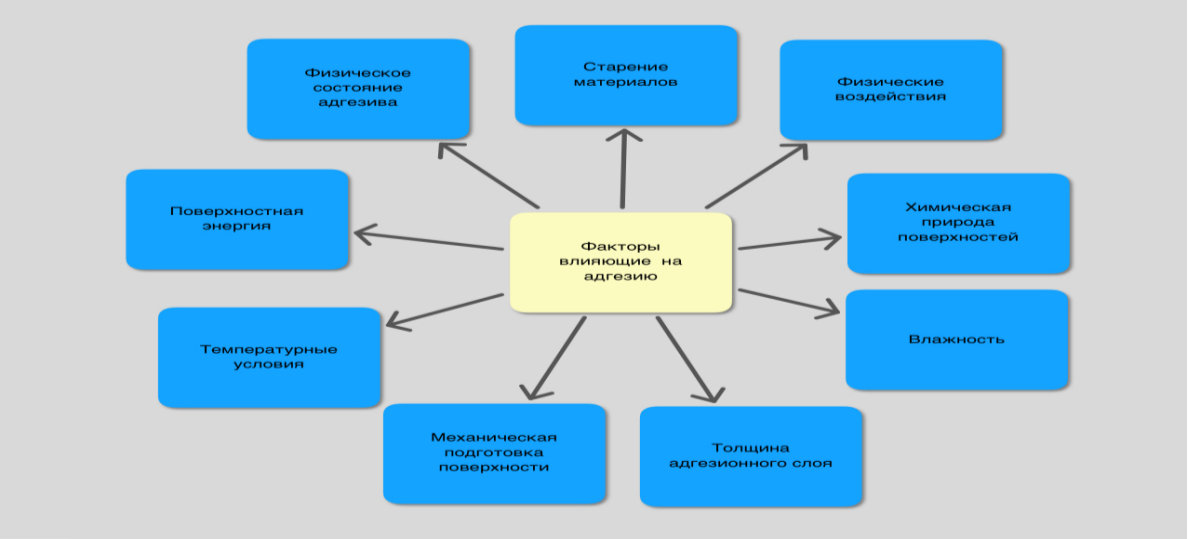


Рис. 1. Виды факторов, оказывающих влияние на адгезионные свойства

Таким образом, можно сделать вывод, что даже в относительно простых системах, где наблюдается физическое взаимодействие, предсказать влияние температуры на процесс склеивания заранее не удается. Поэтому зависимость адгезии от температуры приходится определять экспериментальным путем, а не расчетным [1].

Кроме того, повышение температуры способствует увеличению теплового движения макромолекулярных цепей и их сегментов, что в свою очередь способствует усилению адгезии при склеивании различных поверхностей.

Рассмотрим влияние на адгезионную прочность относительной влажности воздуха. Проще всего это будет сделать в системах, которые не претерпевают физико-химических изменений под действием паров воды, на примере фторопласты (марки Ф-3), прилипшей к поверхности из стали. Во время опытов наблюдается снижение адгезионной прочности пленки Ф-3, после выдерживания ее при относительной влажности воздуха 95 % [2].

Исходя из этого, можно сделать вывод, что влажность оказывает сильное влияние на адгезионные способности клеевых основ.

Литература

1. Андреевская, Г. Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики / Г. Д. Андреевская, 1966. – 372 с.

2. Зимон, А. Д. Адгезия пленок и покрытий / А. Д. Зимон 1977. – 352 с.

УДК 681

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ УСИЛИЯ ОТРЫВА КЛЕЙКИХ ЛЕНТ

Студент гр. 51315024 (магистрант) Иоффе К. В.
Кандидат техн. наук, доцент Монич С. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель исследования. Усовершенствование методики испытания усилия отрыва клейких лент для повышения точности и достоверности результатов при оценке их адгезионных свойств.

В работе проведен обзор литературных источников в области адгезионных способностей клейких лент, а также проведено исследование приборов для определения усилия отрыва клейких лент. Разработана принципиальная схема устройства определения усилия неравномерного

отслаивания образца гибкого материала от жесткой пластины с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания 90° (рис. 1)

В результате анализа провеления испытания было выяснено что при приложении внешнего усилия к одному концу испытуемого гибкого материала под его действием в адгезионном соединении возникают нормальные и тангенциальные напряжения, приводящие к его разрушению. В этом случае усилие отслаивания Fотс может быть разложено на две составляющие: нормальную *Fn* отс, действующую под углом 90° к поверхности жесткой пластины, и тангенциальную *Fτ* отс, направленную горизонтально [1].

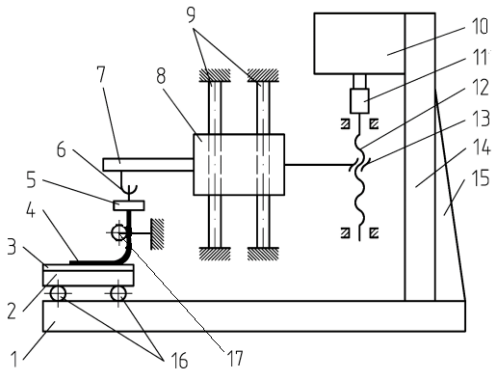


Рис. 1. Принципиальная схема устройства определения усилия неравномерного отслаивания образца гибкого материала от жесткой пластины с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания 90°

На рис. 1 представлена принципиальная схема устройства для определения усилия отслаивания образца гибкого материала от жесткой пластины с саморегулируемым углом отслаивания. Устройство состоит из массивного основания 1, на котором с помощью подшипников качения 16 установлена подвижная горизонтальная каретка 2. На каретке фиксируется жесткая пластина 3, прикрепленная к ней с помощью резьбовых захватов. На поверхности пластины находится испытуемый образец гибкого материала 4, свободный конец которого зафиксирован в захвате 5. Через зацепы 6 захват соединен с тензометрическим датчиком усилия 7, который крепится на каретке 8. Ролик 17 служит для удержания угла отрыва 90°. Электродвигатель постоянного тока 10 с редуктором, установленный на вертикальной стойке 14, приводит в движение ходовой винт 12 через муфту 11. При вращении винта передача «винт-гайка» 13 обеспечивает поступательное движение каретки по направляющим 9, что создает усилие отслаивания образца от жесткой пластины. Стойка дополнительно укреплена планкой 15 для повышения жесткости конструкции [1].

Литература

1. Устройство определения усилия неравномерного отслаивания клеевого слоя гибких материалов от жесткой пластины. / М. Г. Киселев [и др.]. – 2020. – 51с.

УДК 534.131:534-8

ОБЛАЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ WOLFRAM CLOUD В МЕХАНИКЕ КОЛЕБАНИЙ

Аспирант Киндрук А. Н.
Д-р техн. наук, доцент Степаненко Д. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наиболее простым способом вывода дифференциальных уравнений, описывающих колебания механических систем с распределенными параметрами, является их получение из фундаментальных вариационных принципов механики, таких как принцип наименьшего действия Гамильтона. В этом случае дифференциальные уравнения колебаний получаются как уравнения Эйлера-Лагранжа для функционала действия. Недостаток такого подхода заключается в том, что в некоторых ситуациях при рассмотрении функционалов, содержащих функции нескольких переменных с производными старше второго порядка, вывод уравнений Эйлера-Лагранжа может быть достаточно трудоемким. Возможным решением этой проблемы является применение символьных вычислений с помощью систем компьютерной алгебры (СКА). Широко используемыми

СКА являются Maple и Mathematica. В 2014 году компанией Wolfram была разработана облачная технология Wolfram Cloud, делающая возможной дистанционную работу с СКА Mathematica без установки самого приложения, в том числе работу с пакетом «Вариационные методы», позволяющим генерировать уравнения Эйлера-Лагранжа для заданной формы функционала действия. В качестве примера была рассмотрена генерация дифференциальных уравнений, описывающих изгибные колебания кольца с зависящими от дуговой координаты s значениями продольной и изгибной жесткости K1[s] = ρ[s]A[s], K2[s] = E[s]I[s], где ρ – плотность материала, A – площадь поперечного сечения, E – модуль продольной упругости, I – осевой момент инерции поперечного сечения (здесь по принятому в СКА Mathematica соглашению аргументы функций записаны в квадратных скобках; использование обозначений E и I является нежелательным, так как они могут быть интерпретированы как основание натуральных логарифмов и мнимая единица). Реализация примера представлена на рис. 1.

```
In[3]:= Needs["VariationalMethods`"]
In[8]:= EulerEquations[K1[s] R^2 (R^2 (∂{s,1} v[s, t])^2 + (∂t v[s, t])^2), v[s, t], {s, t}]
Out[8]= 2 R^2 (R^2 K1'[s] v^(1,2)[s, t] + K1[s] (-v^(0,2)[s, t] + R^2 v^(2,2)[s, t])) == 0

In[7]:= EulerEquations[K2[s] R^2 (R^2 (∂{s,3} v[s, t])^2 + 2 ∂{s,3} v[s, t] ∂s v[s, t] + (∂s v[s, t])^2 / R^2), v[s, t], {s, t}]
Out[7]= -2 (K2[s] v^(2,0)[s, t] + 3 R^2 K2''[s] v^(2,0)[s, t] + R^2 K2^(3)[s] (v^(1,0)[s, t] + R^2 v^(3,0)[s, t]) + 2 R^2 K2[s] v^(4,0)[s, t] + 3 R^4 K2''[s] v^(4,0)[s, t] + K2'[s] (v^(1,0)[s, t] + 4 R^2
    v^(3,0)[s, t] + 3 R^4 v^(5,0)[s, t]) + R^4 K2[s] v^(6,0)[s, t]) == 0
```

Рис. 1. Реализация примера в СКА Mathematica

Функция v[s, t] представляет собой амплитуду тангенциальных колебательных смещений, зависящую от дуговой координаты s и времени t. Для получения более компактных результатов выражения для кинетической и потенциальной энергии записаны отдельно друг от друга и умножены на R2, где R – радиус средней линии кольца. В десктоп-версии СКА Mathematica символы степени, дроби и производной вставляются с помощью сочетаний клавиш или через меню. В облачной версии такая возможность отсутствует и поэтому ввод выражений производится в формате Inline InputForm-based Input. В этом случае приведенное на рис. 1 выражение для потенциальной энергии записывается в формате K2[s]R^2(R^2D[v[s, t], {s, 3}]^2 + 2D[v[s, t], {s, 3}]D[v[s, t], s] + D[v[s, t], s]^2/R^2), а затем автоматически преобразуется в выражение с более естественным математическим синтаксисом. Полученное дифференциальное уравнение совпадает с уравнением, вытекающим из общей формы записи уравнений Эйлера-Лагранжа для функционалов, содержащих старшие производные функции нескольких независимых переменных [1, с. 192, уравнение (26)], что подтверждает корректность и эффективность рассмотренного подхода.

Литература

1. Courant, R. Methods of mathematical physics. Vol. I / R. Courant, D. Hilbert. – N.Y.: John Wiley & Sons, 1989. – 560 p.

УДК 683.887.3

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАРИКОВЫХ ЛИНЗ

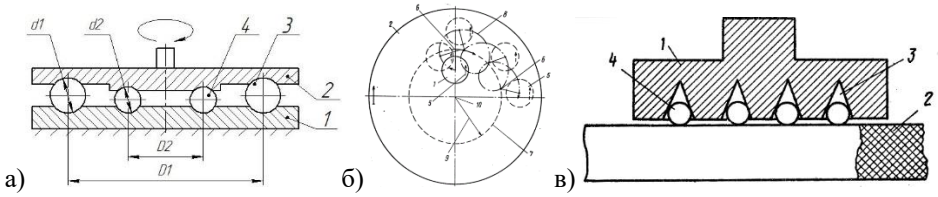
Студенты гр. 11302123 Маковская В. М., Цумарев Я. Д.
Кандидат техн. наук, доцент Филонова М. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Шариковые линзы делятся на линзы больших и малых диаметров. Линзы больших диаметров применяют в основном для создания широкоугольных фотографий и в метеорологии, а конкретно в приборах гелиографах. На практике чаще всего применяют шариковые линзы малых диаметров – от 5 мм до 110 мкм – для формирования параллельных лучей в световодных системах и в качестве заготовок для последующего формирования линз, например, при штамповке линз сложных форм или для получения плосковыпуклых линз.

Технология изготовления шариковых линз состоит из трех этапов: обработки кубических заготовок, шлифования и полирования. В качестве заготовок используются предварительно нарезанные из кварцевого стекла кубики. Кубикам при помощи первого этапа – галтовки – придается

первоначальная сферическая форма. Данный этап имеет определенные недостатки, такие как неравномерность итоговой формы и большое количество разрушенных заготовок [1]. Второй этап – шлифование. Третий – полирование при помощи двух встречных абразивных кругов с зазором между ними, равным диаметру шарика. У данного метода есть недостаток в виде длительности обработки.

По другому способу обработки шариков инструмент состоит из двух планшайб 1 и 2. На обращенных друг к другу планшайбах выполнены круговые канавки, в которых происходит обработка шариков (рисунок 1, *а*) [2].



а) б) в)

Рис. 1. Способы обработки линз

Известен способ обработки [3], где используются специальные приспособления с коническими отверстиями, которые затем устанавливаются на шлифовальный круг и при помощи сложных перемещений обрабатывают сферические поверхности (рисунок 1, *б*, *в*).

Целями технологий изготовления линз является получения оптической детали с радиусами кривизны менее 15 мм, погрешностью оптических поверхностей $N \leq 1$ $\Delta N \leq 0{,}1$ и чистотой P не грубее 20-го класса. Рассмотренные технологии позволяют повысить производительность процесса изготовления вместе с повышением точности обрабатываемых поверхностей.

Литература

1. Козерук, А. С. Технология оптического приборостроения/ А. С. Козерук, А. Ю. Луговик. – Минск: БНТУ, 2005. – 118 с.

2. Патент № 14013, Республика Беларусь, МПК (2009), B 24B 11/00. инструмент для обработки шариков: № 20081626 : заявл. 2008.12.18 : опубл. 2010.08.30 / Козерук Альбин Степанович; Филонова Марина Игоревна; Сухоцкий Александр Анатольевич; Кузнечик Валерия Ольгердовна; Подскребкин Иван Вячеславович – 2 с.

3. Патент № 1510250, Российская Федерация, МПК B24B 11/02. Способ шлифования шариков : № 4242987/08 : заявл. 27.05.1995 : опубл. 10.12.1995 / Васин Л. Н., Коробченко И. А. – 7 с.

УДК 681.586.48

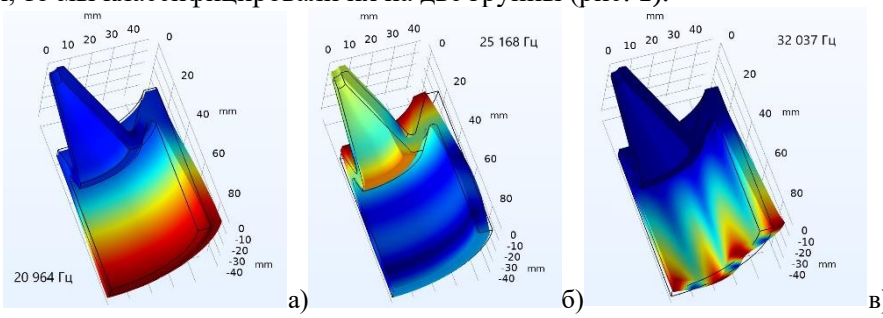
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНЦЕНТРАТОРА

Студент гр. 11302123 Маковская В. М.
Д-р техн. наук, доцент Степаненко Д. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Ультразвуковое излучение характеризуется нижним порогом частот 20 кГц. Для передачи ультразвуковых колебаний от преобразователя в среду используют концентраторы – устройства для увеличения интенсивности ультразвука (амплитуды колебательного смещения частиц) [1]. Максимальная амплитуда колебаний будет достигаться при работе концентратора на частоте собственных колебаний. Простейший ультразвуковой концентратор состоит из двух последовательно соединенных цилиндрических стержней разного диаметра. Собственные частоты колебаний такого концентратора можно определить с помощью стандартных формул [1], т. к. он имеет простую форму и уравнение его колебаний легко поддается интегрированию.

В данной работе проводится определение собственных частот для концентратора более сложной формы, функцией которого является увеличение амплитуды колебательного смещения с последующей фокусировкой звукового давления. В этом случае применение стандартных расчетных формул является невозможным и поэтому собственные частоты концентратора рассчитывались методом конечных элементов в программе COMSOL Multiphysics. Геометрическая модель концентратора создавалась вращением плоского сечения вокруг заданной оси. Т. к. концентратор представляет собой симметричное геометрическое тело, то для упрощения модели вместо

целого концентратора могут рассматриваться четверть или половина модели с наложением симметричных граничных условий на плоскости разреза. В работе рассматривается как четверть модели (это позволяет исключить колебания, сопровождающиеся изгибом оси концентратора, однако приводит к потере собственных форм, для которых в длину окружности укладывается нечетное число длин волн λ), так и половина модели (что дает наиболее полный набор собственных форм). Материал модели – алюминий. По результатам работы программы мы получили несколько значений собственных частот выше 20 кГц, соответствующих различным собственным формам. Т. к. схожие распределения колебательных смещений наблюдались на разных собственных частотах, то мы классифицировали их на две группы (рис. 1).



а) б) в)

Рис. 1. Картина распределения колебательных смещений в концентраторе

Распределения первой группы (а) и (б) соответствуют рабочим резонансным частотам, для которых концентратор будет обеспечивать фокусировку звукового давления на его оси. Распределения второй группы (в) соответствуют нерабочим частотам, т. к. в данном случае фокусировки на оси наблюдаться не будет. Распределения типа (в) могут наблюдаться как для четного количества волн λ, так и для нечетного (при рассмотрении половины модели).

Литература

1. Киселев, М. Г. Ультразвук в медицине: монография / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, Д. А. Степаненко. – Минск: БНТУ, 2009. – 427 с.

УДК 615.47

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

Студент гр. 11317221 Малащенко В. С.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Подвижность голеностопного сустава играет важную роль в поддержании нормальной функции нижних конечностей и обеспечивает координацию движений при ходьбе, беге и других повседневных активностях.

Травма голени или голеностопного сустава – эта одна из самых частых и опасных травм человека. Одним из видов мероприятий, способных востоновить опорно - двигательный аппарат является НПД-терапия (непрерыное пассивное движение). Основная задача НПД-терапии – увеличение подвижности изолированного сустава, которая достигается дозированным растяжением тканей (при условии мышечного расслабления) [1].

При частичной иммобилизации стопы используют механические тренажеры для активной разработки, когда пациент может выполнять упражнения предусмотренные курсом лечения. При полной иммобилизации и невозможности самостоятельно выполнять упражнения необходимо устройство, которое будет принудительно воспроизводить движение стопи в полном объеме [2].

С учетом вышесказанного применяются аппараты активного действия, например: блочные, рычажные и другие механизмы, а также аппараты пассивного действия. Аппараты пассивного действия подразумевают, что движения будут совершать исполнительные механизмы, приводящие в движение стопы пациента с помощью электроприводов. С помощью них обеспечивается движение в суставах: сгибание, разгибание, приводящие, отводящие, ротационные.

Рассмотрим конструкцию аппарата пассивного действия, так как этот метод реабилитации после травм позволяет сохранить суставы пациента подвижными, не заставляя его ощущать боль и дискомфорт [3].

Устройство состоит из модуля с платформой-подстопником, имеющего автоматизированный программно-управляемый электропривод, устройства управления им по соответствующему алгоритму, блок обработки информации: контроль силы прижатия и времени контакта.

К достоинствам данной конструкции можно отнести способность с минимальными физическими затратами восстановить поврежденный голеностопный сустав и сократить период реабилитации. Аппарат может применяться как на правом, так и на левом суставе, за счет простого изменения конфигурации аппарата. Пациент может проходить терапию лежа в кровати и сидя на стуле. Конструкция аппарата позволяет осуществлять поворот стопы влево/вправо, то есть совершать движение инверсия/эверсия, а также подошвенное сгибание/разгибание. Данное устройство отличатся простотой конструкции, обладает адаптивностью, то есть регулируется в соответствии с размеру ноги пациента.

Но, не смотря на многочисленные достоинства конструкции этого устройства, так же есть недостатки. Минусом является постоянная настройка аппарата под пациента и риск утери записи определенной методики для него. Что бы минимизировать эти проблемы, предлагается применить чип-карту с помощью которой можно будет сохранять параметры процедуры пациента и быть уверенным в наличии четко сформированной методики. Это позволит сэкономить время на настройку под антропометрические данные каждого пациента и установку режимов реабилитации. Так же достоинством чип-карты является, снижение вероятности ошибок в настройке устройства, тем самым повышение безопасности пациента.

Литература

1. Попов, С. Н. Физическая реабилитация / С. Н. Попов. – М.: Феникс, 2005. – 608 с.

2. Погребенко, Д. Н. Использование механизированных автоматических устройств для реабилитации голеностопного сустава / Д. Н. Погребенко // Новые направления развития приборостроения : материалы 10-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 26−28 апреля 2017 г. : в 2 т. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 2. – С. 175.

3. Погребенко, Д. Н. Создание конструкции устройства для пассивной реабилитации голеностопного сустава / Д. Н. Погребенко, Ж. А. Павленко // Новые направления развития приборостроения : материалы 10-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 26−28 апреля 2017 г. : в 2 т. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 2. – С. 174.

УДК 615.47+615.8-7+616.727.3-009.12-085.82-7

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНТРАКТУР ЛОКТЕВОГО СУСТАВА

Студент гр. 11307222 Николаева Ю. Г.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Достижения в науке XXI века в медицине дали возможность уменьшить неудачные лечения переломов в области локтевого сустава. Однако, на сегодняшний день довольно часто встречаются различные виды травм контрактур локтевого сустава. Для лечения контрактур применяются устройства пассивной и активной разработки. Устройство на рис. 1 предназначено для пассивной разработки контрактур локтевого сустава [1].

Устройство используется для частых повреждений локтевого сустава, послеоперационных состояниях и т. д. Например: растяжения, ушибы суставов, восстановление подвижности сустава под анестезией, артротомия и артроскопия в комбинации с синовэктомией. Однако оно не может использоваться при острых проктологических изменениях в суставе, нестабильном остеосинтезе и статическом параличе. Подходит для использования как правой так левой рук. Применяются в поликлиниках, больницах, реабилитационных центрах и пр.

Преимуществами данного устройства являются простота в использовании, возможность лечения детей в возрасте от 6 лет, высокая эффективность при профилактике осложнений, безболезненное лечение, анатомически правильные движения, два режима скорости, удобный пульт управления. Но также есть и недостаток, это большие габаритные размеры.

Конструкция устройства позволяет осуществлять объем пассивных движений в следующих пределах: сгибание – 140º, разгибание – –5º, пронация – –90º, супинация – 90º.



Рис. 1. Устройство для разработки контрактур локтевого сустава

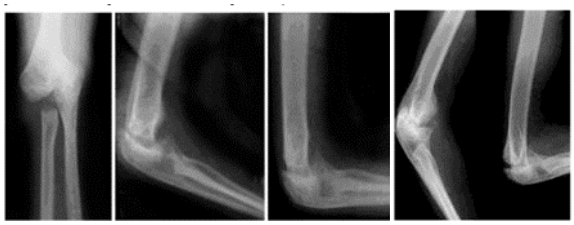


Рис. 2. Рентгенограммы больного при поступлении (слева) и рентгенограммы больного после лечения (справа)

По проведенным исследованиям по восстановлению контрактур человека были получены следующие результаты: исходное разгибание – 110º, сгибание – 80º; после 30-дневного лечения: разгибание – 160º, сгибание – 65º. На рис. 2 показаны рентгенограммы больного при поступлении и больного после лечения [2].

Таким образом, применение устройства позволяет значительно уменьшить срок восстановления сустава, деформирующего артроза и предотвращает атрофию мышц верхней конечности.

Литература

1. Современные методы восстановительного лечения больных с посттравматическими контрактурами локтевого сустава [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://trauma.ru/content/articles/-detail.php?ELEMENT_ID=25261. – Дата доступа: 19.02.2025.

2. Аппарат для разработки локтевого сустава Ormed FLEX-F03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ormed.ru/katalog/reabilitatsiya-sustavov/trenazher-dlya-loktevogo-sustava-ormed-flex-03/. – Дата доступа: 26.02.2025.

УДК 535.317

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ КРЕСЕЛ-КОЛЯСОК

Студенты гр. 11307221 Охремчик В. А., Балевский И. А.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Люди с дефектами развития опорно-двигательного аппарата, тяжелыми травмами и ампутацией ниижних конечностей, инвалиды испытывают сложности и ограначения с передвижением. Кресло-коляско – транспортное средство инвалида, является неотьемлимой частью его повседневной жизни, по этой причине разработка, производство и испытания кресло-колясок являются важным фактором реабилитации инвалидов. Современные конструкции кресло-колясок позволяют инвалидам легко и комфортно передвигаться как в помощении, так и в не его.

Разработанный стенд, предназначен для проверки статической устойчивости кресел-колясок. Стенд применяется на заводах, занимающихся изготовлением инвалидных кресел колясок.

Основной целью испытаний является определение статической устойчивости кресел колясок. Испытание должно проводиться на испытательной плоскости, которой является ровная жесткая поверхность, наклон которой может изменяться. Во время испытания в кресле-коляске должен быть размещен манекен соответствующего размера и массы.

При подготовке к испытаниям кресла-коляски должны быть полностью оснащены для нормального использования, иметь подлокотники и подножки. Если расстояние между осями колес кресел-колясок является величиной переменной, необходимо устанавливать поочередно два

крайних положения его устойчивости. Если колеса могут устанавливаться различными способами, необходимо использовать самый неблагоприятный способ. В случае снабжения кресла-коляски пневматическими шинать, давление воздуха в них должно соответствовать требованиям нормативных документов. На описываемом стенде возможно определить следующие параметры:

Устойчивость при включенных тормозных приспособлениях в продольном направлении.

Статическую устойчивость в направлении против хода без применения тормозов.

Статическую устойчивости в поперечном направлении при влюченных тормозных приспособлениях.

Статическую устойчивость в других критических направлениях при влюченных тормозных приспособлениях.

При скольжении кресла-коляски с отсутсвием возможности определить угол наклона, возможна установка прямоугольного бруса высотой 40–100 (мм) во избежание скольжения.

Результаты испытаний необходимо оформлять протоколом, который в свою очередь должен содержать:

- ссылку на настоящий стандарт;
- тип изделия по ГОСТ Р 50603;
- наименование и адрес предприятия, изготовившего изделие;
- фото испытаваемого изделия;
- наименование и адрес предприятия, проводившего испытания;
- результаты испытаний, перечисленных ранее;
- техническую характеристику манекена;
- наличие/отсутствие дополнительного тормозного устройсва.

Литература

1. СМ-Клиника для детей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.smdoctor.ru/disease/dtsp. – Дата доступа: 02.03.2024.

2. Клинические рекомендации. Детский церебральный паралич у детей. МКБ 10: G80 Министерство здравохранения Российской Федерации 2016 утверждены союзом педиатров России.

3. Республиканское унитарное предприятие «Белорусский протезно-ортопедический восстановительный центр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bpovc.by/katalog-produkczii/sredstva-reabilitatsii/dlya-detej/prisposobleniya-dlya-detej-s-dtsp/stolik-s-podemnikom-universalnyj-detail. – Дата доступа: 02.03.2024.

4. Республиканское унитарное предприятие «Белорусский протезно-ортопедический восстановительный центр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bpovc.by/katalog-produkczii/sredstva-reabilitatsii/dlya-detej/prisposobleniya-dlya-detej-s-dtsp/stolik-rabochij-s-fiksirovannym-polozheniem-rebenka-detail. – Дата доступа: 02.03.2024.

УДК 621.327

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ ИМИТАЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Студенты гр. 11302221 Плана В. Х., Хоменчук В. В.
Кандидат техн. наук, доцент Богдан П. С., кандидат техн. наук, доцент Зайцева Е. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Человек в настоящее время значительную часть времени проводит в помещениях в условиях искусственного освещения. Спектральный состав искусственных источников значительно отличается от естественных. В результате возможно возникновение заболеваний органов зрения и нервной системы. Отсюда очевидна актуальность создания системы искусственного излучения, которая будет имитировать естественное излучение.

Для решения этой задачи необходимо:

– выбрать критерии сравнения естественного и искусственного излучения;

– разработать методику выбора наборов и токов питания светодиодных групп, обеспечивающих максимально близкий к естественному спектральный состав суммарного излучения;

– предложить систему измерений спектрального состава естественного излучения, программно и аппаратно связать ее с системой управления светодиодным излучением, имитирующим естественное с учетом состояния человека.

Выбор критериев сравнения естественного и искусственного излучения показал, что оптимальным критерием в настоящее время является относительное среднеквадратическое отклонение спектральных плотностей потока излучения для светодиодных и естественных источников [1]. На основе характеристик светодиодов с использованием функции gamultiobj (генетический алгоритм оптимизации пакета прикладных программ MatLab) разработана методика выбора наборов и токов питания светодиодных групп, когда вычисленное среднеквадратическое отклонение было минимальным.

На рис. 1 приведены графики спектра естественного излучения при цветовой температуре 1000 градусов Кельвина (полдень) и суммы излучений от разных групп светодиодов с разными токами питания, когда соблюдается это условие, и, соответственно, спектры излучений максимально близки.

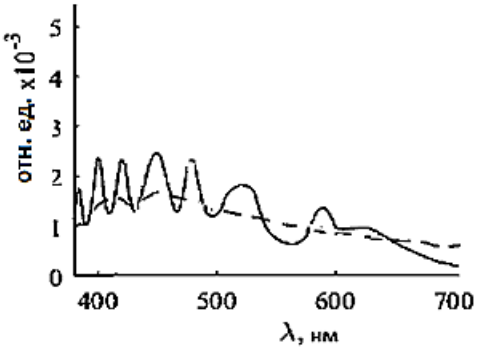


Рис. 1. Графики спектральных составов естественного излучения (пунктирная линия) при цветовой температуре 1000 градусов Кельвина (полдень) и суммы излучений от разных групп светодиодов с разными токами питания (сплошная) при условии минимизации среднеквадратичного отклонения [1]

Литература

1. Bogdan, P. S. Investigation of criteria for comparing the spectral distribution of natural and LED radiation / Bogdan P.S., Zaytseva E.G., Stepanenko A.I. // Devices and Methods of Measurements. – 2024. – Vol. 15, № 2. – P. 120–130.

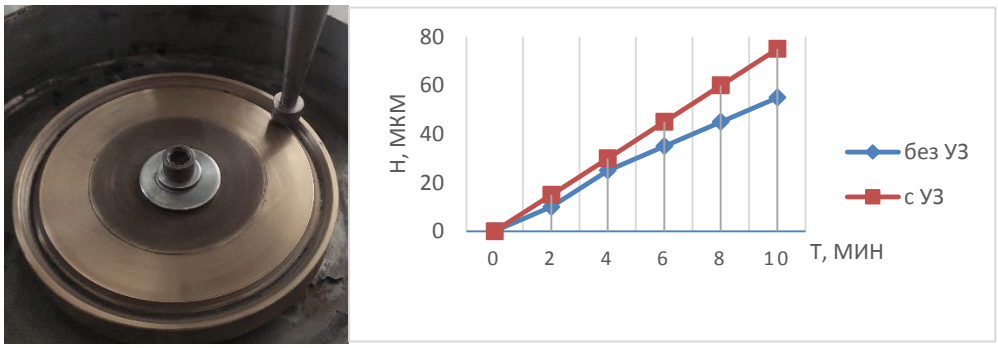
УДК 621.822.7:621.7.083

ОБРАБОТКА ШАРИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Студент гр. 51315024 (магистрант) Попов Р. А.
Кандидат техн. наук, доцент Луговой В. П.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Одной из самых часто встречаемых деталей является шарик, использующийся в различных сферах: в машиностроении – в качестве детали подшипника, в оптике – как часть оптической системы, в ювелирном деле шарики из поделочного камня применяются в украшениях. Потребность в этих изделиях непрерывно растет. К этому следует добавить возрастающий интерес к шарикам из керамических материалов, обладающих высокой теплостойкостью и твердостью. Все эти обстоятельства взывают необходимость проведения дальнейших исследований и разработки новых и модернизации существующих методов обработки. Одним из таких методов, обеспечивающих повышение производительности обработки шариков, является применение ультразвуковых колебаний [1, 2]. Было установлено, что применение ультразвука, при доводке шариков вызывает ускоренное движения заготовки при обработке, способствуя равномерному съему материала с его поверхности. Одним из примеров ультразвуковой обработки открытых сферических поверхностей является способ шлифования [3] при котором шарик служит рабочим инструментом. Однако при этом недостаточно изучен вопрос о влиянии направления действия ультразвуковых колебаний на качественные показатели обработки. В связи с этим в настоящей работе

была поставлена задача изучить влияние направления колебаний на показатели шлифования шариков. Схема обработки при действии ультразвуковых колебаний перпендикулярно поверхности инструмента представлена на рисунке 1, *а*. График зависимости величины снимаемого припуска при обработке без ультразвуковых колебаний и с ультразвуковыми колебаниями представлен на рисунке 1, *б*.



а *б*

Рис. 1. Схема ультразвуковой обработки шарика с воздействием ультразвуковых колебаний (*а*) и сравнительный график зависимости съема припуска Н от времени (*б*)

Литература

1. Луговой В. П. Исследование процесса доводки шариков в поле ультразвуковых колебаний: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Минск, 1980. – 18 с.

2. Устройство для обработки шариков / А. С. Лобанкин. Авт. св. СССР № 1713819 МКИ В24 в 11/02, оп. 23.02.92. Бюл. №7.

3. Устройство для обработки открытых сферических поверхностей А.с. СССР 191328 н.кл. 49l, 12. / А. Л. Горбунов, Е. П. Коменоп, В. М. Салтанов. – Опубл. 09.02.1967.

УДК 531.383

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ

Студент гр. 121111 Складчиков И. А.
Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.
Тульский государственный университет, Тула, Россия

На сегодняшний день современные оптические системы играют ключевую роль в науке, технике и промышленном деле. Их применение охватывает широкий спектр областей таких как: системы наблюдения, навигации, медицина и других. Одним из ключевых условий эффективной работы оптических систем является обеспечение точного и устойчивого направления оптической оси. Даже незначительные отклонения могут привести к существенному снижению качества работы системы или полному прекращению ее функционирования.

Стабилизация оптической оси представляет собой сложный процесс, связанный с необходимостью минимизации влияния различных внешних факторов: вибраций, механических колебаний, изменений ориентации платформы, температурных деформаций и других воздействий. Эти факторы особенно критичны для оптических систем, которые используются в условиях динамической среды, например, в авиации, космической технике или на подвижных наземных и морских платформах.

Развитие технологий и повышение требований к точности работы оптических устройств делают проблему стабилизации оптической оси актуальной как никогда. В современных системах, таких как спутниковые телескопы, лазерные дальномеры, приборы наведения или высокоточные оптические сенсоры, стабилизация оптической оси является ключевым элементом, который определяет эффективность работы всех компонентов системы. Например, в спутниковой оптике даже незначительное отклонение угла оптической оси может привести к потере целевой области наблюдения, а в лазерных установках – к снижению точности попадания или утрате мощности из-за рассеяния излучения.

Целью работы является исследование и разработка системы стабилизации оптической оси, способной обеспечить высокую точность и надежность работы в условиях внешних воздействий. Для достижения этой цели необходимо решены ряд задач, связанных с анализом существующих методов стабилизации, выбором оптимальных технических решений и созданием модели системы, способной обеспечить заданные параметры точности и устойчивости. Облик стабилизации оптической оси представлен на рис. 1.

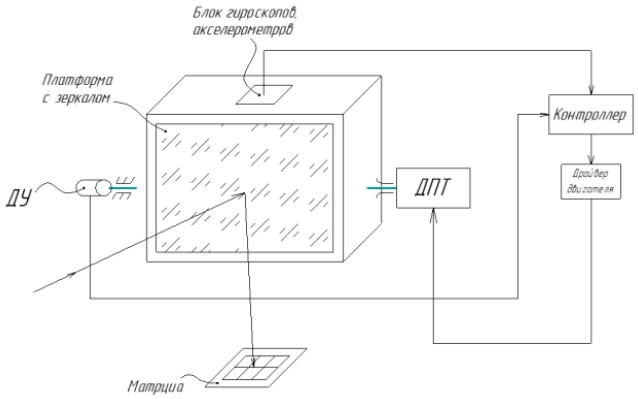


Рис. 1. Облик стабилизации оптической оси

Устройство представляет собой гироскопический стабилизатор, состоящей из платформы, в которую устанавливается зеркало, датчик угла и блок гироскопов, акселерометров, который будет подавать информацию на двигатель постоянного тока и тем самым стабилизировать систему.

Литература

1. Справочник конструктора оптико-механических приборов / В. А. Панов [и др.] – 1968. – 760 с.

УДК 616-77;681.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЕНТ-ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Студент гр. 11307222 Турочкин К. А., студент гр. 61315024 (магистрант) Чугаевская К. В.
Кандидат техн. наук, доцент Савченко А. Л., кандидат техн. наук, доцент Богдан П. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Предметом исследования являются стент-элементы – элементы каркаса аортального стентграфта.

Ранее было отмечено [1], что у некоторых стентграфтов, извлеченных из системы доставки после нескольких месяцев хранения, уменьшается размер в раскрытом состоянии, снижается радиальная жесткость. Планируется проверить, как влияет на геометрические и механические характеристики нитиноловых элементов температура хранения. Помимо комнатной температуры образцы будут храниться при температурах холодильной и морозильной камер.

Так как стекнт-элементы имеют достаточно сложную форму (рис. 1), их изготовление для экспериментов затруднительно. Поэтому планируется заменить их более простыми натурными моделями Λ-образной формы.

Для проверки обоснованности такой замены были разработаны модели в программе SolidWorks и проведен анализ напряжений в проволоке при равномерном нагружении исходного стент-элемента по окружности и нагружении Λ-образной модели изгибными усилиями. Результаты показаны на рис. 2. Видно, что распределение напряжений в изгибах проволоки практически идентичное. Следовательно, по поведению предлагаемых натурных моделей мы сможем сделать аргументированные выводы после окончания экспериментальных исследований.

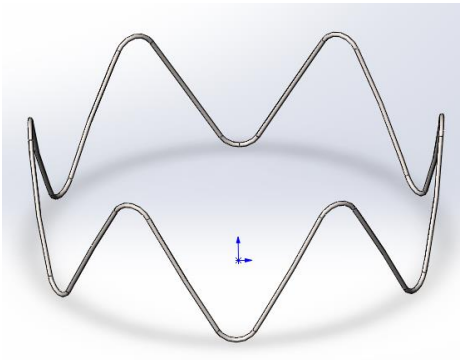


Рис. 1. Модель исходного стент-элемента

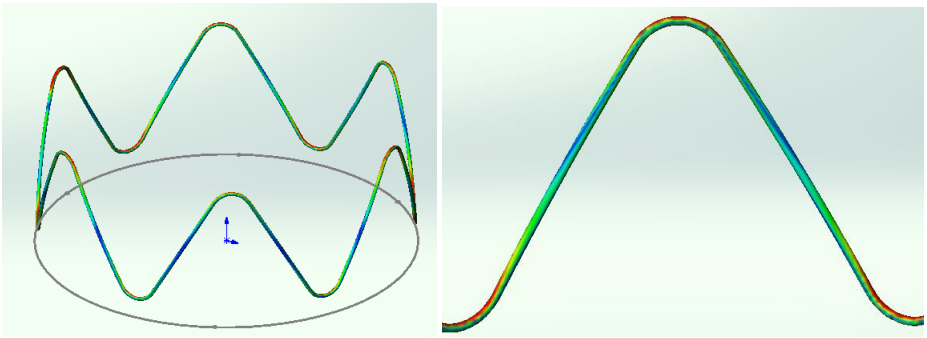


Рис. 2. Нагруженные модели исходного стент-элемента и предлагаемого образца

Следовательно, анализируя поведение предлагаемых натурных моделей, мы сможем сделать аргументированные выводы после окончания экспериментальных исследований.

Литература

1. Савченко, А. Л. Изменение характеристик стентграфтов при хранении в системе доставки = Changes in the characteristics of stentgraphs during storage in the delivery system / А. Л. Савченко, К. А. Турочкин, С. Сатторов // Приборостроение-2024 : материалы 17-й Международной научно-технической конференции, 26–29 ноября 2024 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: А. И. Свистун (пред.), О. К. Гусев, Р. И. Воробей [и др.]. – Минск : Интегралполиграф, 2024. – С. 253–254.

УДК 616.76.03

АППАРАТ ДЛЯ БИОСИНХРОНИЗИРОВАННОЙ МЕХАНОТЕРАПИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Студент гр. 11307222 Чалова А. К.
Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Восстановлению двигательных способностей ног и рук могут способствовать занятия на педальных тренажерах. Использовать после инсульта обычный велотренажер, опасно: человек с нарушенной координацией движений рискует упасть с высокого сиденья, получив при этом травм [1]. Возможная альтернатива – специальный реабилитационный биосинхранизированный тренажер (рис. 1).

Технический результат, на достижение которого направлен аппарат, заключается в эффективности восстановления движения конечностей в остром периоде и хронической стадии нарушения мозгового кровообращения, при заболеваниях периферической нервной системы [2].

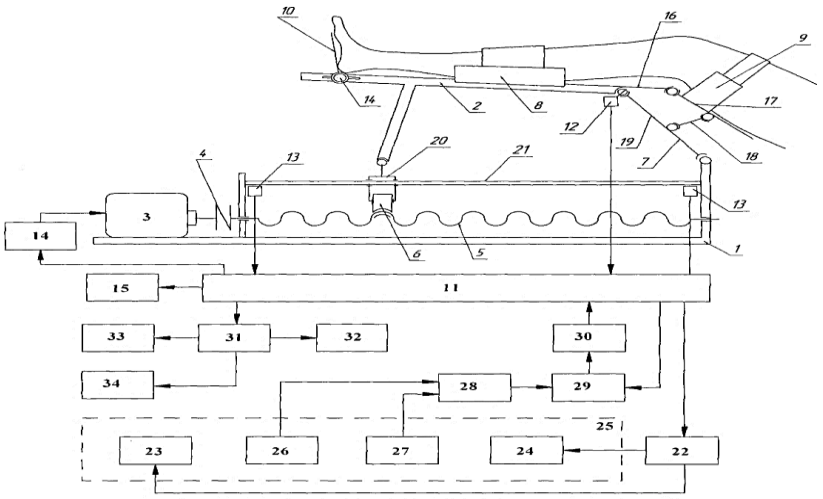


Рис. 1. Схема аппарата

Принцип работы.

При включении аппарата микроконтроллер *11* вырабатывает команды управления реверсивным электроприводом 3. Вращение вала реверсивного электропривода через редуктор и муфту *4* передается винту *5*. Гайка *5* перемещается вдоль направляющей *22*, передавая усилие движения на раму *2*. Перемещение рамы вызывает движение четырехзвенного механизма и, соответственно, бедра пациента, закрепленного ложементом *9*. Микроконтроллер *11* вырабатывает тактовые импульсы с частотой 100 кГц, которые подаются на генератор зондирующего тока *23*, который вырабатывает синусоидальный ток с частотой 100 кГц амплитудой 5 мА, протекающий по тканям грудной клетки пациента между первым *24* и вторым *25* токовыми электродами. На измерительных электродах *27, 28* возникает синусоидальное напряжение с частотой 100 кГц. В процессе дыхания пациента изменяются физические параметры тканей грудной клетки, что приводит к изменению импеданса и к изменению напряжения между измерительными электродами *27* и *28*. Микроконтроллер *11* в соответствии с программой вырабатывает сигналы включения реверсивного электропривода *3* на время вдоха и выключения реверсивного электропривода *3* на время выдоха. Эти сигналы с микропроцессора *11* подаются на вход узла управления *14* реверсивным электроприводом, который осуществляет коммутацию напряжения электропитания реверсивного электропривода *3*. Во время процедуры биосинхронизированной механотерапии на мониторе пациента *34* схематически отображается нижняя конечность в процессе ее движения. При наблюдении пациентом изображения движения нижней конечности, которое управляется в такт с его дыханием, обеспечивается зрительная обратная связь [2].

Литература

1. Паралич мышц ног, причины и лечение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cmrt.ru/simptomy/paralich-myshts-nog/. – Дата доступа: 26.02.2025.

2. Аппарат для биосинхронизированной механотерапии нижних конечностей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2698853C1_20190830. – Дата доступа: 26.02.2025.

УДК 62-233.3/9

ДИАГНОСТИКА ИЗНОСА ПЛАСТИКОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ДОПЕЧАТНОМ И ПЕЧАТНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Магистрант гр. 7-06-0716-03 Шевель Н. А.
Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Износ пластиковых зубчатых колес в допечатном и печатном оборудовании представляет собой важную проблему, которая может негативно сказаться на процессе печати и качестве конечного продукта. Ранняя диагностика износа передаточных механизмов является ключевым аспектом для поддержания стабильной работы оборудования и минимизации затрат на его обслуживание.

Одним из первых признаков износа зубчатых колес является увеличение частоты непрохождения бумаги через печатные секции. Это может указывать на проблемы с синхронизацией механизмов, вызванные износом или повреждением зубчатых колес. Кроме того, появление посторонних звуков, таких как скрежет или трение, может свидетельствовать о том, что зубья колес не работают должным образом, что также требует повышенного внимания.

В процессе плановых технических работ проводятся визуальные проверки всех передаточных элементов печатного и допечатного оборудования. Особое внимание уделяется наличию порошкообразной пыли (рис. 1), образующейся возле узлов. Эта пыль, как правило, является порошком полимера, который образуется в результате трения между зубьями колес. Наличие такой пыли возле узла, содержащего пластиковые элементы, может указывать на начальную стадию износа и требует немедленного вмешательства.

Также при внешнем осмотре узлов важно обращать внимание на наличие микротрещин на поверхности зубчатых колес. Для инспекции состояния материалов можно использовать электронный микроскоп со встроенным экраном, обеспечивающий 15-кратное увеличение. Это позволяет детально изучить поверхность колес и выявить возможные дефекты, которые могут привести к их поломке.

Если в процессе эксплуатации были установлены новые шестерни, изготовленные на базе предприятия с помощью технологии 3D-печати, необходимо фиксировать их состояние и срок службы. Это поможет в дальнейшем проводить анализ и оценивать эффективность использования тех или иных новых материалов. При неудовлетворительных результатах, таких как наличие значительного износа или повреждений, следует рассмотреть возможность печати нового образца из улучшенного полимерного материала и его установки на оборудование.



Рис. 1 Узел вращения передаточной ленты в печи для запекания тонера

Наблюдая за динамикой изменения состояния зубчатых колес, можно своевременно выявлять проблемы и принимать меры для их устранения. Это не только повысит надежность печатного оборудования, но и позволит значительно сократить расходы на его обслуживание и ремонт. Правильная диагностика и профилактика износа являются основой эффективной и бесперебойной работы допечатного и печатного оборудования, что в конечном итоге влияет на качество печати и удовлетворенность клиентов.

СЕКЦИЯ 3. МИКРО- И НАНОТЕХНИКА

УДК 681

EXPLORING THE APPLICATION OF ATOMIC LAYER DEPOSITION (ALD) FOR PRECISION NANOFABRICATION FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING FOR COMMERCIAL BUILDING

Puneet Jain, Dipak Patil
Sandip Institute of Engineering and Management (SIEM) Nashik, Maharashtra, India

A The growing demand for smart infrastructure has led to the development of advanced monitoring techniques for commercial buildings, ensuring their safety, longevity, and structural integrity. Atomic Layer Deposition (ALD) has emerged as a transformative nanofabrication technique for precision engineering, offering unparalleled control over thin-film coatings at the atomic scale. This study explores the application of ALD in Structural Health Monitoring (SHM) systems, focusing on its ability to enhance sensor performance, durability, and sensitivity. ALD enables the deposition of highly uniform, conformal, and defect-free thin films, which significantly improve the functionality of sensors used for real-time damage detection, environmental monitoring, and stress analysis in commercial structures. The exceptional chemical and thermal stability of ALD-coated materials extends sensor lifespan, ensuring long-term reliability in harsh environmental conditions such as temperature fluctuations, humidity, and corrosive agents. Additionally, ALD's precise thickness control at the nano-scale enhances the sensitivity of piezoelectric, piezoresistive, and optical sensors, leading to more accurate data acquisition for predictive maintenance and early fault detection. This integration of ALD-based nanocoatings into SHM systems minimizes maintenance costs, reduces structural failures, and supports the development of resilient, energy-efficient buildings. Furthermore, ALD facilitates the engineering of multifunctional nano-structured surfaces, enabling self-cleaning, anti-corrosive, and mechanically reinforced coatings that further contribute to the robustness of SHM sensors. The potential of ALD in fabricating nano-scale protective layers for microelectromechanical systems (MEMS)-based sensors makes it a promising technology for next-generation infrastructure monitoring. By leveraging ALD for precision nanofabrication, this research highlights its crucial role in advancing smart commercial buildings, improving their sustainability, and ensuring long-term structural safety.

УДК 796.856.2

QUANTIFICATION OF PROTECTIVE GEAR PRESSURE VALUES + AI VISUAL INTELLIGENT ANALYSIS: ENHANCING THE ACCURACY OF JUDGING IN WTF ELECTRONIC GEAR ERA TAEKWONDO COMPETITIONS

Master's student gr. 51313224 Yuan Huanglong [1, 2]
Assistant teacher of Physical Science Xue Yang [3]
Ph.D., associate professor Scherbakova E.N.[1]
[1]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus
[2]Anhui Vocational College of Art, Anhui, China
[3]Hefei University of Technology, Hefei, China

The World Taekwondo Federation (WTF) has implemented reform measures such as the introduction of electronic protective gear and the best-of-three scoring system, which have put forward higher requirements for the accuracy of judging in taekwondo competitions.

Although the current electronic protective gear can automatically identify valid striking points, there is still a misjudgment rate of 15,7 % and a missed detection rate of 9,3 % (based on the data from the 2023 World Championships). There are significant limitations especially in dimensions such as the quantification of striking impact energy (with an error range of ±3.2N) and the evaluation of the standardization of technical movements [1–3].

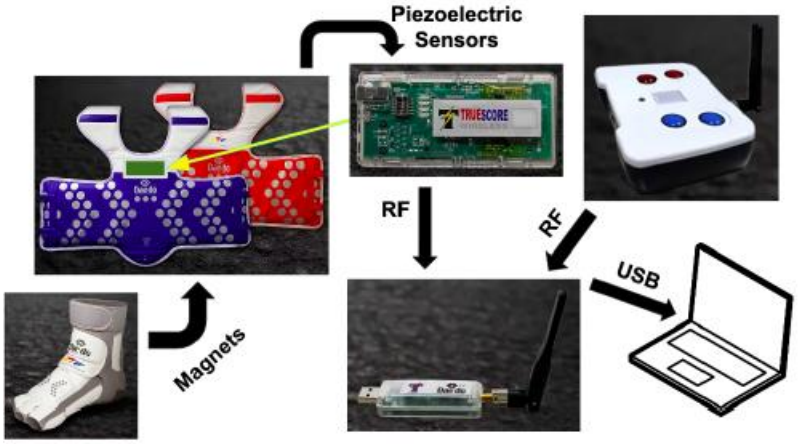


Fig. 1. Electronic protective gear and the scoring system

In order to further improve the accuracy of judging, this study proposes a judging assistance system for the WTF's electronic protective gear. This system combines the quantification of the pressure values of the protective gear with artificial intelligence (AI) visual intelligent analysis.

Based on the existing electronic protective gear, the system integrates pressure sensors to quantify the striking force, and uses AI visual technology to analyze the technical movements of athletes.

It can accurately evaluate key indicators such as the striking force, technical scores, and valid scoring areas.

The aim of this study is to provide a more objective, accurate, and efficient judging solution for taekwondo competitions in the era of the WTF's electronic protective gear, and to promote the development of this sport to a higher level.

References

1. Haili, Li Impact of electronic protectors on the use of techniques and tactics in competitive taekwondo // Contemporary sports technology. – 2022. – 12 p.

2. Ji Xin, Ma Yong, Liu Lin, Yang Zizhe, Lin Shijie, Jia Mengyao. Biomechanical characteristics of taekwondo athletes based on the score of Daedo electronic protective gear [A] Summary collection of the 13th National Sports Science Conference – Special report (Sports Engineering Branch) [C]. – Chinese Sports Science Association, Chinese Sports Science Society, 2023:3.

3. Li J. Analysis of the influence of electronic protective gear on taekwondo competition / J. Li, Y. Xiao, S. Bao // Wushu Research. – 2021. – V. 6.

УДК 796.034.6

CONSTRUCTION OF A REAL-TIME FEEDBACK SYSTEM FOR BASKETBALL SKILLS AND TACTICS AND ATHLETES' PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF WEARABLE DEVICES AND AI LARGE MODELS

Master's student gr. 51313224 Yuan Huanglong[1, 2]
Ph.D., associate professor Scherbakova E. N.[1]
[1]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus
[2]Anhui Vocational College of Art, Anhui, China

The intelligent development of basketball has put forward a revolutionary demand for the ability to analyze training and game data in real time. In this study, we innovatively construct a basketball sports intelligent analysis system based on multi-modal data fusion, and achieve a double breakthrough in the dynamic analysis of technical and tactical skills and the monitoring of athletes' physiological status through the deep collaboration between wearable devices and artificial intelligence large models.

In this study, a distributed wearable sensor network (integrating 9-axis IMU, PPG biosensor and UWB positioning module) [1, 2] was used to capture the six-dimensional attitude data of athletes in real time (with an accuracy of ±0,5°) and spatial trajectory (positioning error < 10 cm) and core physiological

parameters (heart rate, blood oxygen, muscle oxygen saturation, sampling rate 100Hz) to construct a multi-dimensional data cube for basketball-specific sports.

Through the hybrid architecture of Transformer-XL timing model and Graph Neural Network (GNN), the system realizes three levels of intelligent analysis:

1. At the tactical level, the attack and defense sequences are reconstructed based on the spatio-temporal attention mechanism, and the tactical patterns are identified in real time and a dynamic game matrix is generated;

2. At the action level, the lightweight 3D attitude estimation model (parameter < 5 M) is used to realize the evaluation of the shooting mechanical chain and the compliance detection of the defensive posture;

3. At the physiological level, the LSTM-Transformer hybrid model was used to predict the fatigue inflection point of athletes (prediction error rate < 8 %), and an early warning mechanism for injury risk classification was established.

The empirical results show that compared with the traditional video analysis system, the proposed system shortens the response time of tactical recognition from 12,3 s to 0,8 s ($P < 0,01$), expands the dimension of action analysis by 4,2 times, increases the success rate of tactical execution by 19.7 %, and reduces the incidence of acute injury by 34.5 % [3, 4]. At the same time, the research reveals the dual challenges of technology implementation:

1. Real-time edge computing optimization of multi-source heterogeneous data (up to 2.1 TB/field).

2. Design of federated learning encryption framework for biometric data.

The technical paradigm proposed in this study provides a reusable technical framework for the digital transformation of collective ball games, and opens up a new path for the intelligent upgrading of competitive basketball and mass basketball.

References

1. The 9-axis MEMS-IMU Real-time Attitude Estimation Algorithm / Zhang Jinyi [et al.] // Journal of Shanghai University (Natural Science Edition). – 2015. – 21 (05). – P. 547–559.

2. Ma Xianmin, Cui Yuancheng, Li Fang. Human Motion Data Mining Algorithm based on wearable nanobiosensors [J]. Smart Computer and Application. – 2024. – 14 (08).

3. Jiang Wave Wave. Research on the Application of Wearables in Exercise Training. Contemporary Sports Science and Technology. – 2024. – 14 (31).

4. Deng Wei. Summary of the Application and Development of Artificial Intelligence in Basketball Sports Training [C] Shaanxi Sports Science Society, Shaanxi Student Sports Association. – 2024.

УДК 796.346.2

BIOLOGICAL BASIS, TECHNICAL EFFICIENCY, AND USE OF MEMS SENSORS FOR ASSESSING TRUNK POSITION IN TENNIS

Master of group 51313224 Tan Jiang Yan
Senior Lecturer Liutsko K. S.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

As a highly dynamic competitive sport, the space-time accuracy of technical movements depends heavily on the stability and adaptability of body posture.

About 65 % of technical errors in professional tennis can be traced back to postural deviations (such as center of gravity shift and breakage of the power chain), while the contribution rate of postural errors exceeds 70 % of amateur players' chronic sports injuries (such as tennis elbows and shoulder sleeve tears) (Kibler & Safran, 2005).

The essence of tennis hitting is the process of transmitting the kinetic energy of the ground reaction force through the lower limb → hip → core → upper limb. When the center of gravity sits behind causing the hitting point to lag behind (> 10 cm from the ideal position), the kinetic energy loss is ≥ 15 %. The compensatory force of the shoulder and elbow joints reduces the acceleration of the racket by 20 %–30 %. Wrong posture significantly increases the joint shear force and rotational moment.

Therefore, when tering the ball, the lateral flexion angle of the spine is < 10° to reduce the lumbar load.Using the «hip-dominated» power mode, the contribution rate of the lower limbs is increased from 40 % to 60–70%.Strengthen the shoulder sleeve muscle group (upper muscle, lower muscle) through

centrifugal training, and reduce the risk of shoulder joint.Unstable planes (such as balance mats) can be used to improve posture adaptability. Posture correction is embedded in multi-ball training (such as forcing the center of gravity forward in the limited hitting area).

Tennis posture is the hub that connects biomechanical mechanisms, technical performance and sports health, and its theoretical construction is of great significance to the scientificization of training.

By tracking body position, joint angles, and posture changes, coaches can provide athletes with personalized feedback, helping them make the necessary adjustments to their shape, resulting in improved training and competition results [2].

Although posture assessment methods are widely used in sports science, many of them are based on subjective data and differ in specificity. This highlights the need to find more objective approaches to measuring posture parameters. When observing human posture, the method of dynamic monitoring of video image processing was initially adopted, that is, obtaining dynamic characteristics and kinematic laws of the human body from the position and state of a human object at different times. The technological progress of the 21st century has contributed to the development of MEMS. These devices, combined into compact wearable inertial sensors, provide an affordable and relatively inexpensive way to collect and process large amounts of data about human movement and the position of body in space. Signals from MEMS allow to analyze aspects of «stability» of posture and «patterns» of body position changes during movement. This expands the ability of researchers and coaches to objectively quantify movements outside of laboratories [3].

Although inertial systems for measuring posture are still in their infancy in sports science, they have already demonstrated their effectiveness. MEMS provides objective, real-time data that allows you to accurately measure body position, orientation, and movement. Unlike subjective assessments, which can vary depending on the observer, MEMS sensors provide consistent and accurate measurements, allowing to reliably track a posture over time.

References

1. Kibler W. B. et al. Tennis injuries // Med Sport Sci. – 2005. – Vol. 48. – №. 500. – P. 120–37.

2. Yudho F. H. P., Fachrezzy F., Dlis F. Enhancing Postural Stability Assessment in Sports: The Innovative Role of Wireless Inclinometer Sensors and Angle Measurement // Available at SSRN 4853351.

3. Johnston W. Reliability, validity and utility of inertial sensor systems for postural control assessment in sport science and medicine applications: a systematic review / W. Johnston [et al.] // Sports Medicine. – 2019. – Vol. 49. – P. 783–818.

УДК 621.3.049.77

РАСЧЕТ ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Магистранты гр. 51315023 Антонов М. С., гр. 51315024 Гриб А. А.
Д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Влияние радиации на полупроводниковые приборы является важной темой, особенно в контексте их использования в условиях повышенного радиационного фона, таких как космические аппараты, атомные электростанции или военная техника. Радиация может вызывать различные эффекты в полупроводниковых материалах, которые приводят к ухудшению их характеристик или полному выходу из строя.

В космической отрасли требуются долговечные, радиационно стойкие, надежные, легкие, малогабаритные электромеханические приборы. Главной проблемой для надежной работы электронного оборудования является ионизирующее излучение.

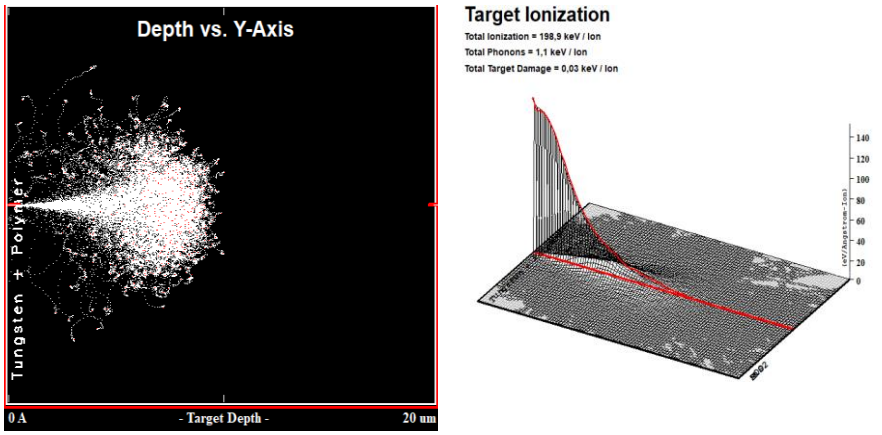
Для минимизации воздействия радиации на полупроводниковые приборы используются следующие подходы: радиационно-стойкие материалы, конструктивные решения, технологические меры и схемотехнические методы. Радиационные экраны являются совокупностью нескольких подходов.

Для расчета пробега ионов в твердых телах используются различные программы компьютерного моделирования. Наибольшую популярность имеет программный пакет SRIM. TRIM

(Transport of Ions in Matter) является модулем SRIM с довольно обширной специализацией. Он способен рассчитывать как конечное трехмерное распределение ионов, так и все кинетические явления, связанные с потерей энергии ионов, повреждение мишени, распыление, ионизация и генерация фононов в сложных многосоставных мишенях.

Используя пакет программ SRIM, были рассчитаны композиционные материалы с эпоксидной матрицей и частицами W с содержанием 50 %. Результаты показали, что при облучении образцов ионами водорода с энергией 200 КэВ глубина пролета частиц составила всего 10 мкм и общая ионизация составила 198 кЭв/ион (рис. 1). Хотя вольфрам считается высокоплотным материалом, но из-за низкого содержания степень защиты от ионизирующего излучения ограничена в силу невысокой плотности образцов.

Композиционные материалы с эпоксидной матрицей перспективные материалы для их использования в качестве экранов радиационной защиты [1].



а *б*

Рис. 1. *а* – глубина пролета частиц в материале; *б* – глубина ионизации

Литература

1. Gamma ray shielding property of tungsten powder modified continuous basalt fiber reinforced epoxy matrix composites / Hou Y. [et al.] // Polymer composites. – 2018. – Vol. 39. – №. S4. – P. E2106–E2115.

УДК 621.3.08

ИЗМЕРИТЕЛЬ ИМС «СТАБИЛИЗАТОР-1»

Студент гр. 11304121 Ахрамейко Н. С.
Ст. преподователь Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Интегральные микросхемы (ИМС) – это микроэлектронные устройства, в которых множество электронных компонентов, таких как транзисторы, диоды, резисторы и конденсаторы, объединены в едином компактном корпусе.

Измеритель ИМС «Стабилизатор-1» предназначен для оценки электрических параметров, контроля работы и группировки по годности интегральных микросхем стабилизаторов положительной полярности с максимальным током нагрузки до 8,1 А.

Измеритель включает адаптер, персональную ЭВМ (ПЭВМ), оснащенную платами устройства ввода-вывода и многоканального АЦП-ЦАП преобразователя.

ПЭВМ управляет работой измерителя и обеспечивает его питание напряжениями 5 В, 12 В и –12 В. Плата устройства ввода-вывода задает режимы и передает необходимые для работы блока сигналы между ПЭВМ и логическими схемами. Плата многоканального АЦП-ЦАП преобразователя содержит 8-канальный АЦП для измерения напряжений в диапазоне от –5 В до +5 В и ЦАП для задания напряжений в диапазоне от 0 В до +5 В.

Адаптер обеспечивает стабилизацию выходного напряжения и выполнение следующих функций:

– генерация напряжения;
– деление напряжения;

– измерение тока через датчик;

– запуск схемы поддержания режима.

Генератор формирует напряжение, делитель масштабирует его, а датчик тока регистрирует измеряемый ток. Поддержание напряжения на микросхеме или тока через нее выполняется схемой поддержания режима. На неинвертирующий вход микросхемы подается напряжение с выхода ЦАП, а на инвертирующий вход – напряжение, снимаемое с делителя. Коэффициент делителя напряжения равен 10.

Измеритель позволяет измерять следующие электрические параметры:

– ток потребления;

– выходное напряжение;

– остаточное напряжение;

– изменение выходного напряжения при изменении входного напряжения;

– изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки;

– коэффициент сглаживания пульсации.

Измеритель может работать автономно или в составе автоматизированных систем сортировки. Он изготавливается в соответствии с ГОСТ 22261-94 и рассчитан на работу при температуре окружающей среды 20 ±5 °С. Питание устройства осуществляется от сети с напряжением 220 ±22 В при частоте 50 Гц. Максимальная потребляемая мощность – 0,3 кВт. Измеритель обеспечивает задание напряжения ИМС согласно таблице 1.

Таблица 1 – Задание напряжения питания ИМС

Диапазон, В	Дискретность, мВ	Погрешность задания	*IH*, А
от 0,1 до 49	10	± (0,005*U*п + 0,0125) В	≤ 3 А
от 0,1 до 20	10	± (0,005*U*п + 0,0125) В	≤ 8,1 А

Литература

1. Матсон, Э. А. Конструкция и технология микросхем учебное пособие для радиотехн. вузов / Э. А. Матсон. – Минск: Вышэйш. шк., 1985. – 207 с.

УДК 621.3

МОДИФИЦИРОВАНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ЭЛЕМЕНТОКСИДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

Студент гр. 11310121 Бабич В. А.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Модификация карбида кремния (SiC) элементоксидными наноструктурами оказывает значительное влияние на различные области науки. Одни из ключевых аспектов важности этой модификации – это улучшение свойств материалов, таких как устойчивость к коррозии, энергоэффективность и другие.

Есть несколько методов модифицирования карбида кремния элементоксидными наноструктурами, а именно: золь-гель процесс, химическое осаждение из паровой фазы (CVD), плазменное осаждение.

В данной работе выбран золь-гель процесс как основной, так как преимуществом данного метода является получение однородных и мелкодисперсных наноструктур, а также возможность контроля размеров и форм частиц. В течение процесса происходит преобразование раствора в гель, который затем сушится и обрабатывается для получения наноструктур. Прекурсоры, такие как металлоорганические соединения, растворяются в растворителе, после чего происходит осаждение и формирование геля. Ниже приведена технологическая схема модифицирования карбида кремния элементоксидными наноструктурами (рис. 1).

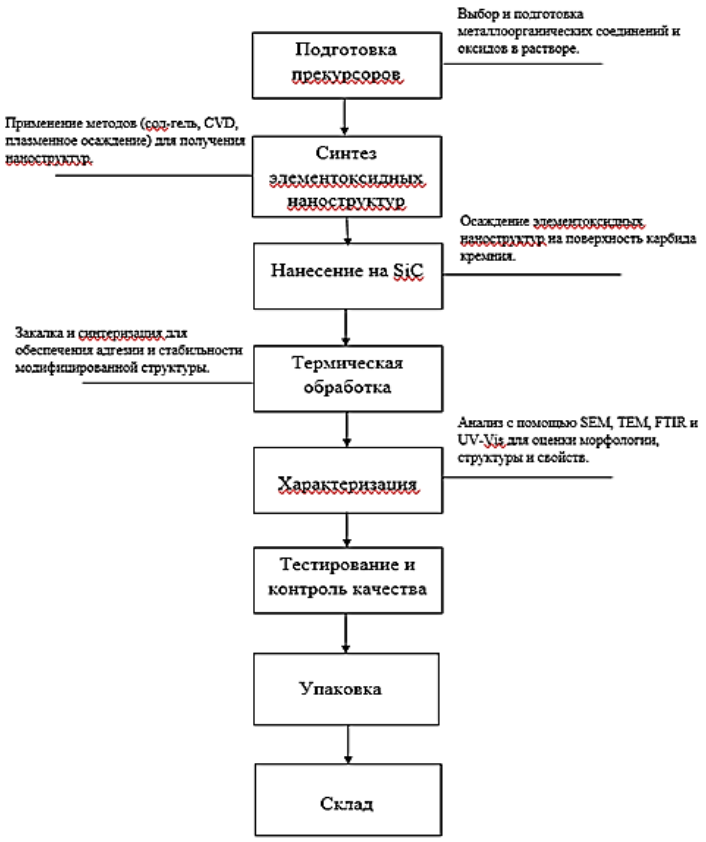


Рис. 1. Технологическая схема модифицирования карбида кремния элементоксидными наноструктурами

Будущие исследования могут включать разработку новых методов синтеза и анализ влияния различных добавок на свойства SiC, что позволит расширить его применение в современных высоких технологиях.

Литература

1. Лебедев, В. Н. Современные методы анализа материалов / В. Н. Лебедев. – М.: Химия, 2019. – 59 с.

УДК 621.382

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП

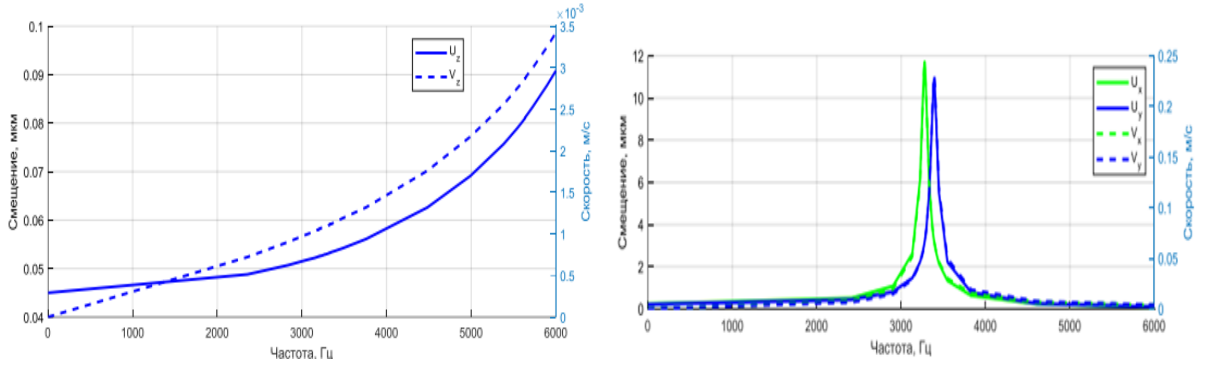
Студент гр. 11310121 Беницевич А. П.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Кинематика движений элементов в микромеханических гироскопах в значительной мере определяет их вибрационную и ударную стойкость - эти показатели в некоторых областях считаются ключевыми. Для повышения точности микромеханических гироскопов прибегают к уменьшению влияния вибрационных воздействий на выходные характеристики.

Широкополосная вибрация наиболее полно описывает процессы, происходящие в приборе, в отличие от реального вибрационного воздействия, являющегося случайными функциями времени. При этом на исследуемый прибор воздействует знакопеременное ускорение, амплитуда и частота которого являются случайными величинами с заданными спектральными плотностями, что позволяет одновременно возбуждать все резонансные частоты прибора в заданном диапазоне частот. При синусоидальной вибрации на прибор так же воздействует знакопеременное ускорение. Так как резонансные частоты гироскопа лежат выше пределов частотного диапазона вибрации, то резонансы в гироскопе не возникают и для аналитических расчетов можно рассматривать воздействие синусоидальной вибрации [1].

В данной работе приведены результаты расчета микромеханического гироскопа на воздействие синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 20 до 2000 Гц с амплитудой виброускорения 10g.

В рассматриваемом диапазоне, гироскоп не имеет собственных частот, связанных с колебаниями вдоль оси Z, следовательно, воздействие виброускорения вдоль этой оси вызывает максимальные перемещения не более 0,05 мкм (рис. 1, *а*).



а *б*

Рис. 1. *а* – синусоидальная вибрация вдоль оси Z; *б* – расчет на синусоидальную вибрацию вдоль осей X и Y; сплошная линия – смещения, мкм; пунктирная линия – скорости, м/с

Резонансы на рабочих частотах гироскопа возникнут при большем диапазоне частот вибрации. Максимальные смещения элементов конструкции превысят 10 мкм, что является физически невозможным, так как уже при смещениях 4 мкм вдоль оси X и 6 мкм вдоль оси Y возникнут соударения рамок, рис. 1 *б*.

Таким образом, для обеспечения вибростойкости микромеханического гироскопа необходимо, чтобы его резонансные частоты лежали за пределами диапазона частот вибрации [1].

Литература

1. Исследования и разработка микромеханических гироскопов, устойчивых к вибрации и ударам // Национальный исследовательский Томский политехнический университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nstu.ru/files/dissertations/dissertaciya_koleda_ 157062368188.pdf.

УДК 537

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Студент гр.11310121 Беницевич А. П.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной научной работы заключается в изучении принципов работы и перспектив развития акустических датчиков. В работе рассматриваются основные принципы работы акустических сенсоров, их классификация и перспективы дальнейшего развития.

В основе работы таких датчиков лежит преобразование акустических колебаний в электрический сигнал с использованием пьезоэлектрических, емкостных или оптических технологий. Современные разработки направлены на повышение чувствительности, расширение частотного диапазона и снижение энергопотребления сенсоров.

Акустические датчики классифицируются по типам используемых волн: на устройства, работающие на объемной акустической волне, и на устройства, использующие поверхностные волны. При производстве акустических сенсоров чаще всего применяются пьезоэлектрических подложки из кварца, танталата лития и реже из колумбата лития.

Примером работы датчика объемной волны является резонатор TSM. Это устройство называется резонатором, так как кристалл резонирует при образовании электромеханических стоячих волн. Максимальное смещение происходит на гранях кристалла, что делает устройство чувствительным к поверхностным взаимодействиям.

Принцип работы датчиков на поверхностных волнах основан на использовании волн Рэлейя, которые имеют продольную и вертикальную сдвиговую составляющие, взаимодействующие со средой, контактирующей с поверхностью устройства. Это взаимодействие значительно влияет на амплитуду и скорость волны, что позволяет датчикам поверхностно-акустических волн (surface acoustic wave (SAW)) непосредственно измерять массу и механические свойства.

На базе акустических датчиков (рис. 1) разрабатываются надежные и сравнительно недорогие устройства для различных областей применения. Одним из перспективных направлений является интеграция акустических датчиков с искусственным интеллектом для анализа сигналов в реальном времени, что открывает новые возможности в области автоматического контроля состояния механизмов и диагностики биологических тканей. Также актуальны исследования в области новых материалов, включая наноструктурированные покрытия, улучшающие характеристики датчиков.

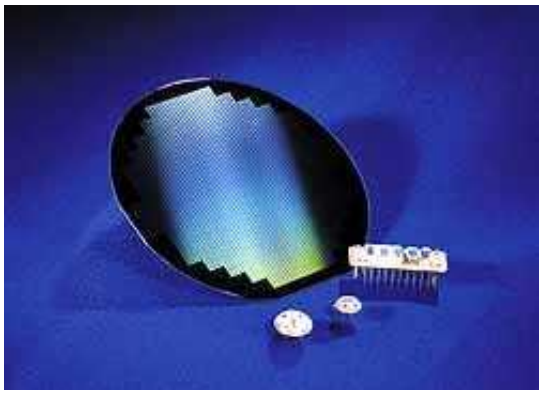


Рис. 1. Пример акустического датчика

Литература

1. Датчики акустической волны [Электронный ресурс]. Статья. – Режим доступа: https:// www.fierce-electronics.com/ components/acoustic-wave-technology-sensors. – Дата доступа: 27.02.2025.

УДК 620.22

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СВОЙСТВ

Студент гр. 11302124 Бриневец Е. А.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является литературный обзор современных методов моделирования материалов и их свойств.

Материаловедение изучает связи между составом, строением и свойствами материалов, их изменение под воздействием различных факторов, а также получение и улучшения материалов и повышения их эффективнности. Свойства материалов определяют их поведение в различных условиях эксплуатации, что влияет на безопасность, долговечность и эффективность конечного продукта.

Для решения современных задач материаловедения применяют следующие методы моделирования: метод ячеистых автоматов основан на моделировании системы с помощью сетки, где каждая ячейка в сетке принимает одно из нескольких состояний; метод динамики дислокаций используется для моделирования движения дислокаций в кристаллических решетках; метод молекулярной динамики - это численный метод, решающий уравнения движения для атомов и молекул, позволяющий исследовать их взаимодействие на атомарном уровне; метод Монте-Карло использует случайные числа и алгоритмы вероятности для решения математических задач, связанных с фазовыми переходами; метод конечных элементов делит систему на множество маленьких элементов, что позволяет точно моделировать поведение материалов в разных условиях [1].

Зная методы моделирования, можно выбрать наиболее удобный метод для решения поставленных задач. На примере метода Монте-Карло рассмотрим алгоритм действий: выбор материала (металл, керамика, полимер и т. д.), определяем цели моделирования и условия эксплуатации

материала. В исследовании мы будем использовать программное обеспечение под названием GROMACS.

Генерация случайных состояний: создаем начальные состояния системы. Эти состояния изменяются в ходе симуляции. Местные изменения: для каждой конфигурации системы случайным образом редактируется местоположение атомов или молекул.

После изменения состояния вычисляем энергию системы для нового состояния. Для каждой конфигурации вычисляется общая энергия системы, зависящая от расстояний между атомами и их взаимодействий. Метод Монте-Карло основан на принципе моделирования вероятности перехода системы в новое состояние, что требует применения алгоритма Метрополиса для полноценной оценки вероятности перехода.

Целью алгоритма Метрополиса является создание такой последовательности состояний a_1, a_2, ..., a_m, что в пределе $m \to \infty$ распределение становится больцмановским. Вероятность $P(b \leftarrow a)$ принятия пробного движения преводящего систему из состояния a в состояние b задается следующим образом:

$$P(b \leftarrow a) = \begin{cases} 1, \text{если } p(a) < p(b) \\ p(b)/p(a), \text{если } p(a) \geq p(b) \end{cases}, \quad (1)$$

где $p(a)$, $p(b)$ – вероятности состояний a и b соответственно.

Вероятность перехода вычисляется для каждой конфигурации на основе изменения энергии системы. Для получения верных результатов необходимо дождаться равновесия системы. В конце проводим анализ симуляции [2].

Литература

1. Основы материаловедения (металлообработка): учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Н. Заплатин [и др.]; под ред. В.Н. Заплатина. – 8-е изд., стер. – М.: Академия, 2017. – 272 с.

2. Кундас, С. П. Вычислительное материаловедение – современное состояние и перспективы развития / С. П. Кундас // Актуальные проблемы прочности. – 2024. – С. 3–10.

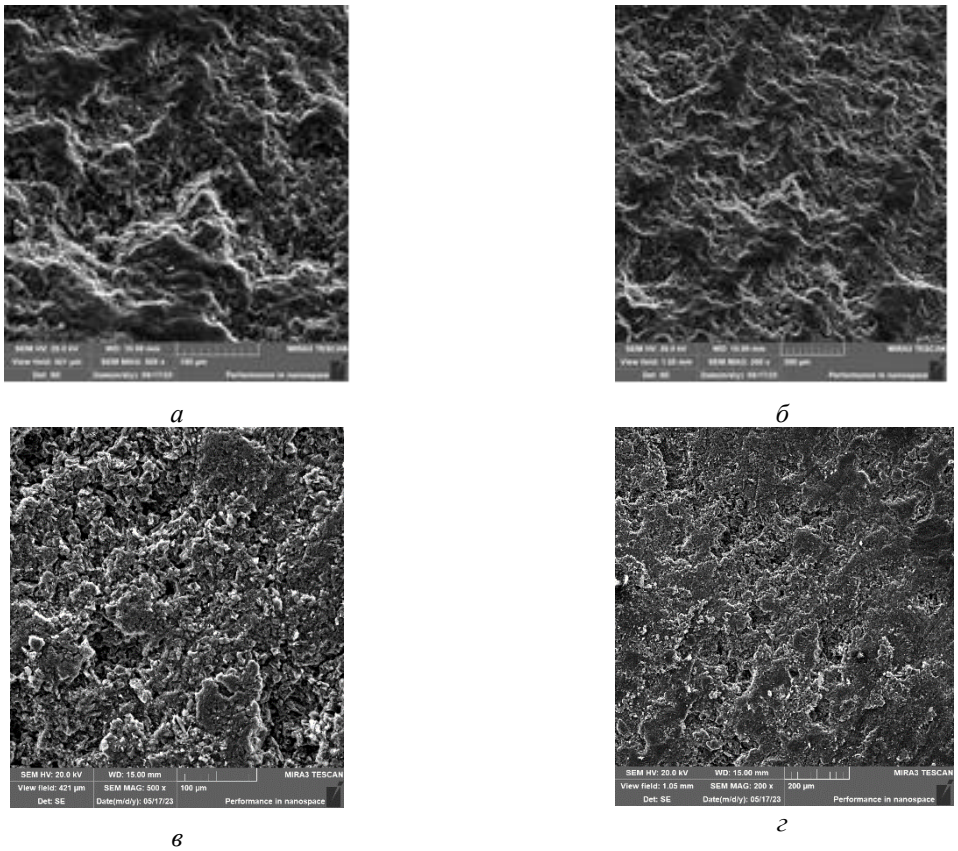
УДК 620.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА МЕТОДОМ СЭМ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Магистрант Веремей И. С.[1]
Д-р физ.-мат. наук, профессор Маркевич М. И.[2],
кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.[3]
[1]Университет Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
[2]ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь
[3]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Взаимодействие лазерного излучения с веществом является новым и важным направлением в современной физике твердого тела. В данной работе проводилась модификация поверхности мишени из графита с помощью воздействия лазера на алюмоиттриевом гранате LS-2134D (LOTIS, Беларусь) с длиной волны 1064 нм, генерирующем в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10 нс) в водной среде. Исследования структуры и элементного состава образцов проводились с помощью системы энергодисперсинного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе MIRA3 [1].

Из сравнения снимков следует, что поверхностный нанослой значительно модифицируется. На рис. 1 хорошо просматривается пористая структура поверхности в зоне кратера. Данный мелкокристаллический материал представляет собой пространственную сетку из кристаллитов, возможно, с аморфной межкристаллитной границей. Вероятно, разрушение поверхности происходит интенсивнее из межкристаллитной фазы.



а *б*

в *г*

Рис. 1. СЭМ – изображение поверхности углерода марки МПГ-6 при различных увеличениях: *а*, *б* – до лазерного воздействия, *в*, *г* – после лазерного воздействия, время воздействия 60 мин., плотность мощности $1{,}65 \cdot 10^7$ Вт/см^2

Литература

1. Obtaining carbon nanoparticles by pulse laser influence in a double-pulse mode in an aquantic environment / A. G. Anisovich [et al.] // Mongolian Journal of Physics. – 2024. – P. 75.

УДК 620.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ НА СМЕСОВОЙ ТКАНИ 07С11-КВ

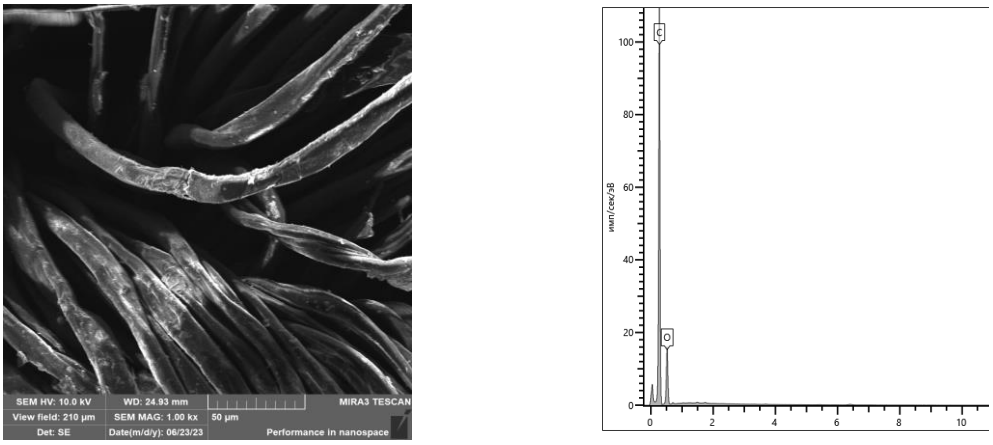
Магистрант Веремей И. С.[1]
Д-р физ. мат. наук, профессор Маркевич М. И.[2],
кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.[3]
[1]Университет Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
[2]ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь
[3]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наноструктурированные углеродные покрытия обладают хорошей перспективой применения. На основе углеродсодержащих наполнителей разрабатываются поглощающие покрытия для использования в авиакосмической промышленности, приборостроении.

Покрытие углерода осаждалось комбинированным PVD-CVD методом на смесовую ткань 07С11-КВ (65 % пэ/35 % вискоза). Смешивание волокон разного состава позволяет решать проблемы: придание высоких эксплуатационных свойств, сделать ткань более гигиеничной (воздухопроницаемой, дышащей, гигроскопичной). Это несколько повышает стоимость готового текстиля, но делает его гораздо более комфортным для ношения.

Исследования структуры и элементного состава образцов проводились с помощью системы энергодисперсинного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе MIRA3 [1].

Измерения проводились при различных значениях ускоряющего напряжения: от минимального порога чувствительности системы микроанализа (6,4 кВ) до максимального значения ускоряющего напряжения, равного 30 кВ. Следует отметить, что для проведения исследований образцы должны быть устойчивыми к облучению электронным пучком с дозой 103 мкКл/см^2 и удельное сопротивление материала не должно превышать величину 104 Ом/см. На рис. 1 представлена структура покрытия.



а *б*

Рис. 1. Морфология поверхности и элементный состав покрытия на поверхности смесовой ткани 07С11-КВ

На отдельных волокнах ткани хорошо просматриваются дефекты. Имеются области нарушения сплошности покрытия длиной 35 мкм по всей толщине волокна (рис. 1, *а*). Кроме того, наблюдается капельная фаза. Размер капель составляет от 0,8 мкм до 8 мкм. Элементный состав соответствует чистому углеродному покрытию.

Литература

1. Obtaining carbon nanoparticles by pulse laser influence in a double-pulse mode in an aquantic environment / A. G. Anisovich [el al.] // Mongolian Journal of Physics. – 2024. – P. 75.

УДК 621

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

Студент гр. 11304122 Война М. С.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение процесса получения оптических стекол.

В данной работе проведен обзор литературных источников в области стекловарения. Особое внимание уделено изучению классификации технических стекол, их свойствам и формированию структуры.

Стекло – это аморфный (не кристаллический) материал, который обладает свойствами как твердых, так и жидких тел. Благодаря своей структуре, стекло обладает уникальными оптическими и механическими свойствами. Стеклообразование происходит при температурах 1000–1200 ºС. Масса плавится и происходит взаимное растворение кварца и силикатов в щелочном силикатном расплаве. К концу этой стадии образуется прозрачная жидкая стекломасса, но еще неоднородная по химическому составу и содержащая растворенные газы. Дегазация и гомогенизация происходит при 1450–1500 ºС. Вязкость стекломассы уменьшается, из нее выделяются пузырьки газа. Для гомогенизации, т. е. полной однородности, стекломассу выдерживают при указанных температурах в течении нескольких часов. После процесса стекловарения происходит охлаждение стекломассы, до такой температуры, при которой становится возможным и наиболее удобным изготовлять из нее те или иные изделия. К исходному сырью для оптических стекол

предъявляют высокие требования по чистоте. В работе изучен технологический процесс получения оптического стекла на основе оксидов системы TeO_2–MoO_2–La_2O_3. Для получения осадков гидроксидов теллура, молибдена и лантана, используемых в качестве шихты для синтеза стекол, применяли растворы соединений теллура, молибдена и лантана.

На рисунке 1 представлена технологическая схема процесса получения оптического стекла с использованием шихты, осажденной из раствора.

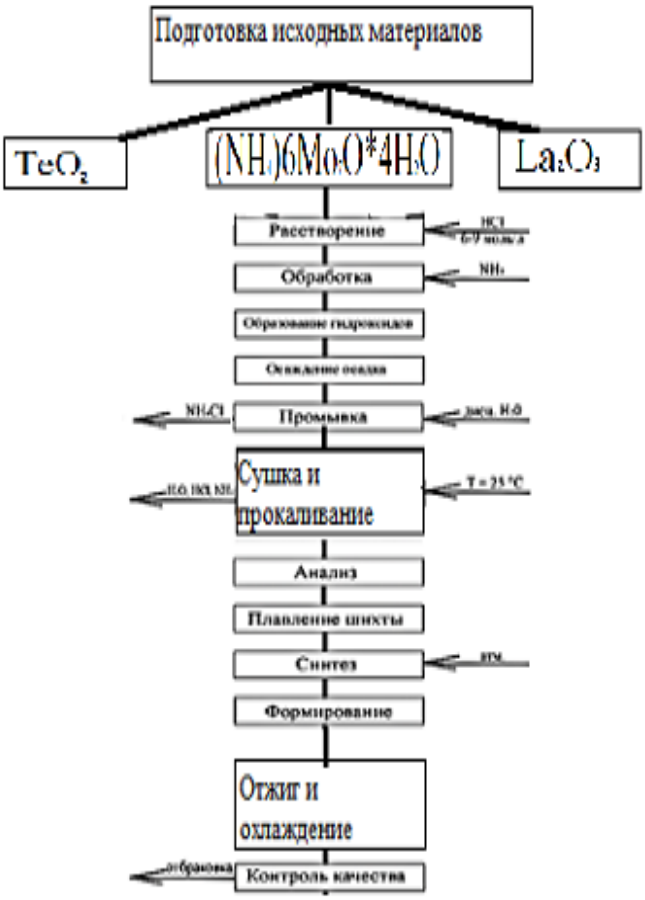


Рис. 1. Технологический процесс получения оптического стекла

Литература

1. Павлушкин, Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н. М. Павлушкин. – 1983. – 48 с.

УДК 67.02

ПОЛУЧЕНИЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

Студент гр. 11310122 Головко М. М.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение технологического процесса получения кварцевого стекла. В работе проведен обзор литературы в области синтеза композиционных материалов. В качестве исходного сырья для производства композиционного материалов использовался обогащенный кварцевый песок. Через два графитовых электрода генерируется электрическая дуга, на которую подается кварцевый песок и происходит его расплавление. По мере наплавления блока из непрозрачного кварцевого стекла, он вытягивается из камеры, а затем транспортируется на специальную площадку [1]. Технологическая схема получения кварцевого стекла представлена на рис. 1.

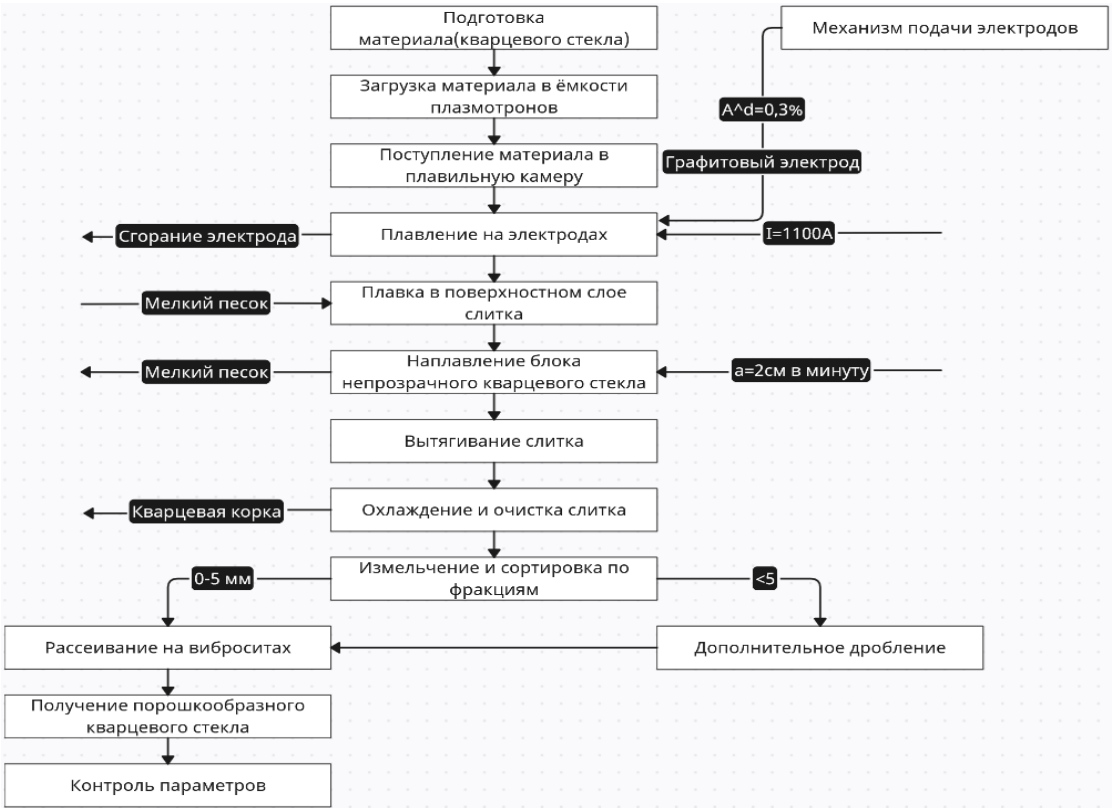


Рис. 1. Технологическая схема получения кварцевого стекла

Литература

1. Глаголев, С. П. Кварцевое стекло его свойства, производство и применение / С. П. Глаголев. – М.: ГХТИ, 1934. – 106 с.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МУЛЬТИПЛИКАЦИИ

Студент гр. 31310121 Греков В. С.[1, 2]
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.[1]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск, Беларусь

Особое место в развитии электроники в Беларуси занимает процесс создания устройств и приборов, которые в размере достигают нескольких микрон. Ведущее белорусское предприятие ОАО «Интеграл» занимается в этой сфере микротехнологий.

Технологическое оборудование для мультипликации производится компаниями: Nikon, ASML, Canon и научно-производственным объединением «Планар».

Общее представление. Назначение установки заключается в мультипликации и экспонировании на полупроводниковую пластину топологического рисунка интегральных микросхем с особо точным совмещением его элементов с элементами предыдущих топологических слоев [1].

Представляет собой сложное оптико-механическое устройство (ОМУ) с его управляющим комплексом (компьютер и стойка управления). ОМУ состоит из основных блоков: загрузки и ориентации, совмещения, освещения в составе с объективом и подготовки воздуха.

Принцип действия основан на переносе изображения с фотошаблона на пластину проекционным экспонированием ультрафиолетовым излучением с рабочей длиной волны в диапазоне λ = (225–260) нм фоторезистивного слоя пластины.

Проекционная литография, являющаяся «электронно-лучевой», основана на экспонировании одиночного изображения больших размеров, в данном случае с шаблона, для получения копий этого шаблона с линиями изображения субмикронной толщины (менее микрона) [2].

В мире, в настоящее время, большинство изготовителей, применяют мультипликаторы (степперы) с дуговыми лампами в качестве источников света [3]. Степпер – перемещающийся на шаг, экспонируя последовательно всю область пластины. Современные литографические установки могут использовать сканирующий режим работы – «сканнеры».

Особенности оборудования. Проекционные объективы современных мультипликаторов – сложное громоздкое изделие: дальнейшее увеличение числовой апертуры и рабочего поля приводит к еще большему повышению требований к применяемым в объективах материалам, к точности изготовления линз, к качеству сборки и контролю выходных параметров объективов.

В производственных линиях мировых производителей интегральных схем, для экспонирования критических слоев уже началось использование мультипликаторов с эксимерными (высокоэнергетические материалы) KrF и ArF лазерами в качестве источников света с длинами волн глубокого ультрафиолета.

Преимущества современного оборудования для мультипликации, заключается в: технически усовершенствованном процессе работы, наладки и калибровки, удобстве эксплуатации, что достигается благодаря автоматизации систем; высококачественная современная оптика и высокая точность совмещения, что положительно сказывается на качестве выпускаемой продукции; надежная и усовершенствованная система обработки данных, быстродействие и система автоматического диагностирования неисправности оборудования.

Производители в данной сфере и сопутствующие в этой области технологии, каждый день развиваются, улучшая качество выпускаемой продукции, повышая технологичность и конкурентоспособность на мировом рынке.

Литература

1. Камлюк, В. С. Современное технологическое оборудование для микроэлектроники : учеб. пособие / В. С. Камлюк, Д. В. Камлюк. – Минск : МГКЭ, 2022. – 263 с.

2. Щербакова, Е. Н. Технологии нано- и микросистемной техники: учеб. пособие / Е. Н. Щербакова. – Минск : БНТУ, 2018. – 85 с.

3. Стецик, В. М. Основы оптических технологий в микроэлектронике : учеб. пособие / В. М. Стецик. – Минск : БГУ, 2012. – 90 с.

УДК 544.2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСКЛЮЗИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Студент гр. 11310123 Данилетский М. Г.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение методов проведения эксклюзионной хроматографии. Хроматография – это метод разделения веществ путем распределения между двумя фазами. Одна из которых подвижна, а другая неподвижна. Роль подвижной фазы в жидкостной хроматографии играет жидкость. Эта жидкость, движущаяся в каналах между частицами вдоль колонки, заполненной пористым материалом.

Эксклюзионная хроматография реализуется, когда поведение макромолекул в порах определяется энтропийной составляющей свободной энергии. В свою очередь энергетическая составляющая пренебрежимо мала по сравнению с ней. В этом случае коэффициент распределения будет экспоненциально зависеть от соотношения размера макромолекулы и размера пор. Скейлинговая теория предсказывает сдедующие закономерности для случая пор соизмеримых с размером макромолекулы

$$K_d \sim A\exp[-(\frac{R}{D})^{\alpha}], \quad (1)$$

где $R \approx aN^{\frac{1}{2}}$ − характерный радиус идеальной цепи или $R \approx aN^{\frac{3}{5}}$ для цепи с объемным взаимодействием, D − диаметр пор, α – показатель степени от 4/3 до 2 в зависимости от принятой модели пор и модели цепи.

Следавательно, поведение макромолекул в условиях эксклюзионной хроматографии определяется размером цепи. Размер макромолекулы определяется ее химическим строением, числом

звеньев в цепи. Однако, метод получил широкое распространение в лабораторной практике как метод разделения по молекулярным массам, определения средних молекулярных масс и молекулярно-массовых распределений (ММР). Развитие метода началось с середины 50-х годов, когда были созданы первые широкопористые органические сорбенты для разделения водорастворимых полимеров и биополимеров. Для этого варианта хроматографии возникло название «гель-фильтрация». С середины 60-х годов появились органические сорбенты на основе стирола для работы в органических растворителях, и появилось название «гель-проникающая хроматография, ГПХ.

Как можно видеть из формулы (1), метод не является абсолютным для определения молекулярных масс, но требует соответствующей калибровки, связывающей объем элюента, протекший с начала опыта с молекулярной массой.

Чтобы использовать метод ГПХ для анализа ММР необходимо обеспечить условия реализации эксклюзионного механизма разделения, не осложненного эффектами взаимодействия как срединных, так и концевых звеньев цепи. Речь идет об адсорбционном взаимодействии из неполярного растворителя или обращенофазном взаимодействии неполярных фрагментов цепи при хроматографии гидрофильных полимеров в водной среде. Кроме того, водорастворимые полимеры, содержащие ионизированные группы, способны к сильным электростатическим взаимодействиям и требуют особенно тщательного подбора условий хроматографии. Для высокоэффективной эксклюзионной хроматографии водорастворимых полимеров применяются сорбенты на основе сшитых полимеров гидроксиэтилметакрилата или глицидилметакрилата в гидролизованной форме, сорбенты на основе поливинилового спирта. Эти сорбенты имеют высокую механическую прочность наряду с высоким поровым объемом. Применяют также сорбенты на основе силикагеля с химически модифицированной поверхностью пор.

В работе проведен критический обзор литературных источников по теме жидкофазная хроматография полимеров. Особое внимание было уделено методу проведения эксклюзионной хроматографии.

Литература

1. Блогодатских, И. В. Жидкостная хроматография полимеров / И. В. Благодатских. – М: Наука, 2010. – 19 с.

УДК 621

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ «ВЕЗУВИЙ-9»

Студент гр. 11304121 Друк И. В.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный техический университ, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение принципа работы и разбор составляющих компонентов установки для ионной имплантации «Везувий-9».

В работе проведен обзор литературных источников в области оборудования для ионного легирования, а более подробно изучена установка из серии «Везувий».

Ионная имплантации – способ введения атомов примесей в поверхностный слой материала, например, пластины полупроводника или эпитаксиальной пленки путем бомбардировки его поверхности пучком ионов с высокой энергией.

Установка «Везувий-9» (рис. 1) используется в основном для легирования многозарядных ионов. Источник ионов позволяет получать пучки двухзарядных ионов фосфора, мышьяка и сурьмы интенсивностью до 600 мкА. В установке используется двухкоординатное механическое сканирование подложек диаметром 76 и 100 мм относительно неподвижного пучка ионов. В высоковольтной системе установки, разделенной на 2 блока, имеются магнитные ловушки, ограничивающие энергию вторичных электронов до 200 эВ.

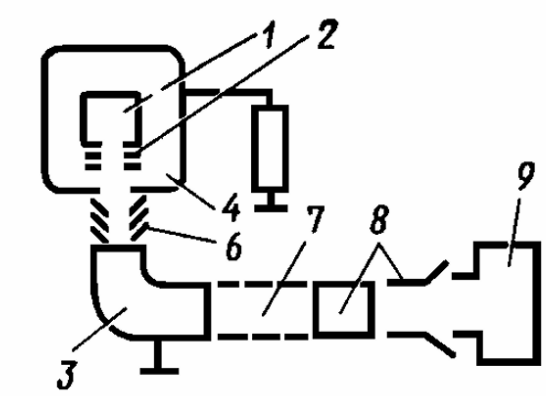


Рис. 1. Упрощенная схема установки для ионной имплантации «Везувий-9»

Установка содержит следующие функциональные узлы: система напуска рабочего вещества, источник ионов, система формирования ионного пучка, ионопровод, сепаратор ионов, система доускорения, камера с образцами, системы откачки, блоки питания. Источник ионов генерирует поток ионов различной массы и соответствующим потенциалом вытягиваются в ускоритель, где приобретают нужную энергию. Система извлечения ионов служит для эффективного извлечения ионов и формирования ускоренного потока требуемого поперечного сечения. Системы формирования ионных потоков состоят из линз. Линзы могут быть нескольких типов: иммерсионные, одиночные электростатические, составленные из комбинаций соосных цилиндров, а также диафрагм. Масс-сепараторы выполняют роль фильтра для ионов. Их основная задача состоит в отборе ионов конкретного изотопа с определенном зарядом. В качестве масс-сепаратора широкое применение получил фильтр Вина. Системы сканирования необходимы для легирования пластин большой площади. Рабочие камеры служат в качестве пространства для установки подвижных держателей легируемых пластин. Вакуумные системы обеспечивают максимальную защищенность рабочего пространства от лишних газов и примесей. Установка «Везувий-9» демонстрирует высокую производительность и универсальность, что делает его важным инструментом в области полупроводниковых технологий.

Литература

1. Оборудование для ионной имплантации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/4_94428_razdel-.html?ysclid=m45fal6rws308708874. – Дата доступа: 25.11.2024.

2. Технологическое оборудование для ионной имплантации [Электронный ресурс]. –Режим доступа: https://phys.vsu.ru/me/downloads/m13-64.pdf. – Дата доступа: 03.12.2024.

УДК 681

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА АМБИПОЛЯРНОЙ ДИФФУЗИИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С ГЛУБОКИМИ УРОВНЯМИ ПРИМЕСЕЙ И ДЕФЕКТОВ

Магистрант гр. 61315023 Забогонский К. А.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы явилась разработка математической модели процессов диффузии и дрейфа, а также программы для вычисления коэффициента амбиполярной диффузии в условиях инжекционной перезарядки глубоких уровней примесей и дефектов.

Рассмотрение процессов амбиполярной диффузии и дрейфа неравновесных носителей в полупроводниках традиционно проводятся в предположении, что концентрации неравновесных электронов и дырок равны и можно пренебречь процессами инжекционной перезарядки примесей и дефектов. При этом коэффициент амбиполярной диффузии D является постоянной величиной.

Однако, известно, что процесс инжекционной перезарядке глубоких уровней примесей и дефектов существенно влияет как на время жизни неравновесных носителей заряда, так и на коэффициент амбиполярной диффузии.

Система уравнений, описывающая процессы диффузии и дрейфа неравновесных носителей заряда в условиях инжекционной перезарядки центров, имеет вид:

$$\begin{aligned} j_n &= qn\mu_n E + qD_n\nabla n; \\ j_p &= qp\mu_p E + qD_p\nabla p; \\ \Delta\mathrm{p} &= \Delta\mathrm{n} + N(f - f_0), \end{aligned} \tag{1}$$

где E – напряженность амбиполярного поля диффузии, f_0 – равновесная функция Ферми – Дирана, f – неравновесные стационарная функция заполнения центров элементами [1], j_n, j_p – полный ток электронов и дырок соответственно, n, p – концентрация свободных электронов и дырок, μ_p, μ_n – подвижность электронов и дырок, N – концентрация примесей, Δn, Δp – неравновесные концентрации электронов и дырок.

Решение системы уравнений (1) относительно E. Подставляем в уравнение для плотности тока электронов, получаем выражение для коэффициента амбиполярной диффузии D в следующем виде.

$$D = D_n + \mu_n(n_0 + \Delta\mathrm{n})\frac{(D_p - D_n) + \frac{D_p N}{L}\left(\frac{(K\Delta\mathrm{n} + \Omega)K + \frac{1}{2}R}{[(\Omega + K\Delta\mathrm{n})^2 + F + R\Delta\mathrm{n}]^{\frac{1}{2}}} - K\right)}{\mu_n(n_0 + \Delta n) + \mu_p(p_0 + \Delta n + \frac{N}{L}(\Omega - K\Delta n + [(\Omega + K\Delta n)^2 + F + R\Delta n]^{\frac{1}{2}} - f_0 L)}, \tag{2}$$

где $\Omega = \gamma_n(n_0 + n_1) + \gamma_n(p_0 - Nf_0 + p_1)$, $k = \gamma_n + \gamma_p$, $F = R\left(N_0 + \frac{\gamma_p}{\gamma_n}p_1\right)$, $R = 4N\gamma_n\gamma_p$, $L = 2N\gamma_p$.

С помощью разработанной программы был проведем расчет коэффициента амбиполярной диффузии от уровня инжекции.

Литература

1. Влияние уровня возбуждения на процессы безызлу чательной рекомбинации на точечных дефектах структуры / Л.И. Шадурская, В.Б. Яржембицкий // Труды 29 международн. коллокв. – Ильменау (ГДР), 1984. – Ч. 2. – NB2. – С. 118–122.

УДК 621.3

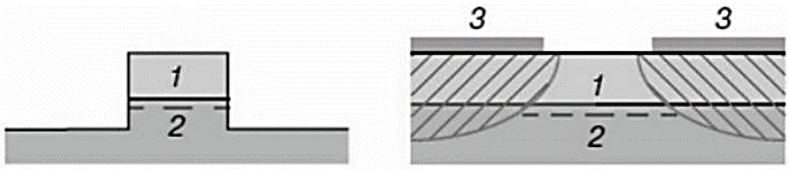
ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ КВАНТОВЫХ ПРОВОЛОК

Студент гр. 31310121 Загорцев А. А.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В данной работы был проведен обзор технологий формирования квантовых нитей, включая выбор исходных материалов и оптимизация параметров процесса. Рассмотрено оборудование, применяемое на различных этапах создания квантовых нитей. Был произведен расчет вакуумной системы установки вакуумного напыления, используемого при металлизации.

Показано, что большинство способов изготовления квантовых нитей основывается на том, что в системе с двумерным электронным газом (квантовая яма) тем или иным способом ограничивается движение носителей заряда в еще одном направлении. Для этого есть несколько методов. Наиболее очевидный – это непосредственное «вырезание» узкой полоски с помощью литографической техники (рис. 1) [1].

При этом для получения электронных нитей шириной в сотни ангстрем, где квантование энергий электронов будет заметным, необязательно делать полоски именно такой ширины, что требует литографической техники сверхвысокого разрешения. Дело в том, что на боковых гранях вытравленной полоски, как и на свободной поверхности полупроводника, образуются поверхностные состояния, создающие, как правило, слой обеднения. Этот слой вызывает сужение проводящего канала, в результате чего квантовые эффекты можно наблюдать и в полосках большей ширины – порядка десятой доли микрона [2].



а *б*

Рис. 1. Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми нитями, полученные с помощью субмикронной литографии за счет вытравливания узкой полоски из самой структуры *а* или щели в затворе Шотки *б*: *1* – полупроводник с широкой запрещенной зоной (например, AlGaAs), *2* – полупроводник с узкой запрещенной зоной (например, GaAs), *3* – металлический затвор. Образующийся вблизи гетерограницы узкий электронный канал показан штриховой линией. Заштрихованы области обеднения электронами

Можно поступить иначе. Поверхность полупроводниковой структуры покрывают металлическим слоем, создающим с полупроводником контакт Шотки и имеющим узкую щель (рис. 1, *б*). Если гетерограница находится достаточно близко от поверхности, в слое обеднения, то двумерные электроны на границе будут отсутствовать всюду, кроме узкой области под щелью. Такой тип одномерной структуры обладает дополнительным преимуществом: меняя напряжение на затворе, мы можем управлять эффективной шириной квантовой нити и концентрацией носителей заряда в ней [3].

Литература

1. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Москва, 2005.
2. Шик, А. Я. Квантовые нити / А. Я. Шик. – Москва, 1997.
3. Воронов, В. К. Современная физика: учебное пособие / В. К. Воронов, А. В. Подоплелов. – М: Ком-Книга, 2005. – 512 с.

УДК 681

ОБРАЗОВАНИЕ МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

Студент гр. 8-24 КМ Имомиддинов Ф.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Курбанов Р. Т.
Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, Ташкент, Узбекистан

В настоящее время для решения задач ионных технологий особое место занимает изучение методов генерации наноразмерных структур различной стехиометрии. Одним из таких методов является ионная бомбардировка границы раздела двух различных мишеней [1]. Исследование было выполнено на установке [2] при бомбардировке ионами Cs+ с энергией 18,5 кэВ границы раздела пиролитического графита с Fe мишенью. Обнаружено, что наряду с кластерами $FeCn^-$ и Fe_2Cn^- наблюдается эффективная генерация цезийсодержащих нано-частиц $FeCsCn^-$ и Fe_2CsCn^-. Распределение выходов $FeCn^-$ характеризуется монотонным спадом интенсивностей с увеличением числа атомов углерода в кластере в области $n < 18$. В распределении кластеров Fe_2Cn^- можно выделить существование нескольких областей с различным видом изменения интенсивностей выхода в зависимости от n. Для него характерно отсутствие явного падения интенсив-ностей пиков при увеличении размера кластера во всем диапазоне n. В целом, полученные данные свидетельствуют о перспективности методики [1] для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач.

Литература

1. Курбанов, Р. Т. Образование заряженных наночастиц при ионной бомбардировке границы раздела двух разнородных металлов / Р. Т. Курбанов [и др.] // Узбекский физический журнал. – 2020. – Т.22 (5). – С. 308–313.
2. A. D. Bekkerman, N. Kh. Dzemilev, V.M.Rotstein /Surf.Interf. Anal, 1990. – V.15. – P. 587–590.

УДК 621.382

ЛАВИННО-ПРОЛЕТНЫЙ ДИОД – ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ, КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Студент гр. 11310121 Колодей А. В.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные технологии связи, радиолокации и СВЧ-электроники требуют разработки эффективных полупроводниковых приборов, способных работать на экстремально высоких частотах. Такие устройства должны обеспечивать высокую стабильность, мощность и низкий уровень шумов. Одним из ключевых элементов СВЧ-техники являются лавинно-пролетные диоды (ЛПД). Благодаря своей уникальной физике процессов, они позволяют генерировать и усиливать сигналы в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах, что делает их востребованными в системах связи, радиолокации и научных исследованиях.

В данной работе проведен анализ принципов работы, режимов, конструкций и характеристик ЛПД. Рассмотрены основные этапы процесса создания ЛПД. Показано, что технологический процесс включает процессы формирования полупроводниковых структур с использованием эпитаксии, ионной имплантации и травления, нанесения металлических контактов, термической обработки для активации слоев, а также контроль и тестирование параметров. Все этапы требуют высокой точности и специализированного оборудования.

Описано оборудование, необходимое для создания ЛПД:

1. Ионно-имплантационная установка – для формирования p-n-переходов.

2. Установка термической обработки – для активации легирующих элементов и рекристаллизации структуры.

3. Литографическое оборудование – для создания микроразмерных структур.

4. Установка для осаждения металлов (вакуумное напыление или напыление методом магнетронного распыления) – для формирования контактов.

5. Эпитаксиальное оборудование (например, MBE или CVD) – для создания высококачественных слоев.

6. Установка травления – для формирования точных структур.

7. Системы контроля и диагностики – для измерения параметров, таких как толщина слоев, концентрация примесей, электрические характеристики.

ЛПД могут функционировать в двух режимах:

– TRAPATT-режим – обеспечивает высокий КПД и большую амплитуду колебаний, но работает на более низких частотах. Основан на накоплении и резком рассасывании электронно-дырочной плазмы.

– Лавинно-пролетный режим – основан на отрицательном динамическом сопротивлении, где фазовый сдвиг между током и напряжением приводит к генерации высокочастотных сигналов.

ЛПД изготавливаются на основе различных структур: четырехслойной структуры Рида (p^+-n-i-n^+), асимметричного p^+-n-n^+ перехода и двухпролетных структур (p^+-p-n-n^+). Для улучшения характеристик применяются меза-структуры, барьер Шоттки на GaAs и гетероструктуры [1]. Приведены основные параметры ЛПД:

– частотный диапазон 0,5–500 ГГц;

– кПД до 0,64;

– пробивное напряжение, зависящее от температуры;

– рабочие токи (постоянный и импульсный), требующие стабилизации;

– высокий уровень шумов, который можно снизить с помощью гетероструктур.

Литература

1. Электронные приборы сверхвысоких частот; под ред. В. Н. Шевчика, М. А. Григорьева. – Изд. Саратовского ун., 1980.

УДК 621

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНЫХ НАНОСТРУКТУР

Студент гр. 11304122 Командышко Н. А.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение технологического процесса получения оксидных наноструктур на основе диоксида титана, циркония и гафния. При выполнении работы проведен аналитический обзор литературных источников в области производства материалов на основе оксидных наноструктур. Изучены основные виды наноматериалов и наноструктур, проанализированы свойства и структура, требования к данному классу материалов. Изучены физико-химические основы формирования кристаллических фаз и методы получения определенной структуры оксидных материалов. В работе изучен процесс кристаллизации и фазового перехода диоксида титана в гидротермальных условиях (T = 100–350 °С, t = 1–48 ч) из аморфного TiO2·nH2O, полученного гидролизом TiCl4 при pH = 0,5–3,0 и pH = 10,9–12,5, а также гидролизом алкоксидов. Во всех случаях в результате синтеза в основном образовывался анатаз (d = 100–300 нм). При высоком значении pH (щелочная среда) в результате гидротермального синтеза образуется анатаз с высокой стабильностью во время отжига. При температурах 400–700 °С и давлении до 100 МПа были получены нанокристаллические порошки моноклинной модификации диоксида гафния с размером кристаллитов 20–30 нм.

Формирование кристаллических фаз из аморфного гидроксида цирконила наименее интенсивно происходит в нейтральной среде. Кристаллизация аморфного гидроксида цирконила при 220–350 °С в дистиллированной воде приводит к образованию смеси нанокристаллических фаз t- и m- ZrO2 с преимущественным содержанием метастабильной t-фазы. Размер кристаллитов составляет 15–19 нм. Разработана технологическая схема процесса гидротермального синтеза оксидных наноструктур, представленная на рис. 1.

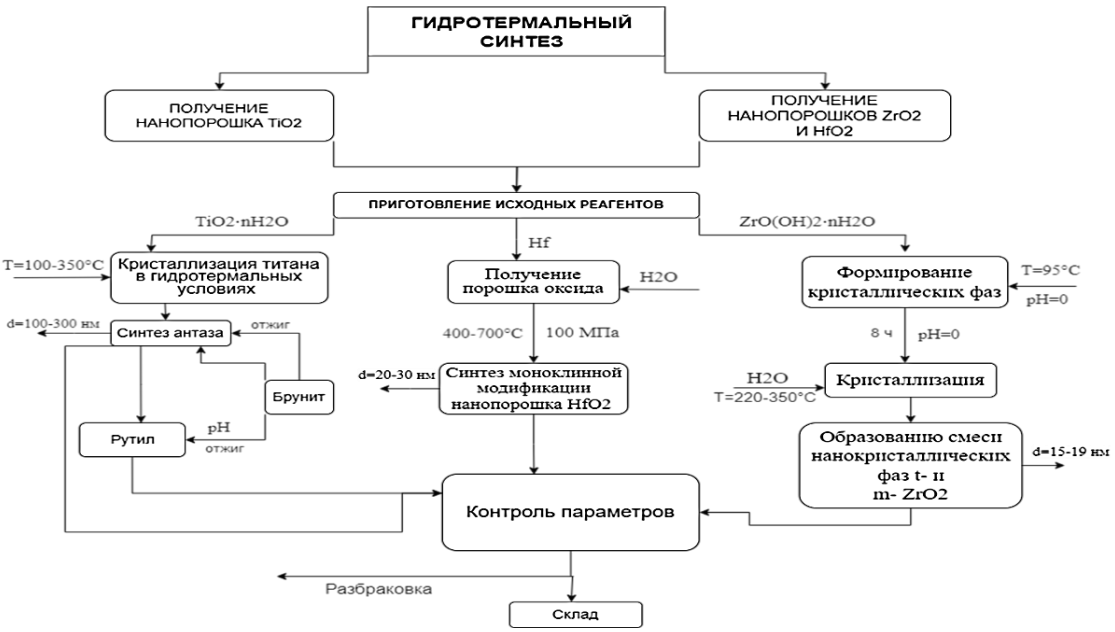


Рис. 1. Технологическая схема получения нанокристаллов диоксида титана, циркония и гафния

Литература

1. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Москва: Физмалит, 2005. – 416 с.

УДК 621

СИНТЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК

Студент гр. 11304122 Красиченко Н. П.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Данная работа посвящена изучению особенностей технологического процесса производства полупроводниковых пленок. В работе проведен анализ литературных источников. Полупроводниковые пленки широко используются при производстве разных полупроводниковых приборов, например газовые сенсоры для улавливания озона. Такие сенсоры изготавливаются путем нанесения газочувствительного слоя на изолирующую подложку. На самой подложке имеются электроды, считывающие сопротивление сенсора.

Для производства полупроводниковых пленок используются множество методов, но самыми распространенными являются: физическое осаждение (PVD), химическое осаждение из газовой фазы (CVD), спин-покрытие (SC), плазменное осаждение (PECVD), атомно-слоевое осаждение.

В работе изучен технологический процесс получения полупроводниковых пленок на основе оксида палладия и аэрогеля оксида кремния. При подготовке исходных компонентов PdO дополнительно измельчался в изопропиловом спирте. Полученную суспензию наносили в количестве 1–2 капли на подложку. В течении 1 ч пленка высушивалась на воздухе до полного испарения спирта. Изучен также процесс изготовления пленки PdO с добавкой аэрогеля SiO2. Для этого готовилась смесь PdO–SiO_2 в соотношении 95 и 3 массовых % [1].

В результате изучения технологического процесса была разработана технологическая схема получения пленок оксида палладия золь-гель методом (рис. 1):

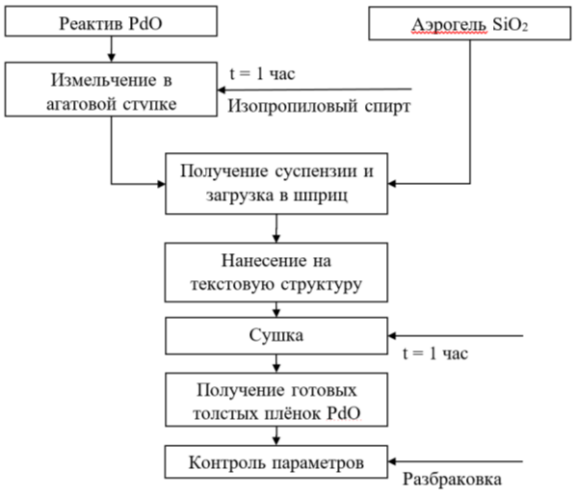


Рис. 1. Технологическая схема получения пленок PdO путем золь-гель метода

Также стоит отметить факторы, влияющие на качество и эффективность пленок: чистота исходных материалов, температура и давление (в методах использованием осаждения), подготовка поверхности подложки, техника осаждения, толщина и однородность, адгезия и расслоение и коэффициент прилипания.

Таким образом технологический процесс получения полупроводниковых пленок имеет множество стадий, видов и тонкостей при производстве. Неотъемлемой часть любого технологического процесса является технологическая схема, на которой показаны основные стадии и процессы при производстве.

Литература

1. Электрофизические и сенсорные свойства полупроводниковых пленок PdO для селективного детектирования озона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.science.vsu.ru/disserinfo&cand=3424. – Дата доступа: 09.12.2024 г.

УДК 537.311.322:535.37

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРЕМНИИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Студент гр. 11304122 Красиченко Н. П.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Сернов С. П.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Фотолюминесценция (ФЛ), как явление, является одним из ключевых процессов, наблюдаемых в полупроводниках, включая кремний. Она представляет собой способность материала излучать свет под воздействием внешнего источника световой энергии. Спектр ФЛ полупроводников определяется излучательной рекомбинацией созданных светом неравновесных электронов и дырок.

Принцип работы ФЛ основан на взаимодействии света с полупроводниковым материалом. Когда свет падает на полупроводник, его фотоны передают свою энергию электронам внутри материала. Электроны, получив достаточно энергии, переходят из валентной зоны на более высокие энергетические уровни, называемые зонами проводимости. После перехода на зоны проводимости электроны находятся в возбужденном состоянии. Однако, такое состояние является неустойчивым, и электроны стремятся вернуться на исходные уровни. При этом они излучают энергию в виде света. Этот процесс излучения света и называется фотолюминесценцией.

Немаловажно отметить, что фотолюминесценция как правило наблюдают при низких температурах (T = 4 – 80 К). Такие низкие температуры нужны для предотвращения теплового возбуждения электрона. За счет этого можно быть полностью уверенным в том, что электрон находится на самом низком энергетическом уровне. Также, еще одна причина этого является уменьшение тепловой энергии образца и минимизации любых безызлучательных процессов, которые могут повлиять на сигнал люминесценции. Это позволяет проводить более точные измерения внутренних свойств материала.

Также ФЛ в полупроводниках может происходить по разным механизмам, в зависимости от свойств материала и условий возбуждения. Вот некоторые из основных типов фотолюминесценции: ФЛ из-за переходов между энергетическими уровнями, ФЛ из-за переходов между зонами проводимости и валентной зоной, ФЛ из-за рекомбинации в дефектных центрах и ФЛ из-за квантовых точек.

Область применения ФЛ в кремнии включает в себя: определение состава и изучение свойств кремния, исследование дефектов, оптические датчики, фотолюминесцентная спектроскопия, измерение жизни носителей заряда и исследование влияния внешних факторов на свойства полупроводников [1].

Таким образом ФЛ в кремнии является весьма перспективной областью для изучения и исследования свойств полупроводниковых материалов, в особенности фотолюминесцентная спектроскопия.

Литература

1. Фотолюминесценция полупроводниковых кристаллов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/1100.html. – Дата доступа: 08.12.2024.

УДК 621

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ

Студент гр. 11310122 Кузнецова Д. И.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Данная исследовательская работа посвящена изучению технологического процесса получения сверхпроводящих керамических пленок. В настоящей работе использовалась классическая планарная система магнетронного распыления с тороидальной формой разряда.

$YBa_2Cu_3O_7$-δ (YBCO) – это наиболее известный сверхпроводящий материал, относящийся к классу высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). YBCO имеет кристаллическую

структуру, которая включает слои оксида и меди. Отличается высокой температурой сверхпроводимости, достигающей 92 K при атмосферном давлении. Сверхпроводимость YBCO возникает при охлаждении ниже критической температуры. Для получения данных пленок следовалось для начала очистить исходные материалы для дальнейшей работы над ними. Исходные материалы измельчаются, прессуются и спекаются для получения готовой мишени. При этом одновременно с подготовкой мишени идет подготовка подложки, также обрабатывается и загружается в реактор. Подложка и мишень закладывается в узел и начинается процесс откачки воздуха и нагрева. Затем устанавливается заслонка для распыления. Процесс магнетронного распыления протекает в непрерывном потоке смеси рабочего газа. После заслонка открывается и идет смешивание одновременно с напуском газов. После получаем готовые тонки пленки и проводится контроль параметров. В результате изучения технологического процесса разработана технологическая схема получения слоев сверхпроводящей керамики (рис. 1).



Рис. 1. Технологическая схема получения сверхпроводящих керамических слоев

Литература

1. Петрова И. А. Исследование нанокомпозитов: от синтеза до применения / И. А. Петрова, Е. В. Сидорова. – Казань: Казанский университет, 2019. – 50 с.

2. Тажибаева, Д. М. Учебное пособие «Керамические материалы» по дисциплине «Технология керамических материалов». – Рудный: РИИ, 2018. – 107 с.

УДК 681

ВАРИКАПЫ

Студент группы 11310122 Кузнецова Д. И.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Сернов С. П.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Варикап – это электронный прибор, принцип работы которого основан на зависимости барьерной емкости p-n перехода от обратного напряжения. Варикапы с большими потерями мощности, предназначенные для умножения частоты в радиопередатчиках, называют варакторами. Варикапы используются в качестве электрически управляемых емкостных элементов в схемах перестройки частоты в генераторах, таких как схемы селектора частоты, схемы делителей и умножителей частоты, схемы частотной модуляции и управляемые фазовращатели.

Основные характеристики варикапов:

1. Общая емкость – емкость, измеренная между контактами варикапа при заданном обратном напряжении;

2. Коэффициент перекрытия емкости – отношение емкостей варикапов при двух обратных напряжениях;

3. Сопротивление потерь – общее активное сопротивление, включающее сопротивление кристалла, контактных соединений и варикапа.

4. Общее активное сопротивление, включая сопротивление выводов;

5. Точность соответствия – отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте сигнала переменного тока к сопротивлению потерь при заданном значении емкости или обратном напряжении;

6. Температурный коэффициент емкости – отношение относительного изменения емкости к абсолютному изменению температуры окружающей среды, вызвавшему это изменение.

Также варикапы имеют ряд достоинств, а именно: значительно высокая добротность емкости, низкий уровень собственных шумов, емкость постоянна в довольно широком диапазоне частот.

Барьерная емкость p-n-перехода определяется:

$$C_б = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{\Delta X} \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость материала, ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, т. е. это емкость плоского конденсатора с площадью обкладок S, определяемой площадью p-n перехода, с расстоянием ΔX между ними – шириной области объемного заряда.

С ростом обратного напряжения область ОПЗ увеличивается под действием электрического поля (дырки больше оттесняются в p-область, а электроны – вглубь n-области) и барьерная емкость уменьшается (рис. 1).

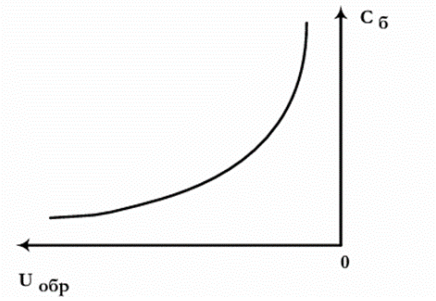


Рис. 1. Характер изменения барьерной емкости от приложенного напряжения к p-n-переходу

Литература

1. Зимин, В. П. Основы полупроводниковой электроники / В. П. Зимин. – Москва: Высшая школа, 2003. – 78 с.

УДК 621

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕАКЦИОННОСПЕЧЕННОЙ КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ КЕРАМИКИ С ДОБАВКОЙ АЛМАЗ-ЛОНСДЕЙЛИТОВОГО АБРАЗИВА

Студент гр. 11304121 Курныш В. В.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы: изучение воздействия алмаз-лонсдейлитового абразива (АЛА) на микроструктуру и эксплуатационные параметры карбидокремниевой керамики, синтезированной методом реакционного спекания.

В работе проведен обзор литературы в области физических свойств карбидокремниевой керамики. Проведен анализ научных работ, посвященных физико-химическим свойствам карбидокремниевых материалов. Установлено, что данные композиты отличаются высокой твердостью, теплопроводностью и устойчивостью к коррозии, превосходя аналогичные показатели других керамик. Реакционное спекание признано оптимальной технологией их синтеза.

Алмаз-лонсдейлитовый абразив (АЛА) представляет собой кубический углерод с примесями. При нагревании до 800–900 °С происходит процесс окисления. При последующем повышении температуры нагрева до 1000–1100 °С – графитизация. При нахождении 40 % АЛА в карбидокремниевой матрице снижается износ материала более чем в 6 раз (рис. 1) (табл. 1) [1].

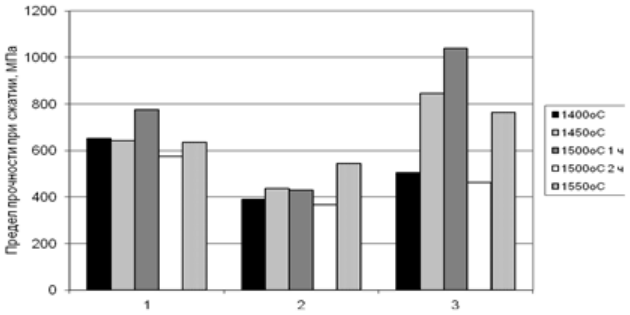


Рис. 1. Влияние температуры и времени спекания на прочность при сжатии реакционноспеченной карбидокремниевой керамики: *1* – без добавки; *2* – 25 мас. % АЛА; *3* – 40 мас. % АЛА

Таблица 1 – Влияние введения алмазных добавок на износостойкость реакционноспеченной карбидокремниевой керамики

Состав шихты материала	Глубина дорожки износа, мм	Ширина дорожки износа, мм	Объем изношенного материала, $м^3$	Удельный объемный износ, $м^3/Н·м$
SiSiC	1,7	36,8	$312{,}8\cdot10^{-15}$	$31{,}3\cdot10^{-15}$
SiSiC + 40 % АЛА	1,0	10,2	$51{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}1\cdot10^{-15}$
SiSiC + 40 % АС32	1,0	28,2	$141{,}00\cdot10^{-15}$	$14{,}1\cdot10^{-15}$

В процессе исследования выяснили, что частицы АЛА имеют осколочную, слоистую или дискообразную форму размером 125–250 мкм и толщиной 55–70 мкм. Основная часть (82 %) – алмаз с размером решетки 3,5698 Å; оставшуюся часть (16 %) представляет лонсдейлит.

Добавление 25–40 мас. % АЛА повышает микротвердость до 20 ГПа и прочность в 1,1–1,3 раза. Максимальная прочность достигается при 40 мас. % АЛА и спекании при 1500 °С в течение 1 часа. По итогу данного исследования получаем вывод о том, что при включении 40 % АЛА в состав карбидокремниевой керамики:

– уменьшает износ в 6 раз;

– повышает прочность в 1,1–1,3 раза;

– оптимизирует структуру за счет формирования переходных зон [1].

Литература

1. Беляев, А. Е. Карбид кремния: технология, свойства, применение / А. Е. Беляев, Р. В. Конакова. – Харьков: ИСМА, 2010. – 532 с.

УДК 621.3

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТИРИСТОРОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Студент гр. 11310121 Лагун Д. В.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью этой научной работы является исследование технологического процесса изготовления тиристоров на основе карбида кремния. В работе проведен анализ обзора литературных источников в области наноструктур.

В ходе работы были рассмотрены ключевые аспекты технологии производства, включая выбор исходных материалов, методы формования и обработки, а также оптимизацию параметров процесса. Рассмотрено оборудование, применяемое для создания тиристоров на основе карбида кремния.

Был произведен расчет вакуумной системы (площадь внутренней поверхности камеры – 4,12 м^2; объем вакуумной камеры – 0,56 м^3; время откачки форвакуумной системой до предельного давления 0,16 Па – 116 с; время откачки форвакуумной системой до давления запуска высоковакуумного насоса 10 Па – 79 с).

На рис. 1 представлена схема технологического процесса получения тиристора на основе карбида кремния. Прессованные образцы помещаются в установку, где создаются условия высоких температур (1500–2500 °C) и давления (до 20 ГПа). В этих условиях происходит реакция между кремнием и углеродом, в результате которой образуется карбид кремния. Процесс может занимать от нескольких минут до нескольких часов.

В зависимости от желаемых (высоковольтных или низковольтных) характеристик конечного продукта поверхность металлизируют с помощью Ni или Ti.

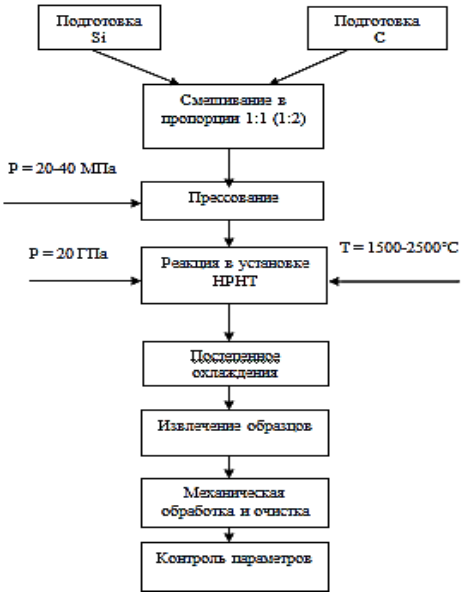


Рис. 1. Технологическая схема процесса создания тиристоров на основе карбида кремния

Полученные тиристоры обладают следующими преимуществами: высокая теплопроводность (3–3,8 Вт/см·К), устойчивость к радиации, высокая рабочая температура (более 600 °C), большая ширина запрещенной энергетической зоны (3,26 эВ), высокие значения напряженности электрического поля пробоя (2,2 МВ/см).

Литература

1. Кублановский, Я. С. Тиристорные устройства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1987. – 112 с.

УДК 621.3

ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЕМКОСТНЫХ ГИРОСКОПОВ

Студент гр.11310121 Лагун Д. В.
Ст. преподователь Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью этой научной работы является исследование технологического процесса создания емкостных гироскопов. В работе проведен анализ обзора литературных источников в области наноструктур.

В ходе работы были рассмотрены ключевые аспекты технологии производства, включая выбор исходных материалов, методы формования и обработки, а также оптимизацию параметров процесса.

Был произведен расчет нескольких параметров с помощью данного типа гирскопа: полоса пропускания в режиме движения и в режиме чувствительности составляет соответственно 60

и 90 Гц; амплитуда инерционной массы в режиме движения равна 1,52 мкм, а в режиме чувствительности 0,24 мкм; чувствительность равна $9{,}6 \cdot 10^{-14}$ Ф/^{0}/с.

На рис. 1 представлена схема конструкции емкостного гироскопа [1]. Принцип работы МЭМС-гироскопов схож с принципом работы вибрационных гироскопов: для измерения угловой скорости вращающегося тела необходима вибрация (возбуждение). Для этого в системе имеется инертная масса, которая вибрирует, и при изменении угловой скорости эффект Кориолиса вызывает возникновение новых колебаний этой массы в другой плоскости. Эти вторичные колебания фиксируются емкостным датчиком. Измеряемая дифференциальная емкостная составляющая пропорциональна углу перемещения, получившийся сигнал усиливается, демодулируется и фильтруется, после чего на выход подается напряжение, пропорциональное угловой скорости.

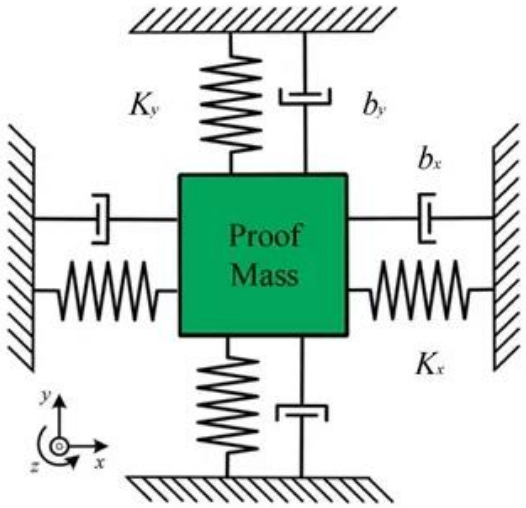


Рис. 1. Технологическая схема конструкции емкостного гироскопа

Такие гироскопы обладают следующими характеристиками: Диапазон измерений от ±150 до ±8000 °/с, нестабильность смещения нуля 3–20 °/ч, дрейф нуля 100–150 °/ч, случайный угловой уход 0,25 °/√ч, полоса пропускания 150–2000 Гц, диапазон рабочих температур от –45 до +85 °С.

Литература

1. Бороздин, В. Н. Гироскопические приборы и устройства систем управления. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

УДК 541

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАГЕЛЯ

Студент гр. 11310223 Лазоренко К. П.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной научной работы является изучение метода получения силикагеля по золь-гель процессу.

Силикагель – это оксид кремния, характеризующийся аморфной, устойчивой структурой, негорючестью и широкими возможностями в регулировке пористости структуры. Силикагель построен из тетраэдров SiO_2, которые образуют непрерывную трехмерную сетку. Превращения геля протекают по механизму поликонденсации. Поликонденсация приводит к образованию частиц коллоидных размеров сферической формы. При высушивании в гидрогеле сохраняется каркас из связанных сферических частиц, а с увеличением числа этих частиц и образованием прочных связей между ними, образуется жесткий кремнекислородный каркас. Наиболее ценными качествами силикагеля являются: высокая адсорбционная способность, избирательность адсорбционного действия и возможность многократной регенерации без потери адсорбционной

активности. В основном применяется в качестве сушильного агента или в качестве носителя частиц катализаторов.

Золь кремниевой кислоты получают в результате взаимодействия исходных реагентов. Этот золь коагулирует, образуя студень, это дает возможность осуществить формовку сферических гранул совмещая данный процесс с коагуляцией путем дробления струи золя на мелкие капли (рис. 1). Главным плюсом данного метода является то, что не требуется сложного оборудования для формовки, промывки и старения геля.

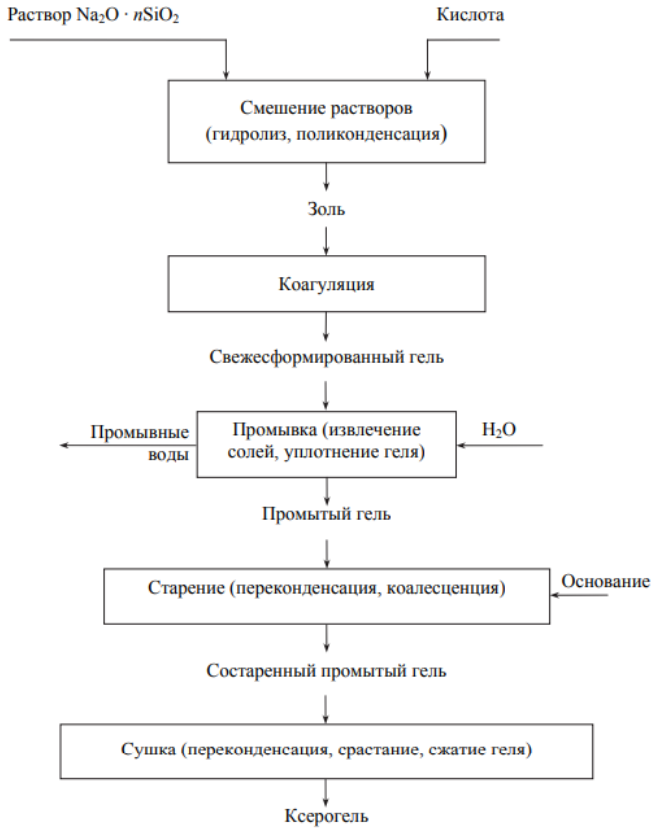


Рис. 1. Функциональная схема получения силикагеля

Пористостью силикагеля можно управлять при помощи: изменения pH при получении и промывке гидрогеля, изменения глубины старения геля, пропитки гидрогеля минеральными кислотами перед сушкой, гидротермальной обработкой гидрогеля кремниевой кислоты в автоклаве при различных температурах, прокалкой ксерогеля при высоких температурах в присутствии водяных паров или минерализаторов.

Литература

1. Ещенко, Л. С. Технология катализаторов и адсорбентов: учебное пособие / Л. С. Ещенко. – Минск: Издательство Белорусского государственного технологического университета, 2015. – 167с.

УДК 621.791.76

ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКОЙ

Студент гр. 11310124 Луданик Д. Ю.
Кандидат техн. наук, доцент Реутская О. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современной микроэлектронной промышленности одним из завершающих процессов создания изделий является этап присоединения элементов контактных площадок по средствам гибкой связи. В результате таких действий образовывается соединение как разнородных, так и однородных материалов и сплавов. В процессе сборки важно учитывать необходимость создания

прочного электрофизического контакта. Выбор режима сварки обеспечивает заявленные требования к технологическому этапу формирования сварного соединения.

Рассмотрим метод контактной сварки «клин-клин» (рис. 1). В данной методике применяется нагрев и компрессия для создания характерных швов. Поверхностные неровности и шероховатость поверхности свариваемых элементов конструкции позволяет обеспечить высокую адгезию и прочность скрепления материалов. При нагреве происходит частичное оплавление проволоки, тем самым жидкий металл заполняет микрощели и при застывании увеличивается надежность соединения.



Рис. 1. Изображения сварочного шва «клин-клин», выполненного на установке ЭМ-6705М

При исследовании видов сварных соединений на установка поверхностного монтажа и присоединения выводов модели ЭМ-6705М производства ОАО «Планар» была выполнена контактная микросварка медной проволокой (толщиной 20 мкм) на никелевой платформе тестовой платы на основе из поликора [1]. В результате проведенных манипуляций произведен подбор режимов контактной сварки, обеспечивающий соединение как представлено на (рис. 1). Принцип ее действия заключается в кратковременном воздействии тока, пропускаемого через свариваемые пластины за промежуток времени от 0,02 с до 1 с. Эта методика позволяет работать не только с пластичными металлами, но и со сплавами. При выборе правильной программы можно достичь очень прочного соединения элементов микросборок [2].

Литература

1. Технические характеристики сварочной установки ЭМ-6705М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kbtem.by/products/wire-bonding/em-6705m. – Дата доступа: 20.02.2025.

2. Контактная сварка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stikom.ru/ press/ notes/ tehnologii_ raboty_kontaktnoy_svarki/. – Дата доступа: 20.02.2025.

УДК 539.1

МЕТОД РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Студент гр. 11304122 Лукьянов В. В.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Сернов С. П.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Метод резерфордовского обратного рассеяния (РОР) – это аналитическая техника, основанная на взаимодействии высокоэнергетических ионов с атомами исследуемого материала. Метод назван в честь Эрнеста Резерфорда, открывшего явление рассеяния α-частиц, которое легло в основу современной ядерной физики. РОР широко используется для анализа элементного состава, толщины слоев и кристаллической структуры материалов.

Метод РОР основан на упругом взаимодействии частиц с атомами мишени, подчиняющемся законам сохранения энергии и импульса. При энергии частиц, значительно превышающей энергию связи атомов в твердых телах (~10 эВ), атомы считаются изолированными. Верхний предел энергии (сотни кэВ – 2–3 МэВ) исключает ядерные реакции, поэтому используют протоны и ионы гелия. Энергия рассеянных частиц зависит от массы ядра мишени, что позволяет определять элементный состав. Энергетические потери частиц при прохождении слоя вещества делают метод чувствительным к глубине залегания атомов.

Метод резерфордовского обратного рассеяния применяется в различных научных и технологических областях благодаря своей способности точно анализировать элементный состав, глубинные профили и структуру материалов. Основные сферы применения:

1. Микроэлектроника и полупроводниковая промышленность: контроль качества тонких пленок (анализ толщины и стехиометрии слоев), исследование легирования (определение концентрации примесей), диагностика многослойных структур (выявление дефектов и межслойной диффузии в наноразмерных устройствах).

2. Материаловедение: изучение коррозионных покрытий (оценка состава и толщины защитных слоев), анализ многослойных систем, исследование сплавов (определение распределения элементов в металлических композитах).

3. Ядерные технологии: радиационная стойкость материалов (анализ повреждений в конструкционных материалах реакторов после облучения), изучение взаимодействия ионов с веществом.

4. Нанотехнологии: характеристика нанопокрытий (определение толщины и состава нанослоев). Контроль синтеза наноструктур (анализ распределения элементов в композитных материалах).

5. Археология и искусствоведение: неразрушающий анализ артефактов (определение элементного состава красок, керамики, металлических предметов без повреждения образцов), аутентификация произведений искусства (выявление подделок по химическому составу материалов).

6. Биомедицина: исследование биосовместимых покрытий (анализ состава имплантатов и медицинских материалов), изучение взаимодействия биологических тканей с искусственными поверхностями [1].

Метод резерфордовского обратного рассеяния является мощным аналитическим инструментом. Его ключевое преимущество — сочетание неразрушающего характера анализа с высокой точностью определения элементного состава, глубинного распределения элементов и кристаллической структуры материалов.

РОР вносит значительный вклад в развитие прикладной физики, материаловедения и высокотехнологичных производств, оставаясь эталоном точности в анализе материалов на атомном уровне.

Литература

1. Ташлыкова-Бушкевич, И. И. Метод резерфордовского обратного рассеяния при анализе состава твердых тел / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. – Минск: БГУИР, 2003. – 52 с.

УДК 621

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКОЛ С ОПТИЧЕСКОЙ ПРОЗРАЧНОСТЬЮ

Студент гр. 11304122 Лукьянов В. В.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение технологического процесса и построение технологической схемы получения стекол с оптической прозрачностью методом осаждения из растворов.

Получение шихты для синтеза ТМС методом осаждения основано на растворимости соединений теллура, молибдена, висмута и лантана в HCl, обеспечивая их молекулярную дисперсию. Добавление аммиака в раствор вызывает гидролиз с образованием гидроксидов.

На этапе осаждения дисперсия сохраняется в осадке, который отделяют, промывают дистиллированной водой и сушат. Прокаливание удаляет летучие компоненты, делая осадок пригодным для ТМС. Метод обеспечивает высокую дисперсность, способствуя гомогенизации шихты.

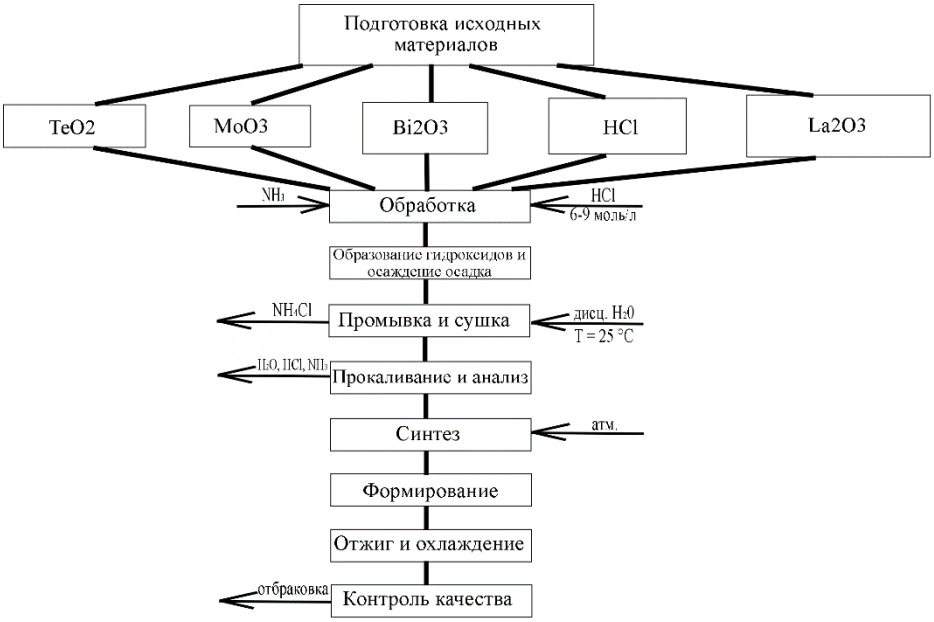


Рис. 1. Технологический процесс получения ТМС осажденного из раствора

Для приготовления шихты диоксид теллура, триоксид молибдена, гептамолибдат аммония, оксиды лантана и висмута растворяли в концентрированной HCl, затем добавляли аммиак до нужного pH. Осадок отделяли, промывали и сушили при комнатной температуре.

Состав осадка анализировали рентгено-флуоресцентным методом. Термообработку проводили в фарфоровых тиглях при контролируемых условиях. Синтез выполняли в атмосфере воздуха и кислорода (95 % O_2). Образцы изучали на кристаллические фазы и примеси, формовали стекла в разборной стальной форме. Регистрировали спектры пропускания и ДСК-кривые [1].

Литература

1. Сибиркин, А. А. Получение теллуритно-молибдатных стекол с улучшенной оптической прозрачностью / А. А. Сибиркин. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И.Лобачевского, 2019. – 300 с.

УДК 608

МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРЫ. ТИПЫ И МОДЕЛИ

Студент гр. 11310121 Мекта А. Д.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Новые акселерометры обычно основаны на МЭМС. Эти инструменты имеют консольную балку, которая соединена с сейсмической массой. Кроме того, акселерометры включают в себя и другие компоненты. Демпфирование акселерометра обусловлено остаточным газами, запертыми внутри устройства. Рабочий Механизм работы этой технологии таков, что под воздействием внешнего ускорения сейсмическая масса, прикрепленная к свободной балке, отклоняется от своего естественного. Это отклонение измеряется в аналоговой или цифровой форме. Обычно емкость измеряется между набором неподвижных балок и балками, которые соединенными с сейсмическими массами. Наиболее промышленное применение этих акселерометров в автомобильной промышленности. Эти микроэлектромеханические детали используются чтобы активировать системы безопасности автомобиля, систему стабилизации, электронное управление подвеской, а также в системе антипробуксовочного торможения. В дополнение к помимо автомобильной промышленности, МЭМС-акселерометры используются во многих других сферах, например, для мониторинга вибрации, в биомедицине, в робототехника, сейсмографии, навигация и наведение, а также измерение микрогравитации в космосе.

Микроэлектромеханические акселерометры имеют одноосные и многоосные модели, которые могут измерять величину и направление ускорения в виде векторной величины. Одной из разновидностей микроэлектромеханических акселерометров являются тепловые акселерометры. Отличительной особенностью этих акселерометров является отсутствие в них движущейся массы. В основе данного типа акселерометров лежит использование источника тепла для формирования пузырька горячего воздуха вокруг нагревателя и свободной конвекции внутри камеры датчика. В результате приложения ускорения к этой системе тепловой баланс пузыря нарушается, и этот дисбаланс измеряется двумя симметричными температурными датчиками.

При выборе акселерометра важно обратить внимание на такие факторы, как полоса пропускания, чувствительность, плотность шума напряжения, частотная характеристика и динамический диапазон. В акселерометрах МЭМС, которые изготавливаются с целью достижения высокой производительности, увеличивается масса и, как следствие, уменьшается собственная частота, увеличивая диапазон смещения массы. Хотя такое увеличение и повышает чувствительность и точность измерения, но уменьшает максимальное измеряемое ускорение, а также устойчивость датчика к ударам. По этой причине в таких акселерометрах используется замкнутый контур. В связи с влияния различных параметров на характеристики и необходимости проведения различных оценок, МЭМС акселерометры с различными характеристиками разрабатываются для разных целей. В общем случае, чем большее ускорение может измерить акселерометр, тем больше его чувствительность снижается. В этом случае уровень шума выше. И с другой стороны, чем точнее акселерометр, тем ниже минимальное измеряемое ускорение. В этом случае, его чувствительность должна быть увеличена, уровень шума должен быть ниже и, следовательно, меньше полоса пропускания.

Одним из преимуществ МЭМС-датчиков, по сравнению с датчиками давления впрыска, является возможность измерения частоты до 0 Гц. На печатных платах (PCB) производятся два типа МЭМС-акселерометров, называемые емкостными и пьезорезистивными. Емкостные используются для мониторинга структуры и измерения постоянного ускорения. Эти типы МЭМС имеют более высокую чувствительность и меньший диапазон. С другой стороны, пьезорезистивные МЭМС-акселерометры, обладающие большим диапазоном и меньшей чувствительностью.

Литература

1. A Comprehensive Review on Low-Cost MEMS Accelerometers for Vibration Measurement: Types, Novel Designs, Performance Evaluation, and Applications / Binali R. [et al.] // Journal of Molecular & Engineering Materials. – 2024. – Т. 12. – № 3.

УДК 541

КАПИЛЛЯРНЫЙ ЗОННЫЙ ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

Студент гр. 11310223 Мисюк А. Ю
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной научной работы является изучения метода анализа сложный смесей, основанный на разделении компонентов в кварцевом капилляре под действием приложенного электрического поля. В работе проведен обзор литературных источников в области аналитической химии. Особое внимание уделено изучению методов исследования растворов.

Метод капиллярного электрофореза – это физический метод анализа сложных смесей в кварцевом капилляре. Основанный на электрокинетических явлениях (электроосмосе и электромиграции ионов и других заряженный частиц), которые позволяют разделять сложные смеси на составляющие компоненты и исследовать их.

Наиболее распространенным и самым простым вариантом является капиллярный зонный электрофорез, при котором состав буферного раствора, значение pH и напряженность поля во всем пространстве разделения остаются постоянными. Разделение компонентов пробы основано на различиях в подвижности заряженных молекул или ионов.

В подавляющем большинстве случаев капилляры для производят из высокочистого плавленого кварца. Находящиеся на поверхности кварца силоксановые группы гидролизуются, которые затем гидратируются и диссоциируют (рис. 1).

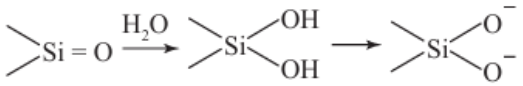


Рис. 1. Гидролиз, гидратация и диссоциация силоксановых групп

Возле поверхности капилляра возникает двойной электрический слой. при наложении электрического поля вдоль капилляра положительно заряженная диффузная часть начинает мигрировать к катоду, увлекая за собой всю массу жидкости в капилляре. Возникает электроосмотический поток, который осуществляет пассивный перенос раствора в капилляре (рис. 2).

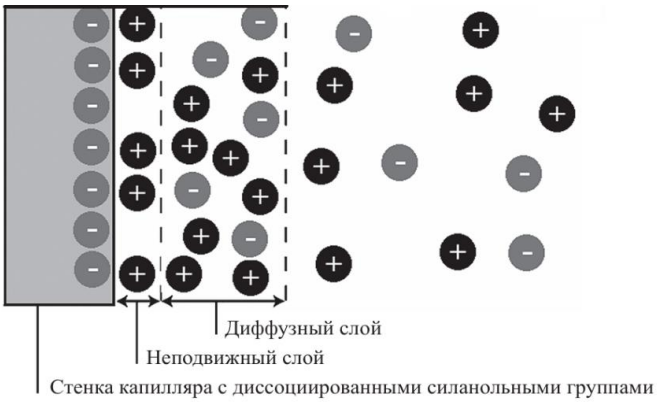


Рис. 2. Строение электрического слоя на поверхности капилляра

Разделение ионов происходит за счет того, что параметры электромиграции специфичны для каждого сорта заряженных частиц. В то же время возмущающие факторы такие как диффузионные, сорбционные, конвекционные, гравитационные и т. п. в капилляре существенно ослаблены. Благодаря чему достигаются рекордные эффективности разделений. Метод позволяет разделять только ионогенные компоненты.

Литература

1. Электрохимические методы анализа: руководство к лаборатор. практикуму: [учеб.-метод. пособие] / [Л. К. Неудачина, Ю. С. Петрова, Н. В. Лакиза, Е. Л. Лебедева]; М-во образования и науки рос. Федерации, урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : изд-во урал. ун-та, 2014. – 136 с.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

Студент гр. 11310121 Мицкевич А. С.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Акустоэлектроника представляет собой междисциплинарную область науки и техники, объединяющую достижения акустики твердого тела, физики полупроводников и сегнетоэлектриков, а также радиоэлектроники. Диапазон частот, используемых в акустоэлектронных устройствах, весьма широк и охватывает от нескольких герц до десятков гигагерц. В низкочастотном диапазоне часто применяются пьезокерамические материалы, обеспечивающие эффективное преобразование электрических сигналов в акустические и обратно. Для работы в высокочастотном диапазоне применяются как объемные акустические волны (ОАВ), так и поверхностные акустические волны (ПАВ) [1].

В ходе работы были рассмотрены технологии производства приборов на ПАВ, включая выбор исходных материалов, методы формования и обработки. Рассмотрено оборудование, применяемое на различных этапах технологического процесса. Показано, что для изготовления устройств

на ПАВ технически и экономически целесообразно использовать метод фотолитографии. Подложку тщательно полируют, а затем очищают от посторонних частиц и обезжиривают. После этого с помощью вакуумного испарения наносят пленку алюминия толщиной 0,1–0,3 мкм. Для улучшения адгезии часто используют тонкий подслой хрома. На следующем этапе образец покрывают фоторезистом и вращают с большой скоростью, стремясь получить тонкий однородный слой. Затем фоторезист укрепляют термической сушкой и экспонируют в ультрафиолетовом излучении через фотошаблон. На фотошаблоне имеются непрозрачные области из фотоэмульсии или пленки хрома, соответствующие топологии металлизации изделия. В экспонированных областях фоторезиста происходят химические изменения, позволяющие впоследствии удалить их проявляющим раствором. Области металла, не защищенные фоторезистом, удаляют химическим травлением. Наконец, оставшийся фоторезист растворяют, оставляя на подложке металлический рисунок, соответствующий рисунку на фотошаблоне (рис. 1).



Рис. 1. Технологическая схема формирования устройств на ПАВ

Литература

1. Чернышова, Т. И. Проектирование фильтров на поверхностно-акустических волнах: учебно-методическое пособие / Т. И. Чернышова, Н. Г. Чернышов. – 2-е изд., стер. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 48 с.

УДК 677.014

ТКАНЕВАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Студент гр. 11310123 Мычко В. А.
Кандидат техн. наук, доцент Балохонов Д. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Использование гамма-излучения широко распространено в разных сферах деятельности человека, поэтому важно применять защиту от его воздействия. Для экранирования гамма-излучения существуют материалы на основе свинца, бетона, вольфрама или олова. Они отлично справляются со своим назначением, но имеют массу недостатков: высокая стоимость, сложность в обработке, токсичность. При поиске альтернатив, не имеющих данных недостатков, были открыты вещества на базе полимеров.

Одно из возможных применений полимеров – формирование ткани для производства защитной одежды. При получении волокна используется технология электропрядения, то есть жидкий

состав волокнообразующего полимера проходит через электрическое поле при выходе из фильеры, что позволяет получить ультратонкое волокно. Полотно из него изготавливается саржевым типом плетения нити. Жидкий состав для производства состоит из полиметилметакрилата ($C_5H_8O_2$). Он предпочтителен, так как по сравнению с полипропиленом (C_3H_6) показал себя лучше при облучении гамма-излучением в диапазоне энергий от 100 до 150 кэВ. В процессе ткачества была добавлена проволока из свинца и вольфрама не более 5 % от объема. Такая модификация позволила образцу со свинцом (плотность ткани 320 г/м^2) в диапазоне энергий от 140 до 210 кэВ сопротивляться излучению лучше, чем образцу с добавлением вольфрамовой проволоки при тех же условиях. Исследование образцов проводилось с помощью конструкции на базе источника ионизирующего излучения 60Co. Установка для исследования состоит из находящихся под землей источников ионизирующего излучения и 16 каналов, расположенных вокруг облучательной камеры. Камера перемещается верх для размещения образцов и вниз для облучения [1]. Как видно из проведенного опыта, сопротивление излучению повысилось при введении добавочного компонента. Помимо этого, исследуемые образцы материала были покрыты слоям полиэтилентерефталата (C10H8O4) из-за образовавшегося в процессе получения ткани брака в виде небольших отверстий. Изделия, сформированные из подобных материалов, используются медиками, спасателями, учеными и в прочих профессиях, где есть контакт с гамма-излучением [2].

Также существует материал без добавления металла – демрон. Демрон – полимерный наноматериал на основе поливинилхлорида (C_2H_3Cl), расположенный между дополнительными слоями ткани. Молекула полимера воспроизводит характерные особенности строения атомов тяжелых материалов. В сравнении со свинцом защитные свойства немного ниже, но положительное качество заключается в механической гибкости. Демрон закрепился в сфере создания палаток, тентов, комбинезонов для длительной работы в областях с высокой радиацией [3].

Таким образом, ткани на основе полимеров с добавлением металлов имеют больше разнообразных вариаций изделия, чем демрон, поэтому их применение более перспективно. Инновации в области материаловедения и нанотехнологий позволят создавать более эффективные и доступные решения для защиты от радиации, обеспечивая безопасность работников и населения в условиях повышенной радиационной опасности, а также помогут лучше изучить природу гамма-излучения.

Литература

1. Стенд для испытаний на радиационную стойкость// elibrary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54961259/. – Дата доступа: 19.02.2025.

2. A novel radiation protection material: BaPbO3/Al composite // sciencedirect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/ science/ article/ abs/ pii/ S0261306908002288/. – Дата доступа: 19.02.2025.

3. Демрон// ultratkan [Электронный ресурс]. – Режим доступ https://www.ultratkan.ru/ entsiklopediya/ demron. – Дата доступа: 20.02.2025.

УДК 681

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В МЭМС И НЭМС

Студент гр. 11310223 Надумович Н. А.
Кандидат техн. наук, доцент Балохонов Д. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время главным направлением повышения технического уровня элементной базы наноэлектроники становится выбор функционального материала (увеличение быстродействия носителей заряда, снижение инерционности среды). Один из самых перспективных материалов является графен. В обзоре рассмотрены актуальные и перспективные области применения графена и материалов на его основе.

У графена есть много достоинств с точки зрения наноэлектроники: это высокая подвижность электронов, электропроводность на 70 % выше, чем у меди, теплопроводность при комнатной температуре, которая более чем в два раза выше, чем у пиролитического графита, и прочность, которая в 200 раз выше, чем у стали (при весе в шесть раз меньше). Но есть и недостаток, который

мешает его использованию в электронике: графен в своем исходном состоянии не является полупроводником, а современные электронные приборы конструируются именно из полупроводников. Чтобы решить проблему создания запрещенной зоны в графене, была выбран дителлурид молибдена — вещество, чья молекула состоит из одного атома молибдена и двух атомов теллура. При деформации на 8 % в графене открывается щель 0,8 эВ [1, 3].

К перспективным направлениям применения графена можно отнести прототип натриево-графеновой батареи [2], полевые транзисторы (FET), прозрачные дисплеи из-за его превосходной проводимости и гибкости графена, датчики в медицинских приборах из-за своей высокой чувствительности, в частности, для обнаружения определенных вирусов, таких как COVID-19 и малярия, защитные покрытиях для металлов из-за его стойкости к коррозии и окислению (ско-рость коррозии серебряных пленок, покрытых графеном, была снижена в 66 раз. Обнаружили, что покрытая графеном медь показала скорость коррозии в 7 раз ниже, чем у чистой меди в растворе сульфата натрия), использование в качестве электродного материала для электрохимических устройств хранения энергии, таких как суперконденсаторы, из-за большой площади поверхности и негорючести для улучшения производительности устройств по сравнению с теми, которые используют традиционный углерод в качестве электродных материалов.

Графен на основе чернил становится новой технологией для масштабируемого производства микросуперконденсатора, который показал объемную емкость 3,25 Ф/см^3 при плотности тока 20 мА/см^3 с сохранением емкости – 80 % после 10 000 циклов. Используя аналогичный подход, разработаны графеновые чернила для печати чрезвычайно гибкого и долговечного суперконденсатора. Этот микросуперконденсатор показал плотность мощности – 1,13 кВт/кг и удельную емкость – 22 Ф/г при скорости сканирования 100 мВ/с. Кроме того, его можно подключать к силовым электронным устройствам, таким как носимые датчики кожи, которые можно использовать для удаленного медицинского мониторинга и диагностики [4].

Если технология графена пойдет такими же стремительными темпами, то случится новый виток научно-технического прогресса уже в этом веке, а страна, которая будет способна к практическому применению графена, станет ведущей технической державой.

Литература

1. Graphene, beyond lab benches [Electronic resource]. – Mode of acces: https://www.science.org/ doi/ abs/ 10.1126/ science.ads4149. – Date of access: 20.02.2025.

2. Белорусский способ получать графен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belta.by/ tech/ view/ dve-sluchajnosti-i-idei-na-million-kak-pridumali-belorusskij-sposob-poluchat-grafen-563783-2023/. – Дата доступа: 20.02.2025.

3. Десятилетие науки и технологий [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: https://наука.рф/ news/ grafen-sdelali-unikalnym-poluprovodnikom/. – Дата доступа: 20.02.2025.

4. Akanksha R. Urade, Indranil Lahiri & K. S. Suresh. Graphene Properties, Synthesis and Applications: A Review. – P. 614–630.

УДК 541

ОСОБЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПУЗЫРЬКОВОГО РАСПАДА СЛОЯ ВОДЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ПАРА

Студент гр. 11310223 Новосельский М. А.
Кандидат тех. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной научной работы является изучение методики исследования пузырькового распада слоя воды и распространения волн пара. В работе проведен обзор литературы по термохимии. Особое внимание направлено на оптическую методику регистрации зародышеобразования, вскипания и динамики образующейся паровой плоскости приведен пример схемы экспериментальной установки.

В качестве экспериментальной установки (рис. 1) используется многослойный тонко пленочный нагреватель. Резистором является четырехслойная пленка на подложке из стекла. Изолированный от воды нагреватель представляет собой пленку TaAl толщиной 500 нм, а также используются нагреватели, покрытые слоем тантала, содержащие большое количество центров кипения

с малой энергией активации. Сэндвичевая структура нагревателя позволила достичь крайне высоких скоростей нагрева слоя жидкости при импульсном нагреве. Микрочип погружается в воду на глубину до 2 мм. Высокая плотность теплового потока в воду привела к достижению нагрева жидкости до температуры пузырькового распада меньше чем за 1,4 мкс.

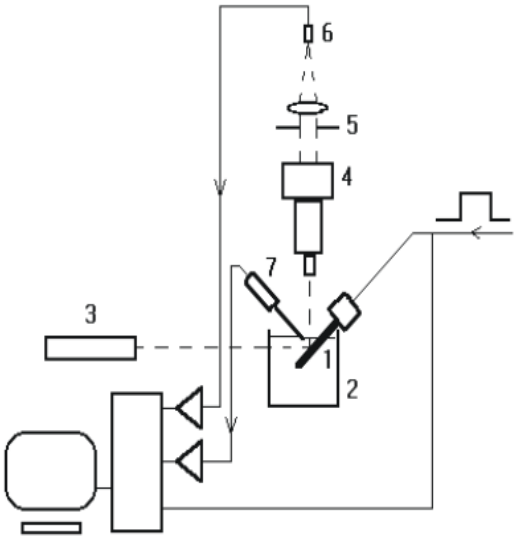


Рис. 1. Схема установки

Оптическая методика регистрации зародышеобразования, вскипания и динамики основана на измерении интенсивности лазерного пучка, отраженного зеркально от поверхности нагревателя. Когда образуются микропузырьки с диаметром близким к длине световой волны, интегральный коэффициент зеркального отражения начинает уменьшаться и инвертированный сигнал с фотоприемника демонстрирует динамику заполнения поверхности нагревателя пузырьками пара. Тепловой поток от нагревателя в воду и скорость роста ее температуры определяться при решении уравнения теплопроводности для многослойного нагревателя с учетом выделяемого тепла в токопроводящем слое. Теплопроводность и теплоемкость берутся из справочников. Для фиксации стадий фазового взрыва используется импульсный твердотельный лазер с длительностью светового импульса до 8 нс.

Литература

1. Кузнецов, В. В. Метастабильные состояния и их распад при высокой внешней и запасенной плотности энергии. / В. В. Кузнецов, И. А. Козулин, О. В. Витовски // 14-й Минский международный форум по тепло- и массообмену, Минск, 10–13 сентября 2012 года / Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси; редкол.: О. Г. Пенязьков [и др.]. – Минск: ИТМО, 2012. – 7 с.

УДК 681

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ТАКТИЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Студент гр. 11310121 Осокин Д. И.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В работе был проведен обзор и анализ научно-технической литературы, посвященной тактильным датчикам.

Ощущать прикосновения в устройствах или продуктах позволяет технология тактильного зондирования, воспроизводящая возможности человеческой кожи и нашедшая свое отражение в тактильных датчиках.

Тактильные датчики широко используются в машиностроении и робототехнике, сенсорных экранах. Они позволяют определять и обнаруживать размер, вес, текстуру, форму, температуру, сдвиг и реакцию объекта на изменение силы воздействия. Тактильные датчики состоят из преоб-

разователя, преобразующего сигнал из одной формы энергии в другую, и контроллера – обрабатывающего и интерпретирующего получаемый сигнал. Таким образом технология тактильного зондирования основана на трансдукции и может быть осуществлена при помощи следующих принципов: емкостной, пьезоэлектрический, пьезорезистивный, оптический, магнитный, двоичный. Наиболее часто используются емкостные и пьезоэлектрические датчики.

В основе емкостных тактильных датчиков (рис. 1) лежит плоский конденсатор, состоящий из двух электродов, разделенных изолирующей средой, которая чаще всего представляет собой эластичный материал. Емкостные датчики могут реагировать на прикосновение и сдвиговое усилие. Они чувствительны к электромагнитному шуму, а эластичная среда со временем теряет свою эффективность из-за износа [1].

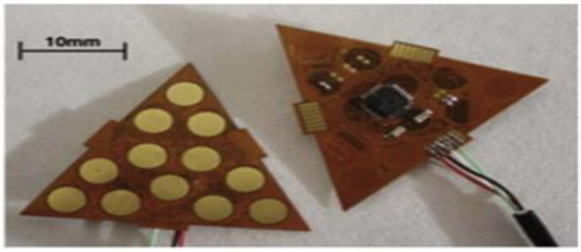


Рис. 1. Емкостной датчик

Пьезоэлектрические устройства уже давно используются в качестве тактильных датчиков и датчиков вибрации. По сравнению с другими технологиями преобразования пьезоэлектрические устройства не реагируют на низких частотах (нулевая мощность в ответ на постоянное давление), но обладают достаточно динамичным откликом, часто превышающим 10 кГц. Пьезоэлектрические преобразователи для создания тактильных датчиков изготавливают из пьезополимеров или керамики. Среди них широко используется поливинилиденфторид (PVDF). Пьезоматериалы, подверженные механическим воздействиям, накапливают электрические заряды, которые улавливаются проводящими электродами. Пьезопреобразователи не требуют внешнего электрического возбуждения, электронный интерфейс является сложным, поскольку требует высокого входного сопротивления и усилителей с низким уровнем шума (рис. 2). Это затрудняет разработку встраиваемых датчиков [1].

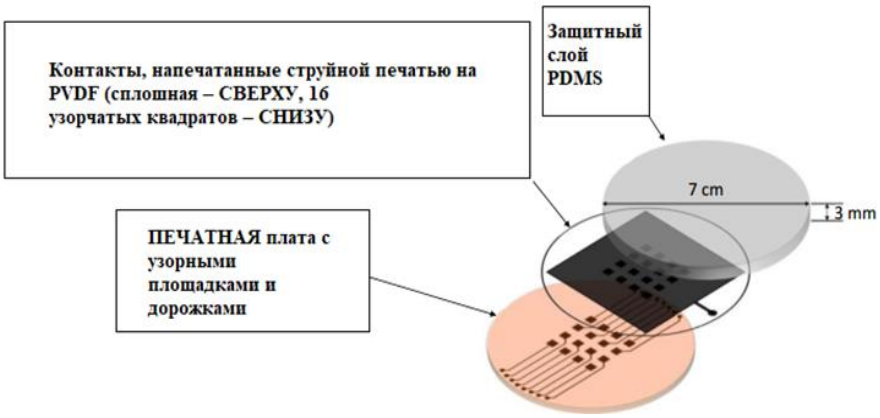


Рис. 2. Пьезоэлектрический датчик, усиленный для создания напряжения

Поскольку пьезоматериалы чувствительны к различным типам механических воздействий (давлению, изгибающим моментам и т. д.), при проектировании тактильных датчиков необходимо тщательно продумывать геометрию системы, чтобы обеспечить требуемую механическую нагрузку.

Литература

1. Flexible capacitive tactile sensors based on carbon nanotube thin films / Cagatay E. [et al.] // IEEE Sensors Journal. – 2015. – Vol. 15. – №. 6. – P. 3225–3233.

УДК 53.31.45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ПО СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ

Студент гр. 11304122 Павловский А. А.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Сернов С. П.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы – изучение механизмов формирования фотопроводимости в полупроводниках, анализ влияния параметров носителей заряда (концентрации, подвижности, времени жизни) и спектральных зависимостей. Работа направлена на установление связи между структурой материала и его оптико-электронными свойствами для применения в разработке оптоэлектронных устройств.

Фотопроводимость полупроводниковых материалов обусловлена образованием электрон-дырочных пар при воздействии светового излучения. Данное явление напрямую зависит от концентрации неравновесных носителей заряда, их подвижности и величины электрического заряда. Математически это выражается соотношением:

$$\Delta_\delta = e\left(\mu_n \Delta_n + \mu_p \Delta_p\right), \quad (1)$$

где μ_nи μ_p – подвижности электронов и дырок, а Δ_nи Δ_p – их концентрации. Концентрация носителей определяется скоростью генерации пар (G)и временем их жизни (τ):

$$n_\Delta = G\tau. \quad (2)$$

Спектральный отклик фотопроводимости коррелирует с поглощением света в полупроводнике. Длинноволновая граница (красный край) соответствует минимальной энергии фотонов, необходимой для преодоления запрещенной зоны:

$$\lambda_{\text{порог}} = hc/\Delta W, \quad (3)$$

где ΔW — ширина запрещенной зоны (рис. 1).

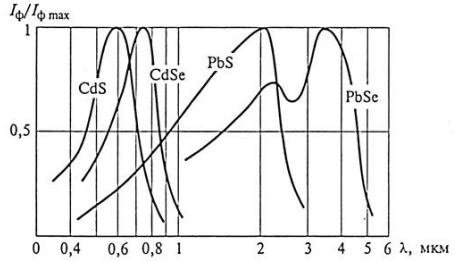


Рис. 1. Нормированная спектральная характеристика для различных фоторезисторов

При уменьшении длины волны ниже $\lambda < \lambda_{\text{порог}}$ фотопроводимость возрастает, достигая максимума, после чего снижается из-за поверхностной рекомбинации. В коротковолновой области (синий край) свет поглощается в поверхностном слое, что сокращает время жизни носителей (τ) и снижает эффективность.

Ширина запрещенной зоны варьируется у разных материалов: от десятых долей эВ (инфракрасный диапазон) до 2–3 эВ (ультрафиолетовый).

Примесная фотопроводимость, связанная с поглощением на дефектах решетки, проявляется в длинноволновой области. Однако ее вклад незначителен из-за низкой концентрации примесей по сравнению с атомами основного материала.

Анализ спектральных зависимостей позволяет оценить параметры неравновесных носителей: концентрацию, подвижность и время жизни. Это дает возможность исследовать влияние внешних факторов (температура, уровень легирования) на фотопроводимость, что важно для разработки оптоэлектронных устройств.

Литература

1. Лосев, Б. В. Основы фотопроводимости и ее спектральные характеристики / Б. В. Лосев. – Издательство ЛГУ, 1988. – 215 с.

УДК 621

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Студент гр. 11304122 Павловский А. А.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель исследования — систематизировать современные подходы к созданию магнитных эпитаксиальных структур, определить ключевые факторы, влияющие на их кристаллографическое совершенство, и обозначить тренды развития технологий в этой сфере. В рамках работы был проведен анализ научных публикаций, посвященных синтезу магнитных материалов.

Технологические аспекты синтеза.

Формирование эпитаксиальных металлических слоев с заданными свойствами требует создания сверхвысоковакуумных условий (СВВ). В исследовании детально рассмотрен механизм импульсного лазерного напыления (ИЛО) — инновационной методики, сочетающей прецизионный контроль параметров осаждения с возможностью работы в диапазоне 10^{-8}–10^{-9} Торр.

Преимущества ИЛО-технологии:

1. Лазерная абляция мишени генерирует высокоэнергетическую плазму, обеспечивающую повышенную подвижность адсорбируемых частиц на подложке.

2. Низкотемпературный режим обработки (менее 400 °C) минимизирует термическую деградацию компонентов и сохраняет чистоту экспериментальной среды, что критично для тугоплавких соединений.

3. Использование сапфировых подложек с ориентацией (1102) в сочетании с железосодержащими мишенями позволяет добиться когерентного роста кристаллической решетки.

В ходе экспериментальных изысканий была оптимизирована последовательность технологических операций рис. 1.

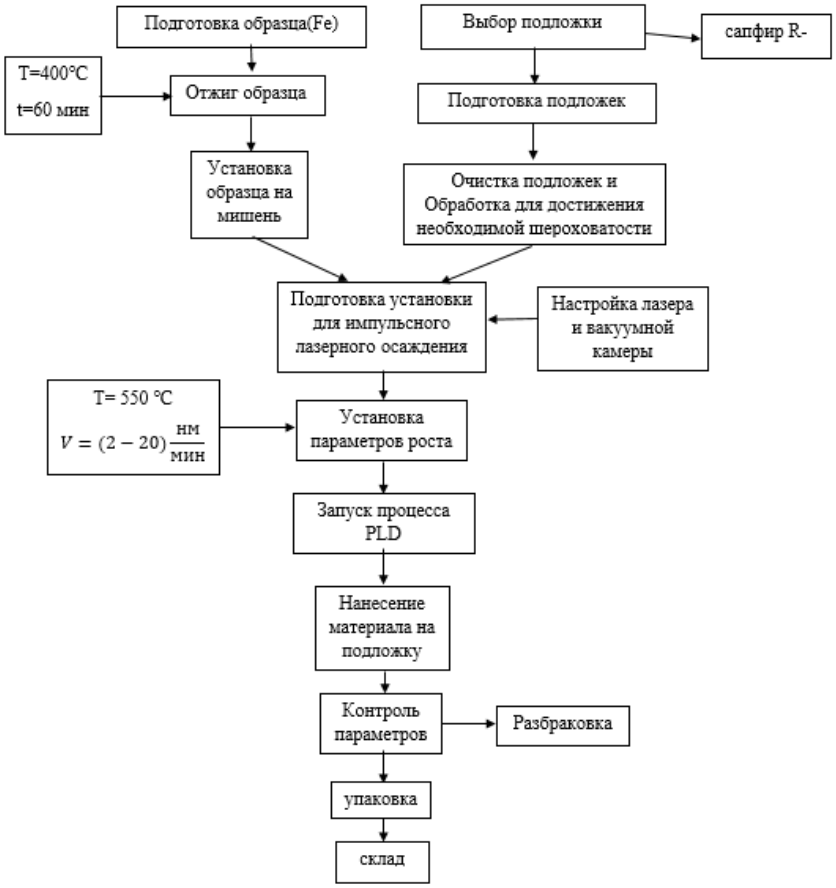


Рис. 1. Технологическая схема получения получение эпитаксиальных структур

Полученные результаты демонстрируют перспективность ИЛО-метода для создания многослойных структур с управляемыми магнитными характеристиками, что открывает возможности для разработки новых устройств.

Литература

1. Грязев, А. И. Технологии эпитаксии полупроводников. / А. И. Грязев. – М.: Научный мир, 2015. – 170 с.

УДК 621.382

МЭМС СЕНСОРЫ УСКОРЕНИЯ ДЛЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ

Студент гр. 11310122 Паршин П. С.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) представляют собой технологию, объединяющую микроэлектронику и механические элементы. Среди них особую роль играют акселерометры – датчики ускорения, которые нашли широкое применение в биомеханическом анализе движений. Биомеханический анализ движений играет важную роль в медицине, спорте, реабилитации и эргономике. МЭМС сенсоры ускорения позволяют измерять параметры движений человека с высокой точностью, обеспечивая объективную оценку кинематики и динамики движений. Эти сенсоры помогают исследовать координацию, баланс, силу и амплитуду движений, что делает их незаменимыми в научных, медицинских и спортивных исследованиях.

Основные компоненты МЭМС сенсоров ускорения включают инерционную массу, пружины, датчики смещения, электронную схему и корпус. Инерционная масса – это подвижная часть сенсора, которая реагирует на ускорение, смещаясь относительно корпуса при изменении скорости. Масса закреплена на упругих элементах (пружинах), позволяющих ей двигаться под действием ускорения и возвращаться в исходное положение после прекращения воздействия. Для измерения смещения массы используются: емкостные датчики, измеряющие изменение емкости между массой и неподвижными электродами и пьезоэлектрические датчики, генерирующие электрический заряд при деформации пьезоэлектрического материала, или оптические датчики, использующие свет для измерения смещения.

Принцип работы МЭМС сенсоров ускорения заключается в том, что при ускорении инерционная масса смещается относительно корпуса, это смещение регистрируется датчиками. Электронная схема преобразует его в сигнал, пропорциональный ускорению. На рис. 1 представлен известный базовый принцип работы МЭМС сенсора ускорения.



Рис. 1. Принцип действия МЭМС сенсора ускорения

Ограничениями МЭМС сенсоров ускорения являются: чувствительность к нежелательным вибрациям, что требует фильтрации сигнала, а также необходимоть калибровки для учета влияния температуры и других факторов. Таким образом, МЭМС сенсоры ускорения являются ключевым инструментом в биомеханическом анализе, позволяя точно измерять и анализировать движения человека.

Литература

1. Иванов, А. В. Микроэлектромеханические системы: принципы и применения / А. В. Иванов, С. К. Петров. – М.: Издательство «Наука», 2015.

2. Сидоров, Д. Н. Основы проектирования и применения МЭМС-устройств / Д. Н. Сидоров, В. А. Кузнецов. – СПб.: Издательство «Лань», 2018.

3. Козлов, В. А. Биомеханика и медицинские технологии: применение МЭМС-сенсоров / В. А. Козлов, И. Г. Михайлов – М.: Издательство «Медицина», 2019.

УДК 541

ПАРАМЕТРЫ КОАГУЛЯЦИИ В ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Студент гр. 11310123 Полуян Н. В.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной работы является изучения методов определения параметров коагуляции в химической системе.

В данной работе проведен обзор литературных источников в области коллоидной химии. Особое внимание было уделено расмотрению процесса коагуляции. Коагуляция – процесс разрушения коллоидных систем за счет слипания частиц, образования более крупных агрегатов и их последующего оседания (рис. 1).



Рис. 1. Процесс коагуляции

Этот процесс может быть вызван факторами, которые снижают электрокинетический потенциал частиц и их сольватацию, что включает дегидратацию ионов в диффузном слое. К таким факторам относятся:

1. Добавление электролитов и неэлектролитов. Введение солей или других веществ в коллоидный раствор может изменить его электрокинетические характеристики, способствуя коагуляции.

2. Изменение температуры и давления. Колебания температуры и давления могут оказывать влияние на физико-химические свойства коллоидного раствора и его способность к коагуляции.

3. Механические воздействия. Процессы смешивания, встряхивания или другие механические действия могут способствовать коагуляции за счет сближения частиц.

4. Воздействие электрического поля. Применение электрического поля может изменить заряд частиц и их способность к коагуляции.

5. Отстаивание коллоидного раствора. Со временем коллоидные растворы могут подвергаться изменениям, что может привести к коагуляции. Основные методы анализа коагуляции:

1. Оптическая коагулометрия. Этот метод измеряет изменения в оптической плотности коллоидного раствора для определения времени коагуляции.

2. Электрическая импедансная коагулометрия. Измерение электрического сопротивления раствора при образовании агрегатов.

3. Реологические методы. Измерение вязкости и текучести колойдного раствора с помощью вискозиметра.

4. Спектроскопический метод. Использует инфракрасную или ультрафиолетовую спектроскопию для анализа молекулярных изменений в процессе коагуляции.

Понимание коагуляции и факторов, влияющих на этот процесс, открывает возможности для оптимизации существующих технологий и создания инновационных решений в медицине, водоочистке, пищевой промышленности и многих других областях.

Литература

1. Платонова, Т. П. Практикум по курсу «Коллоидная химия»: учебное пособие / Т. П. Платонова; Амур. гос. ун-т, Ин-т компьютер. и инженер. наук. – Благовещенск: АмГУ, 2024. – 56 с.

УДК 621

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИК-СИСТЕМ

Студент группы 11304121 Потонейко А. В.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Развитие истории тепловидения было начато Уильямом Гершелем в 1800 г. Исследователь проводил опыты по защите своих глаз от солнечного света. В результате исследований был обнаружен эффект нагрева термометра, расположенного за красной полосой спектра.

Визуализации теплового поля – основная задача любого тепловизионного прибора.

К современным системам ИК-техники предъявляют высокие требования по обеспечению работоспособности в различных атмосферных условиях, помехоустойчивости и независимости от уровня освещения.

Количественным показателем внутренней энергии системы является ее температура. В любой физико-химической системе происходит непрерывное преобразование, накопление, генерация энергии. В реальных процессах неизбежны необратимые потери энергии. Большое практическое и теоретическое значение имеет анализ тепловых процессов.

В работе проведен критический анализ обзора литературы в области тепловидения и ИК-систем. Особое внимание уделено изучению основ тепловидения, основных физико-химических процессов, происходящих в тепловизионных приборах. Изучены принципы генерирования собственного теплового излучения нагретых тел, вклад в суммарное тепловое излучение.

Целью данной работы является изучение, классификация и сравнительный анализ материалов, применяемые в ИК технике. При выборе оптических материалов необходимо учитывать многие факторы, а именно: распределение температуры фона, допустимые температуры объекта, характеристики приемника и обработки изображений.

При выборе материалов для ИК-систем важно учитывать характеристики материалов в различных аспектах. ИК материалы могут быть разделены на кристаллы, стекла, металлы, полупроводники. Классификация материалов для ИК-систем представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Классификация материалов для ИК-систем

Материалы для ИК-систем – это вещества, которые разработаны для передачи, отражения и поглощения инфракрасного излучения в системах, работающих в ИК-диапазоне.

Литература

1. Михеев, С. В. Основы инфракрасной техники / С. В. Михеев. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 127 с.

УДК 62-7

ДИФФУЗИОННЫЕ НАСОСЫ КАК ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОГО ВАКУУМА

Студент гр. 11304121 Потонейко А. В.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы заключается в ознакомлении с оборудованием для создания высокого вакуума.

В работе проведен литературный обзор по методам создания высокого вакуума, также описана техника, которая базируется на использовании высокого вакуума.

Вакуум – состояние разреженного газа в непроницаемом резервуаре. Эффективность работы вакуума можно измерить несколькими способами, зависящими от параметров, таких как быстрота действия насоса, степень сжатия и перепад давления.

Высокий вакуум могут создавать с помощью диффузионных насосов. Диффузионный насос – это пароструйный механизм, захватывающий молекулы газа, который откачивается благодаря проникновению газа и пара рабочей жидкости. Существует два вида диффузионных насосов: паро ртутный и паромасляный. Парортутный вид насоса используют для откачки систем, где пар ртути – основная среда, а паромасляный диффузионный насос задействован во время нанесения защитного слоя на поверхность.

Принцип действия диффузионного парортутного насоса основывается на механизме, который функционирует на основании пароструйной технологии. В основной камере температура жидкости повышается, так как есть внутренний нагреватель. В процессе образуется пар, который перемещается по паропроводу. Далее паровой поток переходит в следующий отсек, где проходит сквозь зону высокого давления и позже попадает в зону низкого давления. Именно из-за этого пар расширяется.

А вот паромасляные диффузионные насосы работают за счет генерации пара. С газом сталкиваются частицы, которые двигаются по противоположной траектории, происходит процесс конденсации и газ выходит из системы. Из-за этого газ не попадает в зону низкого давления, что исключает накопление остаточного уровня газа в обрабатываемой среде.

Принцип действия диффузионного паромасляного насоса представлен на рис. 1. Диффузионный насос имеет простую и надежную конструкцию, части которой не изнашиваются.

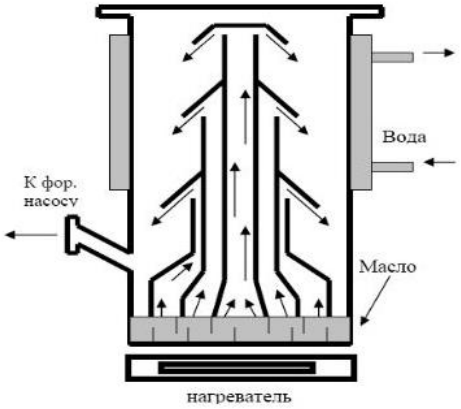


Рис. 1. Принцип действия диффузионного насоса

Используются диффузионные паромасляные насосы в химической и металлургической промышленности. Сами устройства используются в насосных подстанциях различных лабораторий. Преимущество их использования в том, что у них высокая скорость. Также насосы очень эффективны в процессах специальной варки и создании электрооборудования.

Литература

1. Пипко, А. И. Основы вакуумной техники / А. И. Пипко. – М.: Энергоиздат, 1981. – 351 с.

УДК 621.6

МИКРОФЛЮИДНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ

Студент гр. 11310121 Пытченко С. С.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В работе был проведен обзор и анализ научно-технической литературы, посвященной микрофлюидным устройствам. Изучены различные микрофлюидные технологии формирования наночастиц.

Для формирования капель в микрофлюидике используется два метода: активный и пассивный методы. Активные методы характеризуются применением внешних источников энергии (электрическое, электромагнитное излучение и т. п.); в пассивных методах формирование капель осуществляется за счет конструктивных особенностей устройства, условий генерации капель под действием потоков жидкости, вызываемых градиентом давлений в каналах. В условиях непрерывного потока возникают обстоятельства, приводящие к «разделению» сплошного потока и образованию упорядоченного и устойчивого монодисперсного потока капель. Выделяют три основных способа разделения потока жидкостей:

– распад в соосных потоках (co-flowing streams);
– распад при удлинении деформированных потоков flow focusing);
– распад в пересекающихся потоках (T-injector) [1].

Базовые модели генерации капель в микрофлюидике представлены на рисунке 1:



Рис. 1. Четыре базовых принципа формирования капель: Т-инжекция (А), фокусировка потока (Б), соосное течение потоков (В), ступенчатое эмульгирование (Г).

На рисунке 2 представлен микрофлюидный чип для формирования наночастиц. Чип имеет два входа: один для непрерывной фазы (*1*), другой – для дисперсной (*2*); а также один выход для сбора макроэмульсии (*7*). Вход для непрерывной фазы (*1*) соединен двумя микроканалами (*3*) с областью формирования наночастиц (*5*). В свою очередь, вход для дисперсной фазы (*2*) с областью формирования капель макроэмульсии (*5*) соединен одним микроканалом (*4*). Входные отверстия чипа имеют фильтры с переменным размером пор, что необходимо для предотвращения засорения чипа. В области, где происходит формирования капель (*5*), потоки дисперсной и непрерывной фаз соприкасаются друг с другом, при этом за счет образования нестабильности поток дисперсной фазы разбивается на капли, которые при помощи потока непрерывной фазы транспортируются к выходному отверстию.

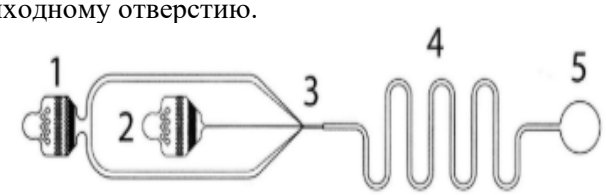


Рис. 2. Микрофлюидный чип для формирования макроэмульсий

В работе также был произведен расчет основных параметров микрофлюидного устройства: характерный размер канала L = 15,6 мкм; скорость потока: v = 5,57 мкм/с; скорость капли: V_d = 6,1 мкм/с; диаметр получаемых капель: d = 28,7 мкм.

Литература

1. Принципы, технологии и устройства «капельной» микрофлюидики / И. В. Кухтевич [и др.]. // Научное приборостроение. – 2015. – Т. 25, № 3. – С. 65–85.

УДК 621.3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ОКСИДНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С ПОВЫШЕННОЙ ЕМКОСТЬЮ

Студент гр. 11310121 Пытченко С. С.
Кандидат физ.-мат.н., доцент Щербакова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В ходе работы были рассмотрены ключевые аспекты технологии производства, включая выбор исходных материалов, методы формования и обработки, а также оптимизацию параметров процесса. Рассмотрено оборудование, применяемое на различных этапах создания танталовых конденсаторов. Был произведен расчет вакуумной системы (площадь внутренней поверхности камеры – 3,78 м^2; объем вакуумной камеры – 0,490 м^3; время откачки форвакуумной системой до предельного давления 0,18 Па – 184 с; время откачки форвакуумной системой до давления запуска высоковакуумного насоса 10 Па – 144 с.

На рисунке 1 представлена схема технологического процесса получения танталового оксидно-полупроводникового конденсатора. Пористую гранулированную структуру получают путем восстановления фтортанталата калия металлическим натрием. Затем порошок выщелачивают из реакционной массы [1]. Образуется губчатая структура, которая обеспечивает высокую емкость при небольшом объеме.

Диэлектрический оксидный слой, имеющий аморфную структуру, выращивают на поверхности анода из Ta_2O_5 в процессе электрохимического окисления.

Электролитом служит твердотельный полупроводник (MnO_2), который получают термообработкой солей марганца в ходе окислительно-восстановительного процесса.

На следующем этапе электролит покрывают графитовым, а затем металлическим слоем (Ag).



Рис. 1. Технологическая схема процесса создания оксидно-полупроводниковых танталовых конденсаторов

Полученные конденсаторы обладают большими значениями $C_{ном}$ (до 1000 мкФ), относительно малым весом (до 11 г) и способны работать при следующих температурах окружающей среды: от –60 до +125 °С.

Литература

1. Натриетермические танталовые порошки, получение при повышенном содержании кислорода в расплаве / В. Н. Колосов [и др.] // Перспективные материалы. – 2011. – № 13. – С. 635 – 641.

УДК 541

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ

Студент гр. 11310223 Сацкевич А. И.
Кандидат тех. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной научной работы является исследование методики проведения твердофазной микроэкстрации (ТФМЭ). В работе проведен критический обзор литературных данных. Рассмотрены основные методы разделения веществ. Особое внимание уделено процессам экстракции, основанной на зоне распеределения, рассмотрено несколько методик и приведены схемы устройств для ТФМЭ.

В качестве носителя собрентов, волоконной ТФМЭ, используют волокна из кварцевого стекла. Устройство напоминает микрошприц с волокном, защищенным иглой. Это предотвращает механические повреждения при введении сорбата в хроматограф (рис. 1).



Рис. 1. Схема волоконного концентратора

Методы волоконной ТФМЭ делятся на иммерсионный и парофазный. В иммерсионном методе аналит сорбируется из водной пробы. А в парофазном из насыщенной паровой фазы над пробой или измельченным твердым образцом. Парофазная ТФМЭ подходит для летучих и среднелетучих соединений. Обеспечивает эффективное отделение аналита от нелетучих компонентов. Защищает адсорбент от агрессивных веществ, что позволяет многократное использование. Иммерсионная ТФМЭ используется для экстракции среднелетучих и труднолетучих аналитов. Но требует осторожности с сильнокислыми и сильнощелочными растворами из-за хрупкости адсорбционного слоя.

ТФМЭ в капилляре использует капиллярную трубку с полимерным покрытием (рис. 2). Для экстракции аналитических веществ из жидких и газообразных проб, трубки изготавливают из кварцевого стекла.

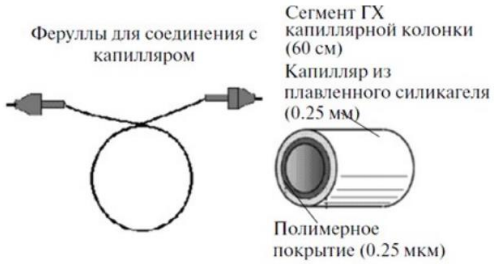


Рис. 2. Схема устройства для ТФМЭ в трубке

Через адсорбционную трубку пропускают как жидкую, так и газообразную пробы. При этом экстракцию, десорбцию и инжекцию в хроматографе выполняют, применяя автосамплер.

Сорбционная микроэкстракция на покрытии мешалки – метод, использующий адсорбционный слой на магнитном стержне. Он похож на волоконную твердофазную микроэкстракцию, но благодаря более толстому слою 0,3–1,0 мм увеличивает емкость сорбента в 50–250 раз.

Литература

1. Крылов, В. А. Твердофазное и жидкофазное микроэкстракционное концентрирование примесей / В. А. Крылов, П. В. Мосягин. – Н. Н.: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 108 с.

УДК 621.3

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Студент гр. 11310121 Севилькин Р. Н.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В рамках исследования проведен детальный анализ основных этапов производственного цикла, охватывающего тонкую механическую обработку и калибровку технологических режимов. Особое внимание уделено специализированному оборудованию, используемому на разных стадиях синтеза фотонно-кристаллических структур подбор сырьевых компонентов, современные подходы к формообразованию. Результатом работы стало установление взаимосвязи между оптимизацией производственных параметров и улучшением эксплуатационных характеристик конечных изделий. Был произведен расчет вакуумной системы (площадь внутренней поверхности камеры – 4,48 м^2; объем вакуумной камеры – 0,640 м^3; время откачки форвакуумной системой до предельного давления 0,2 Па – 291 с; время откачки форвакуумной системой до давления запуска высоковакуумного насоса 10 Па – 241 с.

На рис. 1 представлена схема технологического процесса получения фотонных кристаллов. Сначала идет формирование подложки с каналами для ввода суспензии и удаления растворителя (нижняя пластина). Вверхняя пластина ограничивает пространство, в котором происходит формирование фотонных кристаллов. Далее идет впрыск суспензии под давлением, создаваемым потоком газа, происходит упорядочение микросфер. Затем ячейку выдерживают при повышенной температуре в течение нескольких часов для полного удаления растворителя. Далее происходит обработка ультразвуком, самосборка и испарение растворителя.

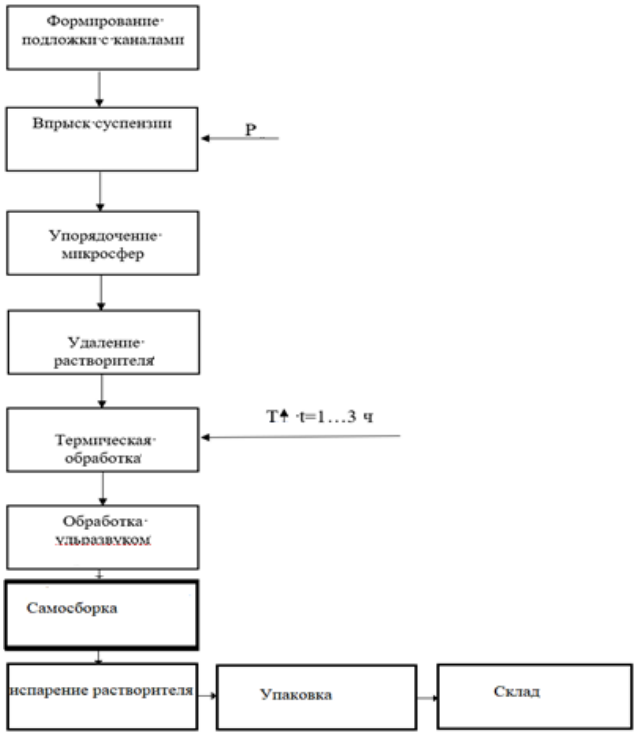


Рис. 1. Технологическая схема процесса получения фотонных кристаллов

Следует отметить, что качество получаемых структур напрямую зависит от параметров осаждения: концентрация микросфер, растворитель, температура и так далее. Площадь коллоидного кристалла определяется размерами подложки, а толщина пленки – концентрацией частиц в суспензии.

Литература

1. Park, S. H. Assembly of mesoscale particles over large areas and its application in fabricating tunable optical filters / S. H. Park, Y. Xia // Langmuir. – 1999. – V. 23. – P. 266–273.

УДК 621

СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ РАДИОПРОЗРАЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Студент гр. 11310122 Силич В. Ю.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение технологического процесса получения технологии получения нового СКМ материала кордиеритового состава в качестве радиопрозрачного материала.

В работе проведен анализ обзора литературных источников в области синтеза радиопрозрачных материалов. Особое внимание уделено изучению стеклообразных материалов, их структуры, свойств и технологии получения [1]. На основе стеклообразных материалов возможно получение материалов с особыми свойствами. Это достигается определенной термообработкой с целью получения стеклокерамики, проявляющей радиопрозрачные свойства при использовании в микро и наноэлектронике.

На рис. 1 представлена разработанная технологическая схема синтеза стеклокерамического материала методом двухстадийной обработки. Исходные оксиды смешивались в соответствующих количествах для получения шихты для варки стекла. Далее подготавливалась суспензия для формования заготовок. Стабилизация проводилась для достижения гомогенности химического состава.

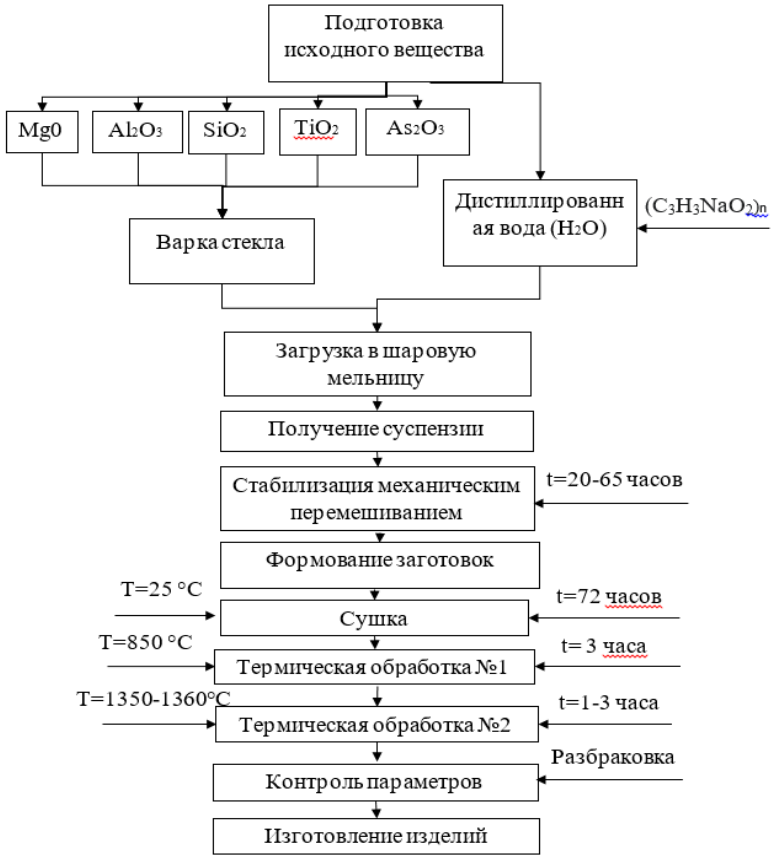


Рис. 1. Технологическая схема получения стеклокерамического материала

В результате такой технологии получается плотная структура зерен с равномерно распределенными порами и обеспечивается высокий уровень свойств радиопрозрачного материала.

Литература

1. Павлушкин, Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н. М. Павлушкин. – М.: Стройиздат, 1983. – 430 с.

УДК 531.4

ПЛАЗМОСТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ ФУЛЛЕРЕНОВ

Студент гр. 11310121 Снежко М. В.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Достигнуть производительности установок для синтеза фуллеренов можно при синтезе фуллеренов в плазменном потоке (плазменной струе) – например, за счет увеличения количества углерода в плазме, увеличения объема плазмы с оптимальными для образования фуллеренов параметрами, максимального замедления процессов деструкции образовавшихся молекул фуллеренов путем быстрого выведения их из высокотемпературных участков плазмы и зоны интенсивного УФ-излучения дуги и пр. Синтез в струе дуговой плазмы с использованием различных источников питания дуги и различных углеродных прекурсоров позволяет создавать мощные промышленные установки синтеза фуллеренсодержащей сажи в больших количествах.

Плазма в установке с дуговым плазмотроном постоянного тока генерируется в дуговом разряде между штыревым вольфрамовым катодом и окружающим его кольцевым водоохлаждаемым медным анодом. Плазменная струя образуется за счет подачи в плазмотрон инертного газа через отверстия в катоде и аноде. Питание дуги осуществляется от источника постоянного тока, а конденсация из плазменной струи углеродных наночастиц происходит в водоохлаждаемой камере, в которой расположен съемный сборник. Мелкодисперсная газопылевая смесь углеродного прекурсора с инертным газом образуется в камере при пропускании через нее регулируемого потока газа из баллона. Эта смесь инжектируется в зону дуги через отверстия электродов.

Но такая установка имеет низкий выход фуллеренов (2 %); гораздо выгоднее прибегнуть к использованию установки с трехфазным дуговым плазмотроном переменного тока (рис. 1). Установка переменного тока имеет три графитовых электрода, между которыми углеродная плазма изначально образуется, и дополнительно обогащается углеродом за счет введения в нее смеси плазмообразующего газа с мелкодисперсным графитом. Дуговой разряд в системе из 3-х графитовых электродов последовательно зажигается и гаснет между парой соседних электродов, поочередно пробегая все три пары электродов за половину периода питающего напряжения. Производительность данной установки может достигать 5 %-ного содержания фуллеренов в саже. Эта установка, в отличие от предыдущей, также может длительно и непрерывно работать в замкнутом цикле без выброса каких-либо продуктов производства в окружающую среду.

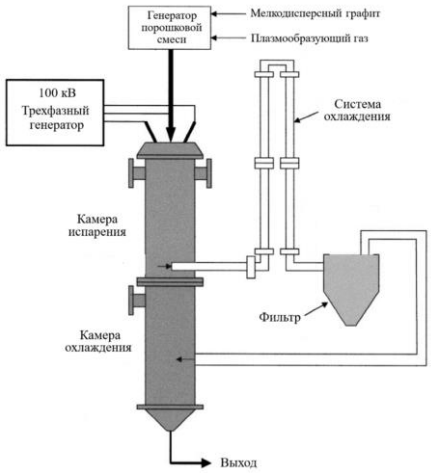


Рис. 1. Схема установки синтеза фуллеренов с трехфазным дуговым плазмотроном переменного тока

Литература

1. Fullerene production in a 3-phase AC plasma process / Fulcheri L. [et. al.] // Carbon. – 2000. – Vol. 38. – P. 797–803.

2. Dubrovsky, R. Plasma fullerene production from powdered carbon black / R. Dubrovsky, V. Bezmelnitsyn, A. Eletskii // Carbon. – 2004. – Vol. 42. – P. 1063–1066.

УДК 621

ГИБРИДНЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Студент гр. 11304122 Сухоцкий Г. С.
Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Данная работа посвящена изучению технологического процесса получения гибридных люминесцентных материалов. В работе проведен обзор литературных источников в области получения гибридных люминесцентных материалов. Особое внимание уделено изучению структур стекломатриц и люминофоров. Стекломатрица в гибридных люминофорных материалах представляет собой важный компонент, который обеспечивает уникальные оптические характеристики и механическую прочность. Люминофоры также играют ключевую роль, они преобразовывают энергию в видимый свет.

В работе изучен и проанализирован технологический процесс получения люминесцентного материала на основе стекла. Для синтеза необходимо подготовить шихту. Синтез в печи осуществлялся при температурах 850–950 °С, в течении 20–25 мин. Затем расплав отливали в форму для получения образцов. Перед обработкой поверхности стекла отжигали для снятия термических напряжений. Гибридные материалы синтезировались путем проведения высокотемпературной гетерофазной реакции в стеклоуглеродных тиглях. Кристаллический металлоорганический комплекс смешивали с предварительно синтезированным и растолченным в порошок стеклом оксидом бора и проплавляли при температурах 300–350°С в течение 2–5 минут. Образцы ГМ получали быстрым охлаждением расплава или вытягиванием толстых нитей. ГМ обрабатывали без предварительного отжига, чтобы не внести искажения в спектральные свойства Полученные образцы имели маленькие размеры, пузыри и включения по краям. Заранее синтезированное стекло - матрицу расплавляли при температуре ~800 °С в муфельной печи в корундовом тигле, затем расплав охлаждали до ~600 °С, помещали в тигель с расплавом навеску порошка люминофора при этом интенсивно перемешивали в течение 10–30 секунд, выливали расплав в стальную форму, таким образом, получая ГМ.

В результате изучения технологического процесса разработана технологическая схема получения гибридных люминесцентных материалов, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Технологический процесс получения гибридных люминесцентных материалов

Гибридные люминесцентные материалы находят широкое применение в различных областях благодаря своей уникальной способности преобразовывать энергию в видимый свет и сочетать в себе преимущества различных компонентов. Их применяют для создания светодиодов, проекционных систем, а также в материаловедение для создания новых оптических технологий.

Литература

1. Красовицкий, Б. М. Органические люминофоры / Б. М. Красовицкий, Б. М. Болотин. – Москва, 1984. – 336 с.

УДК 62-9

ПОКРЫТИЕ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Студент гр. 11304121 Ткаченко К. Д.
Ст. преподаватель Люцко К. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью работы является изучение магнетронного напыления, а также принцип работы оборудования для создания покрытия данным методом.

Магнетронное распыление – это технология нанесения тонких пленок на подложку с помощью катодного распыления мишени в плазме магнетронного разряда – диодного разряда в скрещенных полях. Технологические устройства, предназначенные для реализации этой технологии, называются магнетронными распылительными системами, или, сокращенно, магнетронами. Этот метод входит в число наиболее развитых и универсальных способов получения различных пленок, поэтому он продолжает широко применяться и в условиях появления новых конкурентоспособных процессов осаждения пленок.

Принцип работы магнетрона в отличие от тлеющего разряда, где электрон, который не испытывает столкновений, будет свободно ускоряться электрическим полем, пока не покинет область катодного падения потенциала, наличие поперечного магнитного поля заставляет электрон искривлять свою траекторию под действием силы Лоренца. При достаточной величине магнитного поля электрон вернется на катод с почти нулевой энергией и вновь начнет ускоренное движение под действием электрического поля. Электрон находится в таком положении, покинуть которое он может, только совершив столкновение с другой частицей. Тогда он перейдет на новую траекторию, расположенную чуть дальше от катода и так будет пока не ослабнут поля, магнитное – за счет удаления от полюсов магнитной системы, электрическое – за счет плазменной экранировки. За счет наличия ловушки многократно возрастает эффективность ионизации эмитированными электронами, что позволяет, в отличие от обычного диодного разряда, получать высокую плотность ионного тока, а значит, и высокие скорости распыления при относительно низких давлениях порядка 0,1 Па и ниже. Для того, чтобы электрон не менял свое положение, необходимо исключить утечку электронов на анод вдоль силовых линий магнитного поля, а траектории дрейфа должны быть замкнуты.

Метод магнетронного напыления широко используется в электронной промышленности для повышения долговечности электронных деталей. Оно применяется при изготовлении диэлектриков затворов, пассивных тонкопленочных компонентов, межслойных диэлектриков, датчиков, печатных плат и устройств на поверхностных акустических волнах.

Метод магнетронного распыления с ионным ассистированием позволяет получать покрытия практически из любых металлов, сплавов, полупроводников и диэлектриков без нарушения начального состава компонентов, наносить покрытия с широким интервалом скоростей напыления, получать покрытия, отличающиеся высоким качеством и однородностью, наносить покрытия в среде химически активных газов и получать соединения на основе оксидов, нитридов, карбидов, производить обработку изделий с целью их ионной очистки и активации перед нанесением покрытий.

Недостатками такого метода являются окисление и загрязнение поверхности при открытии вакуумной камеры, а также нанесение не только на образцы, а также на элементы самой вакуумной камеры.

Далее представлена схема магнетронной системы ионного распыления с плоским катодом. Основными рабочие характеристики – это напряжение горения заряда, ток, плотность тока и удельная мощность. Все параметры связаны между собой и влияют на воспроизводимость характеристик полученных пленок.

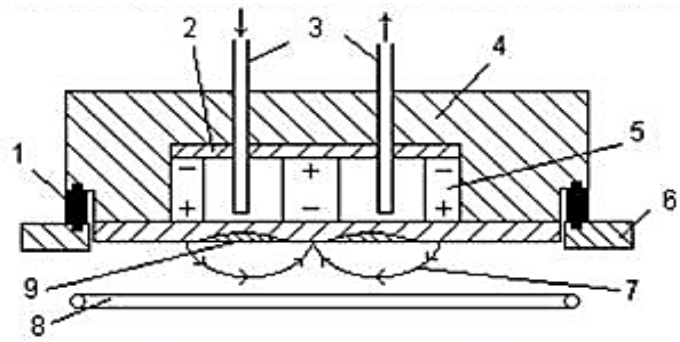


Рис. 1. Схема магнетронной системы ионного распыления с плоским катодом

В целом, магнетронное распыление является важнейшей технологией, которая поддерживает прогресс в различных отраслях, обеспечивая высококачественные, точно контролируемые тонкопленочные покрытия.

Литература

1. Магнетронные распылительные системы: кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления / А. Кузьмичев. – М.: Аверс, 2008. – 365 с.

УДК 004.94, 532.64

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Мл. научный сотрудник Трухан Р. Э.[1], кандидат физ.-мат. наук Маханек А. А.[1],
кандидат техн. наук, доцент Лапицкая В. А.[1,2], д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.[1,2]
[1]Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для создания устройств микро- и нанотехники используются результаты исследований свойств материалов, получить которые бывает весьма затруднительно. Использование вычислительных моделей позволяет снизить трудоемкость работ, хоть и не без использования экспериментальных результатов для создания моделей. Одним из полимерных материалов, подходящих по физико-химическим свойствам для микрофлюидных устройств, является полиметилметакрилат (ПММА) [1]. Получение модели взаимодействия этого полимера с водой, на примере краевого угла смачивания, позволит проводить поиски способов изменения гидрофильно/гидрофобного баланса поверхности при помощи моделирования.

Целью работы является получение методом молекулярно-динамического моделирования краевого угла смачивания поверхности пластины ПММА каплей воды.

Моделирование проводилось в пакете GROMACS, который чаще применяется для подобных задач [2]. Исходные данные представляют собой шарик воды диаметром 5 нм и квадратную пластину, состоящую из цепочек молекул изотактического ПММА со степенями полимеризации 5 (ПММА5) и 50 (ПММА50), стороной 26,3 нм и толщиной 4 нм (ПММА5) и 2 нм (ПММА50). Подготовку цепочек молекул ПММА проводили с помощью ресурсов CharmmGUI и PolyParGen, формирование системы – с помощью packmol и genconf.

Исходя из полученных траекторий атомов в конечный момент моделирования был определен краевой угол смачивания для обоих случаев. В результате было получено, что в случае ПММА5 среднее значение КУС равно 27,4°, а для ПММА50 – 27,9° (рис. 1). Полученные значения ниже, чем у реального ПММА (80°) [1]. Разница в результатах может быть связана с параметрами модели (силовое поле, размер капли [3], низкая шероховатость поверхности) и требует дальнейших работ по совершенствованию модели.

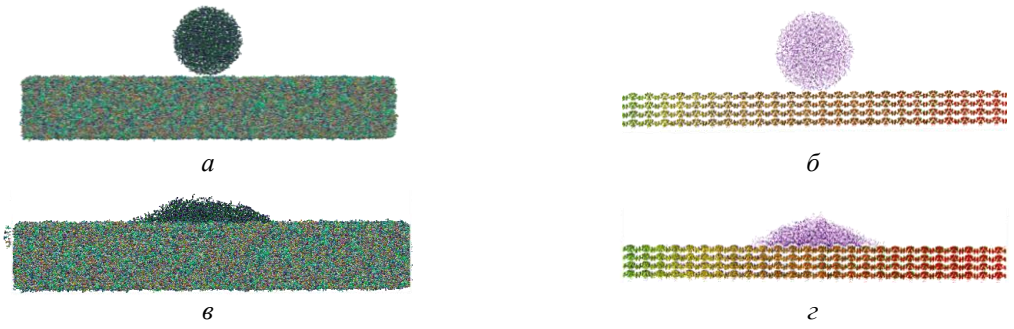


Рис. 1. Система в начальный (*а*, *б*) и в конечный (*в*, *г*) момент времени для ПММА5 (*а*, *в*) и ПММА50 (*б*, *г*)

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция − 2025» (задание № 3.03.3).

Литература

1. Физико-химические методы модификации поверхности полиметилметакрилата для микрофлюидных чипов / Г. Е. Рудницкая [и др.] // Научное приборостроение. – 2014. – Т. 24, № 3. – С. 22–31.

2. GROMACS: fast, flexible, and free / D. van der Spoel [et al.] // Journ. of Comput. Chem. – 2005. – Vol. 26, iss. 16. – P. 1701–1718.

3. Santiso, E. E. On the calculation of solid-fluid contact angles from molecular dynamics / E E. Santiso, C. Herdes, E.A. Müller // Entropy. – 2013. – Vol. 15, iss. 9. – P. 3734–3745.

УДК 620.178.169

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ TiN И AlN, НАНЕСЕННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ

Аспирант Хабарова А. В.[1], кандидат техн. наук, доцент Лапицкая В. А.[1, 2],
д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.[1, 2], ст. научный сотрудник Николаев А. Л.[3],
кандидат физ-мат. наук Садырин Е. В.[3], кандидат техн. наук Волков С. С.[3],
д-р физ-мат. наук Айзикович С. М.[3]
[1]Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[3]Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Явления трения и износа оказывают большое влияние на качество, долговечность и надежность изделий. Растущий спрос на более прочные и износостойкие материалы, обусловленный технологическими достижениями, позволяет широко применять тонкие покрытия TiN и AlN, обладающие повышенной износостойкостью, низким коэффициентом трения, хорошей защитой от коррозии и высокими значениями твердости поверхности необходимые для повышения трибологических характеристик изделий [1].

На многослойные тонкие покрытия TiN (14,3 ат. %)/TiN (44,4 ат. %)/TiN (43,2 ат. %) и AlN (12,9 ат. %)/AlN (17,2 ат. %)/AlN (6,3 ат. %), напыленные на кремниевые подложки ориентации (100) вакуумно-магнетронным методом с помощью системы VSM 100 (ROBVAC, Россия) [2], нанесены царапины длинной 6 мкм за 15 сек при помощи наноиндентора модели 750 Ubi (Hysitron, США) алмазным индентором конической формы (радиус кривизны острия – 226 нм). Вертикальная нагрузка при нанесении царапин на многослойное покрытие TiN составляла 1000, 1500, 2000 мкН; на многослойное покрытие AlN – 50, 75, 100 мкН.

Наноскретч-тест происходит при перемещении индентора на заданное расстояние с заданной нагрузкой и длительностью, при этом постоянно регистрируя изменения значений коэффициента трения (ktp). Для определения свойств разрушения многослойных покрытий TiN и AlN использована формула, позволяющая определить вязкость разрушения (K_c) на основе испытаний на царапание [2], которая учитывает значения движущей силы разрушения F_{eq} (Н), а также глубину w (м) и ширину h (м) полученных дорожек после проведения наноскретч-теста.

В таблице 1 отображены полученные значения $k_{тр}$ и K_c после наноскречт-теста для многослойных покрытий TiN и AlN. Самые низкие значения коэффициента трения 0,45 ±0,13 и вязкости разрушения 7,92 ±0,43 МПа·м$^{1/2}$ получены на покрытии TiN при нагрузке 1000 мкН, а самые низкие $k_{тр}$ = 0,57 ±0,32 и K_c = 0,11 ±0,02 МПа·м$^{1/2}$ – на покрытии AlN при нагрузке 100 мкН.

Таблица 1 – Трибологические свойства многослойных покрытий

Покрытие	Нагрузка, мкН	$k_{тр}$	K_c, МПа·м1/2	H, ГПа	H_s, ГПа
$Ti_{85,7}N_{14,3}/Ti_{55,6}N_{44,4}/Ti_{56,8}N_{43,2}$	1000	0,45 ±0,13	7,92 ±0,43		
	1500	0,53 ±0,16	6,07 ±0,46		
	2000	0,49 ±0,16	8,53 ±0,60	10,05	10,07
$Al_{87,1}N_{12,9}/Al_{82,8}N_{17,2}/Al_{93,7}N_{6,3}$	50	0,57 ±0,32	0,11 ±0,02		
	75	0,65 ±0,30	0,23 ±0,04		
	100	0,63 ±0,27	0,16 ±0,03	0,9	1,04

Твердость при царапании H_s (ГПа) рассчитывается исходя из полученных значений ширины дорожки царапин w (м) на покрытии и сравнивается со средней твердостью H (ГПа), полученной в результате теста на вдавливание (индентирование) со схожей нагрузкой. Установлено, что твердость при царапании и типичная твердость многослойных покрытий TiN и более пластичных многослойных покрытий AlN имеет схожие значения, которые приведены в табл. 1.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № Т23РНФ-132.

Литература

1. Kumar, A. Improving tribological behavior of titanium nitride (TiN) hard coatings via zirconium (Zr) or vanadium (V) doping / A. Kumar, R.S. Mulik // Tribology International. – 2023. – Vol. 189. – P. 108997.

2. Lapitskaya, V. The influence of nitrogen flow on the stoichiometric composition, structure, mechanical and microtribological properties of TiN coatings / V. Lapitskaya, A. Nikolaev, A. Khabarava, E. Sadyrin, P. Antipov, K. Abdulvakhidov, S. Aizikovich, S. Chizhik // Materials. – 2024. – Vol. 17, № 1. – P. 120.

УДК 537.3; 539.2

ТРАНСМУТАЦИОННО ЛЕГИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ

Студент гр. 11303124 Шовкиев А. С.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Черный В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Постоянная тенденция в развитии полупроводниковой электроники – все возрастающие требования к качеству полупроводниковых материалов. Для создания приборов, работающих при достаточно высоких обратных напряжениях (выпрямительные диоды, транзисторы), необходим кремний с высокой степенью однородности легирования донорной или акцепторной примесью. Традиционные методы легирования, такие как диффузия или ионная имплантация уже оказываются недостаточными для достижения указанной цели.

Наилучшей степени однородности распределения легирующей примеси удается достичь, используя метод трансмутационного легирования [1–3]. Сущность метода заключается в следующем. Кремний, как известно, представляет собой смесь трех изотопов $^{28}_{14}Si$, $^{29}_{14}Si$, $^{30}_{14}Si$. При облучении тепловыми нейтронами во взаимодействие с ними активно вступает изотоп $^{30}_{14}Si$. В результате ядерной реакции $^{30}_{14}Si + ^{1}_{0}n$ образуется нестабильный изотоп $^{31}_{14}Si$, который испытывает β^--распад, превращаясь в стабильный изотоп фосфора $^{31}_{15}P$. Данный изотоп является донором.

Изотоп $^{30}_{14}Si$ распределен равномерно по объему кремния, что и обеспечивает высокую степень однородности легирования донорной примесью.

Облучение производится в канале ядерного реактора. При облучении образуются радиационные дефекты, в том числе из-за действия неминуемо присутствующих нейтронов более высоких энергий. Радиационные дефекты вносят в запрещенную зону кремния глубокие энергетические уровни, так что сразу после облучения кремний оказывается высокоомным материалом р-типа проводимости.

Для удаления радиационных дефектов производится отжиг при температурах 600–650 °С. В результате происходит конверсия в n-тип проводимости, и материал становится пригодным для последующих процессов по созданию полупроводниковых приборов.

В данной работе исследовались образцы кремния, подвергнутые процессу трансмутационного легирования. Исходные образцы были р-типа проводимости с удельным сопротивлением 100 Ом·см.

Сразу после облучения образцы, как и ранее отмечалось, оказались р-типа проводимости с удельным сопротивлением более 1000 Ом·см. В спектрах инфракрасного поглощения проявлялись известные полосы радиационных дефектов в кремнии 3,6 мкм, 1,8 мкм, а также полоса однофононного поглощения 20,5 мкм и монотонно растущее по интенсивности с ростом энергии фотона поглощение вблизи края полосы фундаментального поглощения.

Произведенный отжиг в течение 30 минут при 650 °С привел к исчезновению всех особенностей физических свойств, обусловленных радиационными дефектами. Материал конвертировал в n-тип проводимости. В спектрах инфракрасного поглощения проявлялось поглощение на свободных носителях – электронах.

Проведенные измерения эффекта Холла показали, что концентрация введенного фосфора линейно связана с использованными флюенсами облучения тепловыми нейтронами. Подвижность электронов соответствовала значениям, характерным, как это следует из известных литературных источников, для достигнутых концентраций.

Литература

1. Вопросы радиационной технологии полупроводников. – Новосибирск: Наука, 1980. – 296 с.

2. Вавилов, В. С. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах // В. С. Вавилов, Н. А. Ухин. – М.: Атомиздат, 1969. – 632 с.

3. Физические процессы в облученных полупроводниках / Под редакцией Л. С. Смирнова. – Новосибирск: Наука, 1977. – 256 с.

СЕКЦИЯ 4. ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 001.891.53

STUDY ON OPTIMIZATION OF ILLUMINATION PARAMETERS FOR EFFICIENT OXYGEN PRODUCTION BY MICROALGAE

Graduate student Zhang Yun
PhD, associate prof. Saukova Y.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Algae are of vital importance to ecosystems and human production and life [1]. With the development of science and technology and in-depth research, algae as a renewable resource have been applied to sewage treatment [2], biofuel development [3], air purification and other fields.

Light is one of the most important environmental factors affecting algae growth, and different algae species have significant differences in their light requirements. Light intensity is a key factor affecting the growth and photosynthesis of microalgae, and it affects algae photosynthetic activity, oxygen release rate, enzyme activity, intracellular pigment composition, fat and carbohydrate content, and metabolic products. Light intensity directly affects the photosynthesis rate of algae, which in turn affects the accumulation of algae biomass and life activities. Studies have shown that a light intensity of about 4000 lx is the best growth condition for Chaetoceros muelleri in the coastal area of Guangxi [4].

In addition to light intensity, other light conditions such as photoperiod, spectrum combination, light intensity fluctuation, etc. will also have an impact on algae. The photoperiod refers to the distribution ratio of light time and dark time within 24 hours, also known as the light-dark ratio (L/D). The light-dark ratio affects the biomass and photosynthesis of microalgae. An appropriate light-dark ratio can optimize the photosynthetic efficiency of microalgae. A 14:10 h light-dark cycle combination can increase the average daily oxygen production of microalgae by regulating the cellular respiration compensation mechanism [5]. In addition to light intensity and light-dark ratio, light quality is also an important factor. Different wavelengths of LED light affect the fat accumulation and photosynthesis of microalgae. The composite spectrum of red light (630–660 nm) and blue light (450–470 nm) can promote the activity of photosystem II [6].

Taking all the above factors into consideration, the photosynthetic efficiency and oxygen production of microalgae can be improved by optimizing parameters such as light intensity, light-dark ratio and light quality. This requires experimental research on different types of microalgae to find their optimal light conditions.

Литература

1. Lehmuskero A, Chauton M S, Boström T. Light and photosynthetic microalgae: A review of cellular-and molecular-scale optical processes[J]. Progress in oceanography. – 2018. – 168. – P. 43–56.

2. Mallick, N. Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review // Biometals. – 2002. – Vol. 15. – P. 377–390.

3. Brennan, L. Biofuels from microalgae – a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products / L. Brennan, P. Owende // Renewable and sustainable energy reviews. – 2010. – Vol. 14. – №. 2. – P. 557–577.

4. 朱昔恩, 林原有, 项桂德, 等. 盐度, 温度和光照对广西沿海牟氏角毛藻生长的影响[J]. 广东农业科学, 2022, 49(1): 136 – 141.

5. 武涛, 陈龙, 王聪, 等. 光暗比对藻类技术净化沼液沼气效果的影响[J]. Environmental Science & Technology (10036504), 2022, 45(2).

6. 孙建瑞, 姚琳琳, 李菁岚, 等. LED 光质影响微藻生长和代谢产物积累的研究进展[J]. 食品与发酵工, 2024, 50(2): 321–328.

УДК 685.88

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF ROOMS, EQUIPMENT AND EQUIPMENT FOR TABLE TENNIS BY THE NATURE OF LIGHTING AND COLOR SCHEME

Master's Student Qiu Tian
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Zaitseva E. G.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The requirements for the parameters of the premises, equipment and equipment for table tennis are set out in the regulatory documents of the International Table Tennis Federation (ITTF) [1, 2]. If they observed, various versions of the specified research objects are possible, and there is no regulation of some parameters. The resulting differences in the parameters of the premises, equipment and equipment can have an impact on the level of efficiency and fatigue of tennis players.

The illumination of the table should be uniform and at least 1.500 lux, and the illumination in other areas of the hall should not be less than 1.000 lux. In other competitions, the illumination of the playing surface must be uniform and at least 600 lux, and the illumination of the entire playground must be at least 400 lux. The light source must be located at least 5 m from the field level. At the same time, the playing area should be at least 14 m long, 7 m wide and 5 m high. It is permissible to hold games with a playing space at a height of at least 4 m: – 12 m long and 6 m wide – for All–Russian competitions; – 10,5 m long and 5 m wide – for Republican and regional competitions; – 8 m long and 4,5 m wide – for city and district competitions. It follows that when the ceiling height is from 4 to 5 m, the lamp height condition is not met. Since it is impossible to achieve perfect uniformity of illumination, it is necessary to set an acceptable value for unevenness.

Indoor lighting sources have different spectral compositions. It known that the use of gas-discharge lamps with high-frequency radiation invisible to the eye causes fatigue and is harmful to vision. The use of highly efficient white LEDs with a local maximum at a wavelength in the region of 450–460 nm causes the effect of «pupil dilation». As a result, additional efforts are required from the accommodative system of the eye and the development of myopia is possible [3]. Therefore, normalization of the spectral composition of radiation sources is required.

Table tennis balls can be used white and orange colors in both. If white affects all three types of photosensitive cones of the eye to the same extent, then orange affects the red-sensitive ones as much as possible, to a lesser extent the green-sensitive ones and does not affect the blue-sensitive ones. In the second case, different groups of cones get tired in different ways, which is unfavorable for vision.

In addition, the rules regulate the color of the racket cover (one side must be bright red and the other black). The spectral reflection coefficient and its tolerance not regulated, that is, a large number of color shades are possible. When observing a ball against the background of a racket, 4 different color contrast options are possible: black-and-white, black-and-orange, red-and-white, and red-and-orange. The number of options increased additionally due to the different spectral composition of the lighting. The visibility of the ball against the background of the racket will be different in each case, and this leads to a change in the reaction rate. In addition, the perception of different colors has a different effect on the psychophysical state of a tennis player. A similar effect of uncertainty of exposure also occurs due to the uncertainty of the color of the table (according to the rules, it should be dark), the floor and the athlete's jersey (its color should not match the color of the ball).

It follows from the above that in order to maintain the same competition conditions, it is necessary to more precisely regulate and quantify not only the spectral composition of lighting, but also the spectral reflection coefficients of equipment, walls, indoor floors, and shapes.

References

1. ITTF inventory requirements. – Access mode: https://start-line.ru/articles/trebovaniya-ittf-k-inventaryu/. – Access date: 21.02.25.

2. Table tennis: rules of the game, refereeing competitions: An educational and methodological guide / Comp. V. A. Shalaev, E. A. Borodina. Nizhnevartovsk: Publishing House of Nizhnevartovsk Humanities. University, 2009. – 51 p. – Access mode: https://nvsu.ru/ru/Intellekt/1131/Nastolniy%20tennis%20- %20Uchebno-metodicheskoe%20posobie %20-%202009.pdf. – Access date: 21.02.25.

3. Kaptsov, V. A. Two concepts of the development of semiconductor white light sources for lighting schools. Analytical review/ V. A. Kaptsov [et al.] // «Eye». – 2017. – № 6 (118). – P. 8–22. – Access mode: https://www.theeyeglaz.com/jour/article/viewFile/52/97. – Access date: 21.02.2025.

УДК 681.7

КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ FREEFORM

Студент гр. 11311121 Алешкевич К. В.
Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наиболее распространенные и привычные глазу оптические системы представляют собой сложные технические устройства, состоящие из множества компонентов, которые зачастую имеют значительные габариты и вес. Мечта, должно быть, каждого оптика – это создать систему, которая состояла бы из минимального числа компонентов и имела небольшой вес, но при этом и высокое качество изображения. Современные технологии производства оптических деталей позволили приблизится к этой мечте при помощи создания свободных (freeform) поверхностей. Однако с усложнением поверхностей возникает вопрос об их контроле.

Контроль оптических деталей классической формы (сферической и асферической) осуществляется механическими (с помощью сферометров, профилографов-контурографов, контрольно-измерительных машин (КИМ)) и оптическими (интерференционными и автоколлимационными) методами с применением сферических и асферических эталонных поверхностей или «эталонных» волновых фронтов для асферических поверхностей, которые создаются нуль-корректорами или синтезированными голограммами индивидуально для каждой контролируемой поверхности.

Когда речь заходит о поверхностях свободной формы, то возникает сложность с выбором методики для их контроля. В ходе работы были изучены различные методики контроля оптических поверхностей [1–4] и подобраны наиболее подходящие для поверхностей freeform.

Оптимальными методами для контроля поверхностей свободной формы являются интерференционный метод с помощью синтезированных голограмм и механические с помощью профилографа-контурографа или КИМ.

Создание синтезированных голограмм является сложной и трудоемкой задачей. Синтезированная голограмма для контроля freeform поверхностей сложнее по конструкции, представляет собой составную голограмму, требует специальных методов расчета, а также изготовления и аттестации. Несмотря на это, контроль с их использованием обеспечивает высокую точность и позволяет проконтролировать всю поверхность детали [5].

Механическими методами контролируется топология поверхности с помощью щупа, который перемещается по поверхности по заданной траектории. 3D и 2D-модель контролируемой поверхности получают на основании полученных значений профиля поверхности после выполнения соответствующих расчетов. Метод трудоемкий, не позволяет проконтролировать всю поверхность, менее точный чем оптический. Однако для его реализации достаточно использовать имеющиеся на предприятии оборудование – КИМ, в CAD-программу которой можно загрузить рассчитанный профиль freeform поверхности.

Литература

1. Кирилловский, В. К. Оптические измерения. Часть 6: Инновационные направления в оптических измерениях и исследованиях оптических систем: учебное пособие // В. К. Кирилловский, Т.В. Точилина. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – 96 с.

2. Грибовский, А. А. Интегрированные технологии производства и современные среды моделирования в приборостроении. Учебное пособие // А. А. Грибовский, Ю. С. Андреев, М. Я. Афанасьев. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 139 с.

3. Контурографы и кругломеры? Что это за системы и зачем они нужны? [Электронный ресурс]: МС Метролоджи – Режим доступа: https://www.metrologi.ru/blog/konturografy-i-kruglomery-chto-eto-za-sistemy-i-zachem-oni-nuzhny. – Дата доступа: 17.10.2024.

4. Координатно-измерительные машины и 3D-сканеры в промышленности [Электронный ресурс]: Коллективный блог Хабр. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/top3dshop/articles/511964. – Дата доступа: 16.07.2024.

5. Краснов, Д. И. Расчет дифракционного корректора для контроля поверхности свободной формы / Д. И. Краснов // Политехнический молодежный журнал. – 2022. – №08.

УДК 681.722.25, 535.317

КЛИНОВИДНАЯ ПРИЗМА С ПОВЕРХНОСТЯМИ FREEFORM

Студент гр. 11311121 Алешкевич К. В.[1]
Д-р техн. наук, профессор Артюхина Н. К.[1], Марчик В. А.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]ОАО «Пеленг», Минск, Беларусь

При конструировании оптических и оптико-электронных приборов, в особенности систем визуализации, всегда стремятся к облегченным и малогабаритным конструкциям, обеспечивающим высокое качество изображения. Перспективным направлением в этой области можно считать компоновку оптической системы на основе клиновидных призм с оптическими поверхностями freeform (свободной формы), применение которых получило широкое распространение в системах для нашлемных дисплеев [1] и системах дополненной реальности [2].

В настоящей работе рассмотрена оптическая схема, представленная на рис. 1, состоящая из микродисплея и окуляра, представляющего собой клиновидную призму с двумя поверхностями freeform и одной асферической. Прототипом является схема [2].

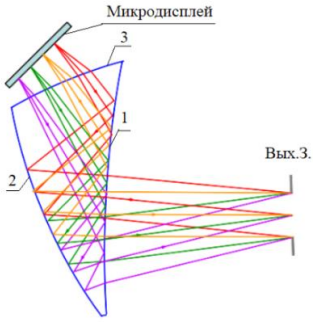


Рис. 1. Оптическая схема системы визуализации с клиновидной призмой: *1, 3* – поверхности свободной формы, *2* – асферическая поверхность

Поверхность свободной формы *3* призмы, обеспечивает проекцию излучения с поверхности микродисплея на поверхность *1* призмы также свободной формы, которая отражает, падающие на нее лучи, на асферическую поверхность *2*, отражаясь от которой лучи строят изображение с дисплея в бесконечности. Следует отметить, что форма поверхности *1* рассчитана таким образом, что отражение лучей от нее осуществляется за счет полного внутреннего отражения, а на поверхность *2* наносится отражающее покрытие.

Поверхности freeform в рассмотренной схеме описываются полиномиальными уравнениями с расширением (поверхность *1* – 25 полиномов, поверхность *3* – 20 полиномов), а вторая поверхность – уравнением четной асферической поверхности.

При проектировании клиновидной призмы были выявлены следующие особенности:

Поверхности freeform представляют собой не простые параметрические функции, а могут свободно принимать любую форму, например, их можно описать полиномиальным уравнением с расширением, уравнением с полиномами Цернике и др. Из-за этого возникает сложность в проектировании таких поверхностей, так как достаточно трудно, особенно неопытным оптикам-расчетчикам, предугадать их поведение в зависимости от изменения того или иного параметра.

Описание функции передачи модуляции с помощью быстрого преобразования Фурье не применимо без внесения специальных поправок, т. к. данный расчет не учитывает автоматически наклон поверхности изображения в одном направлении, а расчет Гюйгенса учитывает.

Литература

1. Компактный объектив перископического типа на основе клиновидных призм с поверхностями свободной формы / Грейсух Г. И. [и др.] // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88, № 10. – С. 3–10.

2. Yun-Liang, C. Design of free-form-surface prism in head mounted display / C. Yun-Liang, L. Tie-Cai, Q. Xiang-Hui // Journal of Applied Optics. – 2009. – Vol. 30. – №. 4. – P. 552–557.

УДК 681.7.02

ЮСТИРОВКА МОДУЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ

Магистрант Али-заде Э. Т.
Д-р техн. наук, профессор Козерук А. С., кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Юстировка, и совмещенный с ней контроль, является завершающим и трудоемким этапом процесса сборки оптико-электронных приборов и систем, в процессе которой отдельные детали, сборочные единицы и узлы устанавливаются в положение, обеспечивающее требуемые характеристики. Юстировку и контроль выполняют с помощью универсальных (коллиматоры, автоколлиматоры) или специальных (измерительные станции, стендовое оборудование) приборов и установок.

Модуль наблюдения предназначен для визуального обзора местности, выбора конкретного объекта и дальнейшего отслеживания его движения.

Модуль наблюдения включает два канала: визирный, состоящий из объектива, оборачивающей системы, сетки и окуляра, и тепловизионный, в состав которого входит ИК-объектив, микроболометрическая матрица, сетка и микродисплей.

Целю данной работы является устранения параллакса дальномерной и прицельной сеток модуля наблюдения.

В оптических системах узлов, содержащих объектив и сетку, возможен дефект в виде параллакса, который проявляется в поперечной, продольной и угловой мере [1].

Для измерения величины параллакса и его устранения используется оптическая скамья (рис. 1), которая включает коллиматор *2*, вертикальный штрих сетки которого предварительно выставлен по отвесу, испытуемый прибор *3* и диоптрийную трубку *7*. При этом наклоном зеркала (на рисунке не показано) добиваются параллельного расположения вертикального штриха прицельной сетки и изображения вертикального штриха сетки коллиматора. При устранении параллакса наблюдают в окуляр *9* диоптрийной трубки и продольным смещением ее объектива *6* добиваются резкого видения изображения сеток коллиматора *1*, прицельной (на рисунке не показана) и дальномерной сеток *4* в плоскости сетки *8* диоптрийной трубки.

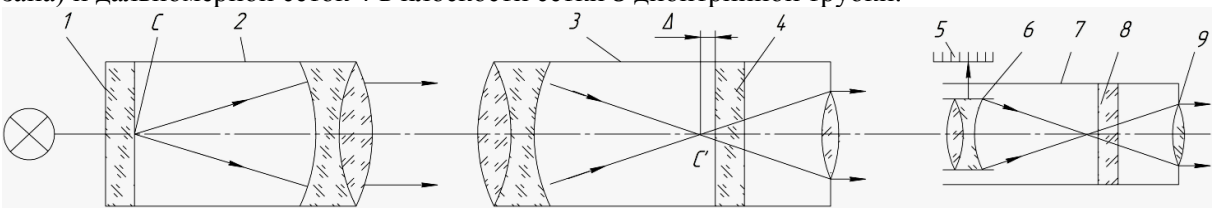


Рис. 1. Схема установки для измерения параллакса диоптрийной трубкой: *1* – сетка, *2* – коллиматор, *3* – юстируемый прибор, *4* – сетка, *5* – шкала, *6* – объектив, *7* – диоптрийная сетка, *8* – сетка, *9* – окуляр, Δ – продольный параллакс

Правильная ориентация горизонтальных штрихов сетки обеспечивается посредством продольного смещения зеркала и расположения горизонтального штриха прицельной сетки параллельно предварительно выставленной дальномерной сетке.

Юстировка тепловизионного канала прибора включает в себя устранение параллакса (между изображением цели в плоскости модуля дисплея и прицельной сетки) и срезания поля зрения.

Устранения параллакса добиваются путем продольного перемещения объектива до резкого видения дальномерной сетки и пикселей матрицы, при этом устранение разворота и срезания поля зрения по вертикали обеспечивается путем поворота матрицы модуля дисплея, а по горизонтали – поперечным перемещением призмы, с помощью которой осуществляется переключение между каналами.

Литература

1. Козерук, А. С. Технология оптического приборостроения: учебное пособие для студентов вузов / А. С. Козерук. – Минск: БНТУ, 2016. – 504 с.

УДК 621.384.4

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Магистрант Белохвостик Е. В.
Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Приборы ночного видения (ПНВ) – это устройства, позволяющие вести наблюдение в условиях низкой освещенности или полной темноты. Они широко применяются в военной, охранной, гражданской и научной сферах.

Актуальность темы обусловлена растущими требованиями к эффективности, компактности и многофункциональности ПНВ в условиях современных технологических вызовов.

Принцип работы ПНВ заключается в усиление слабого света (луны, звезд, искусственных источников) с помощью электронно-оптических преобразователей (ЭОП) и использовании инфракрасного (ИК) излучения для подсветки объектов в полной темноте для ПНВ активного типа.

Классификация ПНВ по поколению ЭОП:

1-е поколение: усиление света в 1000–2000 раз, зависимость от лунного света, низкое разрешение. Пример: советские ПНВ «НСПУ».

2-е поколение: использование микроканальных пластин (МКП) для усиления света до 20 000 раз. Пример: американские AN/PVS-5.

3-е поколение: применение фотокатодов на основе арсенида галлия (GaAs), усиление до 50 000 раз. Пример: AN/PVS-14.

4-е поколение: отказ от пленки, защищающей фотокатод, что повышает чувствительность и срок службы. Пример: ENVG-B (Enhanced Night Vision Goggle-Binocular).

Ограничения современных ПНВ:

– зависимость от внешних источников света;
– высокая стоимость производства;
– ограниченный спектральный диапазон (видимый и ближний ИК-диапазон);
– большой вес и энергопотребление.

Перспективные направления развития ПНВ:

– улучшение чувствительности и разрешения;
– новые материалы для фотокатодов;
– использование комбинации ЭОП, объектив, микродсплей, радиопередатчик;
– технологии высокого разрешения: внедрение сенсоров с разрешением 4K и выше. Пример: тепловизоры FLIR с разрешением 1280x1024 пикселей;
– мультиспектральные системы: комбинация видимого, ближнего и среднего ИК-диапазонов для улучшения качества изображения. Пример: система ENVG-B, используемая армией США;
– тепловизионные технологии: интеграция тепловизоров с ПНВ для обнаружения объектов по их тепловому излучению. Пример: TN/KS.

Цифровизация и интеграция с искусственным интеллектом (ИИ) – алгоритмы машинного обучения:

– автоматическое распознавание объектов, анализ движения и предупреждение об угрозах. Пример: система ATAK (Android Tactical Assault Kit);
– дополненная реальность (AR): наложение данных (карты, маршруты, цели) на изображение с ПНВ. Пример: Microsoft IVAS (Integrated Visual Augmentation System).

Таким образом, перспективы развития ПНВ связаны с внедрением новых материалов и технологий.

Улучшение функциональности и доступности ПНВ откроет новые горизонты как для военных, так и для гражданских пользователей.

Литература

1. Грузевич, Ю. К. Оптико-электронные приборы ночного видения / Ю. К. Грузевич – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 276 с.

УДК 681

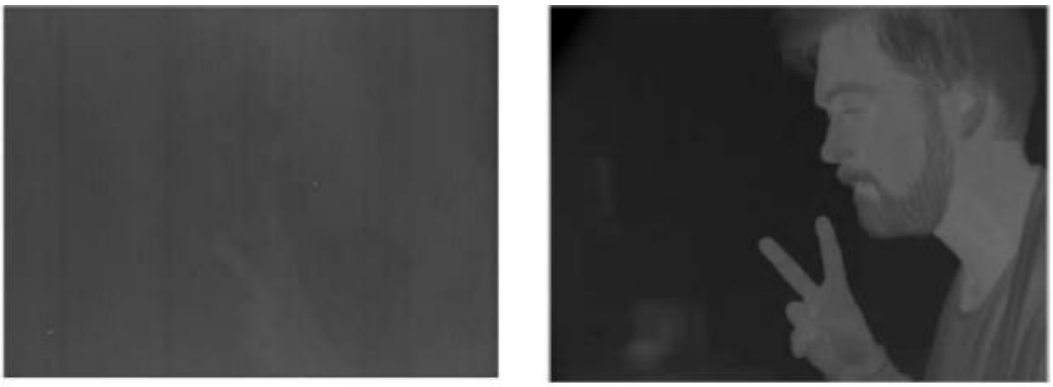
ТЕМПЕРАТУРНАЯ КАЛИБРОВКА ТЕПЛОВИЗИОННОГО МОНОКУЛЯРА

Магистрант Бурдо М. В.
Д-р техн. наук., профессор Артюхина Н. К.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Температурная калибровка является важным этапом в процессе настройки и эксплуатации тепловизионного монокуляров. Этот процесс направлен на обеспечение точности измерений температуры, получаемых с помощью тепловизионных устройств, что, в свою очередь, влияет на качество изображений и надежность данных, получаемых в различных условиях эксплуатации.

Тепловизионные монокуляры работают на основе регистрации инфракрасного излучения, излучаемого объектами в зависимости от их температуры. В силу различных факторов, таких как изменения окружающей среды, материал объекта и угол обзора, точность измерений может варьироваться, поэтому необходима регулярная калибровка устройств для обеспечения их корректной работы.

Перед началом калибровки необходимо убедиться, что монокуляр находится в рабочем состоянии. Устройство должно быть очищено от загрязнений, а также должно быть проверено на наличие механических повреждений. Для калибровки используются эталонные источники тепла, таких как черные тела с известной температурой. Далее производится сравнение показаний тепловизора с известными значениями температуры эталонного источника. Необходимо зафиксировать данные, полученные при различных температурах. На основании полученных данных производится математическая коррекция, учитывающая погрешности и отклонения, выявленные в процессе сравнения. Это может включать в себя настройку программного обеспечения устройства. После внесения корректировок монокуляр тестируется в различных условиях для проверки точности и стабильности получаемых изображений (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Изображения, получаемые до применения калибровки (*а*) и после (*б*)

Тепловизионные монокуляры, прошедшие правильную температурную калибровку, обеспечивают более точные и надежные результаты.

УДК 681

ПРИМЕНЕНИЕ КОНФОКАЛЬНОЙ РАМАНОВСКОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА МИКРОПЛАСТИКОВ

Магистрант Гордейко Р. В.[1,2]
Д-р физ.-мат. наук, профессор Маляревич А. М.[1], кандидат физ.-мат. наук Шашков С. Н.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]ООО «СОЛ инструментс», Минск, Беларусь

Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния света) является широко распространенным экспресс-методом для анализа большого круга образцов. Данный метод

основан на изучении колебательных спектров молекул, набор характеристических полос в которых позволяет идентифицировать химические компоненты в исследуемых пробах.

Спектроскопия комбинационного рассеяния имеет значительные преимущества по сравнению с другими аналитическими методами. Важнейшими из них являются простота пробоподготовки и большой объем получаемой информации. Сопряжение рамановского спектрометра и оптического микроскопа (реализация метода конфокальной рамановской микроскопии) открывает новые возможности для исследования образцов с микроскопическими размерами.

Усовершенствованный таким образом рамановский спектрометр – конфокальный рамановский микроскоп Confotec NR500 (SOL Instruments) – использовался нами в данной работе для анализа микропластиков. Оптическая схема прибора приведена на рис. 1. Пространственное разрешение микроскопа ~250 нм, спектральное разрешение – <1 $см^{-1}$, спектральный диапазон регистрации рамановского спектра – 30 $см^{-1}$ ~5000 $см^{-1}$ [1].

Микропластики представляют собой очень маленькие кусочки пластика и являются вездесущими глобальными загрязнителями морских, пресноводных и наземных экосистем по всему миру. Пластиковый мусор может быть различных форм и размеров (от 1 до 1000 мкм). В общей сложности, по различным оценкам, в ЕС ежегодно в окружающую среду выбрасывается от 75 000 до 300 000 тонн микропластика. В этой связи идентификация данных загрязнителей окружающей среды является весьма актуальной задачей.

Решение данной прикладной задачи с помощью конфокального рамановского микроскопа Confotec NR500 иллюстрируется рис. 2. Идентификация различных пластиков проводилась с использованием базы рамановских спектров полимеров, создаваемой в SOL Instruments.

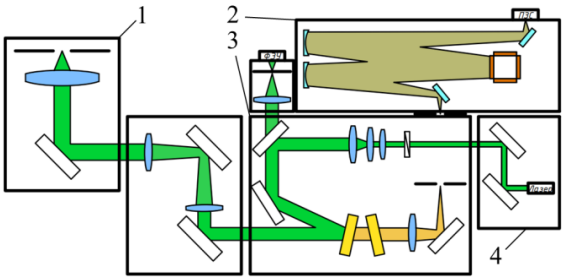


Рис. 1. Оптическая схема системы Confotec NR500: *1* – оптический микроскоп, *2* – спектрограф с охлаждаемым спектральным детектором, *3* – оптико-механический блок, включающий рамановские фильтры, узел регулировки мощности лазера на образце и оптику для фокусировки рассеянного образцом света на входную щель спектрографа, *4* – узел ввода излучения лазера в систему

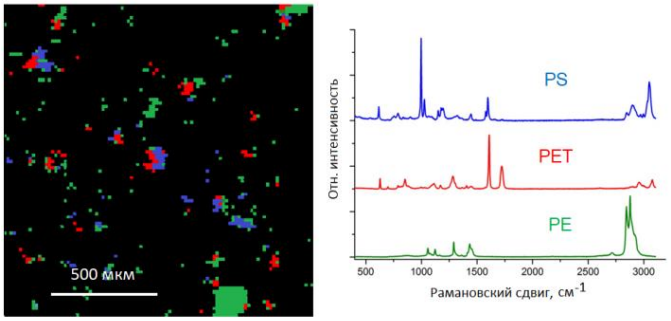


Рис. 2. Рамановское изображение и соответствующие рамановские спектры различных микропластиков, высаженных на предметное стекло микроскопа

Приведенные результаты позволяют сделать заключение, что микроскопия комбинационного рассеяния является удобным методом для исследования микропластиков. Можно не только определять их химический состав, размер частиц, их форму, но и делать выводы о количественном содержании того или иного микропластика в исследуемой пробе.

Литература

1. Сайт компании «SOL Instruments» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.solinstruments.com. – Дата доступа: 31.01.2025.

УДК 004.932

АЛГОРИТМЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Студент гр. 121111 Денисов М. О.
Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.
Тульский государственный университет, Тула, Россия

Современные оптические системы, используемые для получения изображений, задают фундаментальные ограничения и возможности дальнейшей цифровой обработки. Характеристики оптики, такие как разрешающая способность, аберрации, светосила и уровень шума, существенно влияют на качество формируемых изображений. Передача света через объективы и фильтры сопровождается неизбежными искажениями, что требует применения специальных методов коррекции и оптимизации для восстановления достоверной информации. Таким образом, первичным этапом любой системы обработки изображений является адаптация оптического сигнала к цифровому виду с сохранением критически важных особенностей.

Преобразование оптической информации в цифровой формат создает базу для выделения и сопоставления ключевых признаков, необходимых для качественного анализа изображений. Современные алгоритмы обработки данных активно используют методы извлечения локальных особенностей, что позволяет компенсировать оптические искажения и адаптироваться к изменениям условий съемки. В данной работе рассмотрены как классические алгоритмы сопоставления изображений (например, SIFT и SURF), так и современные подходы, использующие бинарные дескрипторы (AKAZE, BRIEF, BRISK, FREAK, ORB). Особое внимание уделяется тому, как оптические свойства, такие как разрешающая способность сенсора и уровень шума, влияют на эффективность алгоритмов обработки и извлечения ключевых точек.

В исследовании проводился сравнительный анализ вычислительной точности, где оценивалась погрешность определения координат, полученных при обработке изображений, отражающих одну и ту же территориальную область, но полученных из различных источников.

Анализ экспериментальных данных выявил существенные различия в поведении алгоритмов при изменении параметров изображений. Классические методы (SIFT, SURF) продемонстрировали относительно высокую точность за счет надежного выделения ключевых точек, однако их вычислительная сложность остается значительной [1].

Алгоритмы, основанные на бинарных дескрипторах, обеспечивают более быстрый расчет, но могут уступать по устойчивости при сильных изменениях условий съемки. Особо отметим, что применение нелинейных схем диффузии, как в алгоритме AKAZE, позволяет сохранить структурную информацию изображения при сравнительно низких затратах времени. Комплексное сравнение показало, что баланс между точностью позиционирования и вычислительной эффективностью достигается при оптимизации параметров системы, что открывает перспективы для дальнейшего исследования комбинированных подходов [2].

Таким образом, интеграция оптических принципов коррекции и современных алгоритмов обработки изображений позволяет существенно повысить качество извлечения ключевых особенностей. Дальнейшие исследования, направленные на разработку гибридных методов, будут способствовать созданию систем, способных учитывать физические ограничения оптических устройств и адаптироваться к динамическим условиям съемки, обеспечивая оптимальное соотношение точности анализа и вычислительных затрат.

Литература

1. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. / Rublee E. [et al.] // International Conference on Computer Vision. – 2011. – P. 2564–2571.

2. Краснобаев Е. А. Сравнение бинарных дескрипторов особых точек изображений в условиях искажений / Е. А. Краснобаев // Компьютерная оптика. – 2019. – №3. – С. 434–445.

УДК 681.786.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Магистрант Довжик В. Г.
Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Оптико-электронная аппаратура играет ключевую роль в современных системах наблюдения, разведки и управления. С развитием технологий и увеличением требований к качеству и скорости обработки информации, модернизация существующих оптико-электронных систем становится актуальной задачей для обеспечения конкурентоспособности продукции на рынке.

Модернизация направлена на улучшение качества изображения, повышение разрешающей способности оптических систем и их светопропускания, создание многофункциональной аппаратуры, работающей в различных спектральных диапазонах, миниатюризацию носимых приборов для уменьшения их масса-габаритных характеристик, обеспечение вывода информации на экран, с помощью специального программного обеспечения, возможность передачи изображения, расширение рабочего диапазона температур (–600 ^{o}C – +650 ^{o}C).

Для достижения поставленных целей в оптико-электронных системах используют:

– объективы с переменным фокусным расстоянием;

– легкие и компактные объективы;

– многослойные покрытия (для увеличения светопропускания);

– адаптивную оптику (технология, позволяющая корректировать искажения изображения в реальном времени за счет автоматического изменения формы оптических элементов в зависимости от искажения сигнала) [1];

– современную элементную базу (миниатюрные дисплеи, приемники, источники);

– двух- и многодиапазонные приемники;

– новые материалы.

Перспективными направлениями модернизации оптико-электронной аппаратуры является так же внедрение искусственного интеллекта (ИИ) с постоянным обучением, изучения различного поведения в иных ситуациях. ИИ позволяет значительно улучшить качество обработки изображений, получаемых с помощью оптико-электронных систем. Алгоритмы машинного обучения могут автоматически выявлять и устранять шумы, улучшать контрастность и четкость изображений, а также выполнять сложные операции, такие как сегментация и распознавание объектов. Это особенно полезно в условиях низкой освещенности или при наличии помех.

Системы, интегрированные с ИИ, способны автоматически анализировать большие объемы данных, получаемых от оптико-электронных устройств. Это позволяет быстро выявлять важные события и паттерны, что значительно ускоряет процесс принятия решений в критических ситуациях, таких как мониторинг безопасности.

ИИ может использоваться для предсказательной аналитики, что позволяет заранее оценивать возможные угрозы или изменения в окружающей среде. Например, системы могут анализировать данные о движении объектов и предсказывать их поведение, что помогает в планировании операций и повышает безопасность.

Внедрение ИИ в оптико-электронную аппаратуру открывает новые возможности для повышения ее эффективности и функциональности. Улучшение обработки изображений, автоматизация анализа данных, предсказательная аналитика и интеллектуальные системы управления – все это делает системы наблюдения и разведки более мощными и надежными. Инвестиции в развитие ИИ-технологий в этой области будут способствовать созданию более совершенных оптико-электронных систем, что, в свою очередь, расширит их применение в различных сферах, включая безопасность, медицину и научные исследования.

Литература

1. Ермолаева, Е. В. Адаптивная оптика / Е. В. Ермолаева, В. А. Зверев, А. А. Филатова. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 297 с.

УДК 681

ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР

Студент гр. 121111 Егоров А. С.
Профессор, д-р техн. наук Матвеев В. В.
Тульский государственный университет, Тула, Россия

Измерение расстояний является важной задачей во множестве областей, от геодезии до промышленности. Лазерные дальномеры являются одним из наиболее точных и удобных средств измерения расстояний.

Принцип работы лазерных дальномеров.

Лазерные дальномеры работают на основе использования лазерного излучения для измерения расстояний. Они состоят из нескольких компонентов, включая лазерный источник, оптическую систему и детектор. Принцип работы основан на использовании триангуляции или временного измерения. Схема работы лазера представлена на рис. 1.

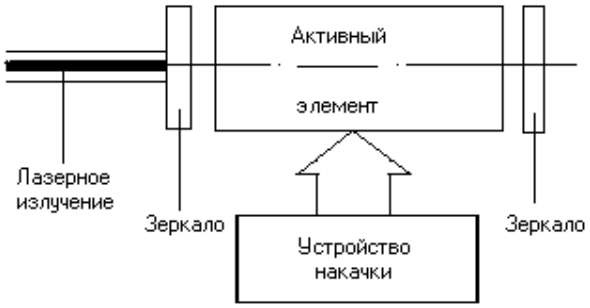


Рис. 1. Схема работы лазера

Типы лазерных дальномеров.

Существует несколько типов лазерных дальномеров в зависимости от их функциональности. Одномерные лазерные дальномеры используются для измерения только одного измерения, например, расстояния до объекта. Двумерные и трехмерные лазерные дальномеры обеспечивают измерение двух или трех измерений соответственно. Также лазерные дальномеры могут быть стационарными или портативными, в зависимости от их предназначения.

Литература

1. Добросельский, В. В. Лазерные дальномеры / Минск: Издательство БГУИР, 2018. – 138 с.
2. Белов, И. Ю. Физические основы оптической дальнометрии / Казань: Издательство Казанский Государственный Университет, 2009. – 72 с.
3. Раков, А. А. Корреляционная лазерная дальнометрия с псевдослучайной импульсно-кодовой модуляцией / А. А. Раков, Н. П. Хатырев, И. Ю. Блинов // Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2020. – 170 с.

УДК 621.3.038.825.2

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ МАКЕТИРОВАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА С ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Учащиеся УО «Национальный детский технопарк» Затягин В. Д., Лапоухов Е. А.
Кандидат физ.-мат. наук Горбаченя К. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время актуальным вопросом является разработка твердотельных лазеров с диодной накачкой. Значительная активизация исследований твердотельных лазеров в последние годы во многом обусловлена появлением и широким использованием полупроводниковых лазерных диодов. Лазерные диоды характеризуются высоким КПД, малыми размерами и низкой стоимостью при массовом производстве. Их использование в качестве источников накачки позволяет создавать компактные, стабильные и высокоэффективные, полностью твердотельные источники лазерного излучения [1].

Целью данной исследовательсой работы являлась разработка лабораторного стенда для макетирования твердотельного лазера с продольной диодной накачкой. В ходе выполнения работы проведен литературный обзор по тематике проекта, изучены схемы построения твердотельных лазеров с диодной накачкой, работающих в различных режимах генерации. Разработаны техническое задание на изготовление и принципиальная схема лабораторного стенда для макетирования твердотельного лазера с продольной диодной накачкой. Выполнен подбор компонентной базы для макетирования, сборка и юстировка лабораторного стенда.

Внешний вид разработанного стенда для макетирования твердотельного лазера с продольной диодной накачкойприведен на рис. 1. В качестве источника накачки использовался лазерный диод мощностью 15 Вт с волоконным выводом излучения. Диаметр волокна был равен 105 мкм, числовая апертура – 0,15. Диод излучал на длине волны 976 нм со спектральной шириной полосы 6 нм. Оптическая система фокусировала излучение накачки в активный элемент с размером перетяжки 120 мкм. Активный элемент, но основе кристалла Er,Yb:YAB толщиной 1,5 мм имел антиотражающие покрытия на длинах волн накачки и генерации. Охлаждение лазерного диода и активного элемента осуществлялось с помощью элементов Пельтье.

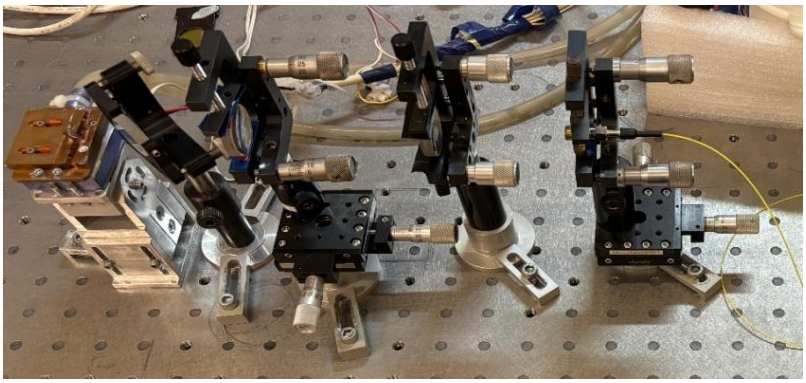


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда для макетирования твердотельного лазера с продольной диодной накачкой

В непрерывном режиме генерации было получено лазерное излучение с максимальной выходной мощностью до 1 Вт на длине волны 1522 нм и эффективностью до 30 %. В режиме пассивной модуляции добротснотипри использовании насыщающегося поглотителя на основе кристалла $Co:MgAl_2O_4$ получены лазерные импульсы с энергий до 5 мкДж и частотой следования 60 кГц. Длительность лазерных импульсов не превышала 10 нс. Профиль распределения интенсивности в поперечном сечении лазерного пучка хорошо аппроксимировался функцией Гаусса, рассчитанное значение параметра распространения лазерного пучка M_2 не превышало 1,2.

Литература

1. Nasim, H. Diode lasers: from laboratory to industry / H. Nasim, Y. Jamil // Optics & Laser Technology. – 2014. – Vol. 56. – P. 211–222.

УДК 621.384.3

КОНТРОЛЬ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ В УСЛОВИЯХ БЛИЗКИХ К РЕАЛЬНЫМ

Магистрант гр. 61315024 Кирикович В. А.
Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В работе представлена концепция новой измерительной установки для экспериментальной проверки тепловизоров, а именно, измерения рабочих параметров (таких как MRTD, MTF, NETD) тепловизоров, работающих в условиях точной имитации реальных условий работы. Высокая точность моделирования была достигнута за счет возможности регулирования двух важнейших параметров: температуры окружающей среды в тепловизоре и фоновой температуры объекта, представляющего интерес для наблюдения.

Тепловизоры обычно тестируются в лабораторных условиях, когда температура окружающей среды и фоновая температура объекта наблюдения составляют около 20 °C, в то время как в реальной жизни эти две температуры могут варьироваться в диапазоне от –40 °C до +70 °C. Эта большая разница между условиями лабораторных испытаний и реальными условиями работы прибора делает невозможным точную оценку эффективности тепловизоров, работающих в экстремальных условиях.

Чтобы частично решить эту проблему, производители тепловизоров часто проводят климатические испытания этих тепловизоров. Однако результаты таких испытаний не дают информации о реальных характеристиках тестируемого тепловизора.

Концепция новой системы для тестирования тепловизоров в различных условиях работы основана на трех идеях:

1. Использование двух температурных камер: одной для тестируемого тепловизора, второй для проектора изображения.
2. Обе камеры должны иметь общую стенку с прозрачным окном.
3. Проектор изображения должен быть атермализован.

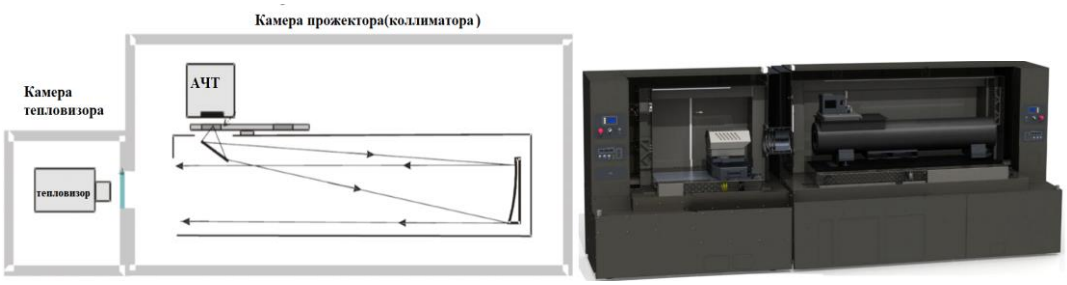


Рис. 1. Система тестирования тепловизоров

Новая двухкамерная тестовая система состоит из трех основных блоков (рис. 1):

1. Тепловизионный проектор (представляет собой зеркальный коллиматор с установленным в нем абсолютно черным телом – АЧТ).
2. Камера тепловизора.
3. Камера проектора.

Использование новой тестовой системы в процессе оценки тепловизионных приборов позволяет оценивать тепловизионные средства в моделируемых реальных условиях работы.

Литература

1. Chrzanowski, K. Review of thermal imaging technology / K. Chrzanowski. – Koczargi Nowe; Poland, 2024.
2. Chrzanowski K. Testing surveillance thermal imagers under simulated real work conditions // Opto-Electronics Review. – 2023. – Vol. 31. – №. 1.
3. Thermal imaging / R. Paschotta // RP Photonics AG. – https://www.rp-photonics.com/thermal_imaging.html (2024).

УДК 681

КОНСТРУКЦИЯ ПОДВИЖКИ ДВУХ ЛИНЗОВОГО ОБЪЕКТИВА, СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ С ПОМОЩЬЮ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ

Магистрант Книга И. В.[1,2]
Д-р физ.-мат. наук, профессор Маляревич А. М.[1]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]ОАО «Пеленг», Минск, Беларусь

Одной из проблем при теле или видео съемке с подвижных установок является тряска аппаратуры. В результате изображение может получаться нечетким или же вовсе не удается зафиксировать объектив на объекте. Для минимизации этой проблемы было принято решение разработать 2-х линзовый объектив со стабилизацией его положения за счет использования пьезоэлементов.

Применение 4-х пъезоэлементов и электронного способа управления обработкой информации (с помощью специализированной платы) обеспечивают фиксирование изображения на фотоприемнике. Это позволяет стабилизировать положение изображения при съемке в движении, а также помогает выделить узкое поле зрения объектива электронным способом. Принципиальная схема работы электронной части устройства для выделения узкого поля зрения представлена на рис. 1.

Для наблюдения за объектом в широком и среднем полях зрения применяется подвижка объектива вдоль центральной оси, а узкое поле зрения обеспечивается благодаря микросканирующему устройству 2×2 (с учетом передачи наблюдаемого фрагмента разным участкам (пикселям) фотоприемника в масштабе 1:1). При изменении полей зрения от среднего до широкого, а также от узкого поля зрения до среднего смещение линии визирования относительно первоначального положения обеспечивается на величину не более ±5 пикселей.

На рис. 2 представлена визуализация конструкции двухлинзового объектива для приборов наблюдения, которая позволяет решение проблемы нестабильности или размытости изображения.

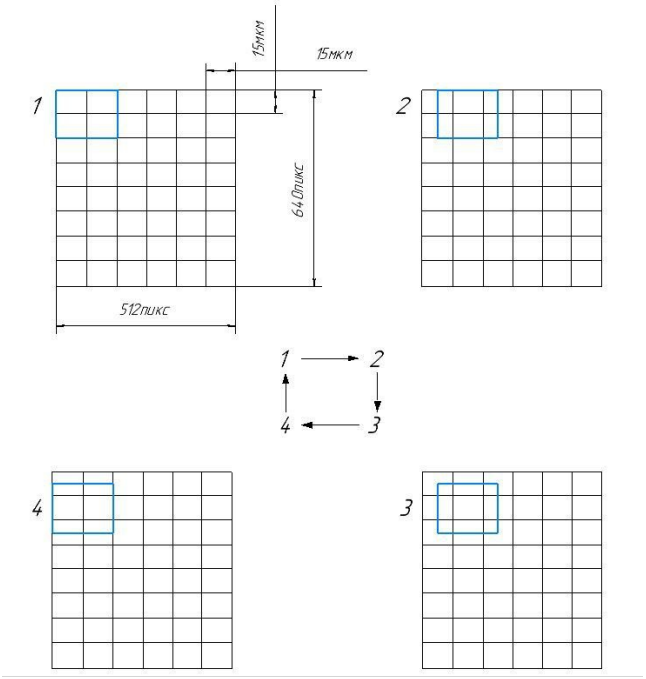


Рис. 1. Принципиальная схема выделения узкого поля зрения с использованием электронной системы управления объективом

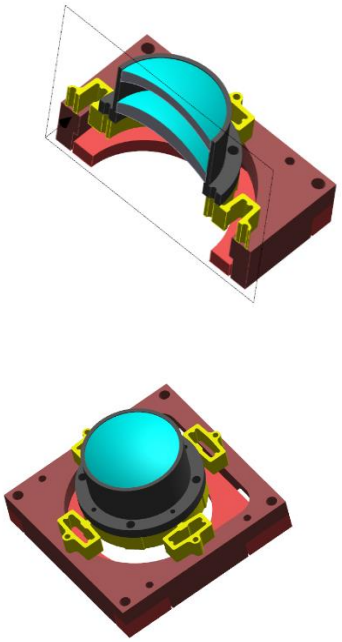


Рис. 2. Конструкция двух линзового объектива

УДК 67.05:681.7.069.24

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Учащаяся 11 класса Колоницкая В. Ю.[1], кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.[1,2], научный сотрудник НИИЛ плазменных и лазерных технологий Лапковский А. С.[2]
[1]УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Обработка различных материалов, особенно высокопрочных сталей, титана и композитов, часто приводит к быстрому износу режущего инструмента. При работе с твердыми материалами инструмент испытывает большие нагрузки, что может вызвать его поломку, сколы или деформацию. Для повышения прочностных характеристик инструмента осуществляют его упрочнение различными методами: закалка, отжиг и модификация структуры. Так, например, исследования показывают, что применение импульсной лазерной обработки (ИЛО) является эффективным для упрочнения твердосплавного инструмента, а воздействие непрерывного лазерного излучения

увеличивает стойкость инструмента в 2–3 раза [1]. Более прочный и износостойкий инструмент позволяет осуществлять обработку материала с большей скоростью и глубиной реза, что, в свою очередь, способствует увеличению производительности. Активные разработки в области лазерного упрочнения ведутся в отраслевой научно-исследовательская лаборатории (ОНИЛ) плазменных и лазерных технологий БНТУ, ФТИ Национальной академии наук Беларуси, а также Самарском филиале Российской академии наук Физического института им. П. Н. Лебедева, Донском государственном техническом университете, ООО «РУЛА» Санкт-Петербург и др. Анализ технологического оборудования выпускаемого зарубежными компаниями показал, что при лазерном упрочнении криволинейных рабочих поверхностей, например цилиндрических поверхностей сверл и фрез, а также другого комбинированного или фасонного инструмента необходимо обеспечить его поворот вокруг оси с малым шагом. Одним из путей решения для удержания заготовки или источника излучения является применение роботов манипуляторов с несколькими степенями свободы: модель AL-ROCK Mobil от компании ALPHA LASER (Германия) или модель LSP серия T-D от предприятия ООО «Специальные Системы. Фотоника» (РФ). Предложена технологическая установка для лазерного упрочнения на базе иттербиевого волоконного лазера IPG Photonics (модель YLR-1000-K) работающего в диапазоне длин волн λ 1030–1080 нм, с одномодовым волоконным оптическим кабелем (длина 20 м, апертура 50 мкм) подключенное через QBH-конектор к коллиматору модели P30-001342 (F' = 85 мм, D = 25 мм) с водяным охлаждением, оснащенный защитной блокировкой, обеспечивает низкий уровень оптических потерь и деградации пучка. Для развертки луча в плоскость используется 2-х координатная гальваническая система GVS012 (ThorLabs). Фокусировка излучения на рабочей поверхности осуществляется через однолинзовый объектив D = 20 мм, F' = 600 мм, CT4,5 мм (HYPOWER). Оптический блок устанавливается на руку робота манипулятора Yaskawa Motoman MH50 (рис. 1).

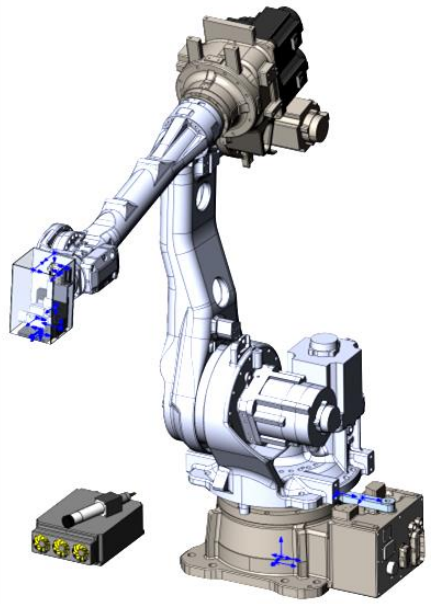


Рис.1. 3D-модель технологической установки

При разработке технологического оборудования важной задачей является выбор оптимальных режимов лазерного воздействия: прежде всего выходной мощности, частоты и длительности следования импульсов, диаметра выходного пучка в плоскости фокусировки, шага и скорости линейной или плоскостной развертки и ряда других технологических параметров.

Литература

1. Кардаполова, М. А. Лазерное упрочнение инструментальных твердых сплавов / М. А. Кардаполова, А. С. Лапковский, О. Н. Кавальчук // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы междунар. науч.-практ. конф.; Минск, 11 апреля 2012 г. / Минск: Бизнесофсет, 2012. – С. 102–103.

УДК 621.383:004.932.72'1

МЕТОДИКА ИСПРАВЛЕНИЯ НЕДОПУСТИМЫХ ПРОЗРАЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ТОПОЛОГИИ ФОТОШАБЛОНОВ

Студент гр. 11311222 Круковский В. А.[1,2], инж.-констр. 1 кат. Воронцов А. И.[1], гл. специалист – нач. лаборатории Юдицкий В. А.[1], кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.[2]
[1]ОАО «Планар», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Существуют различные виды прозрачных дефектов фотошаблонов такие как: дефекты формы (прокол, краевой вырыв, угловой вырыв, прозрачный мостик), дефекты размера (удлинение, усечение, увеличенный или уменьшенный размер прозрачной топологии), дефект пропускания, дефект смещения, отсутствие непрозрачной топологии.

На данный момент возникают следующие сложности при исправлении прозрачных дефектов:

Подбор материала осаждения, подходящего к виду подложки и его универсализация для всех видов подложек.

«Дорисовка» топологии с высокой точностью (менее 50 нм) между близко расположенными элементами.

В настоящее время известно два метода коррекции прозрачных дефектов: травление и лазерная коррекция. Самым простым и эффективным методом ретуши непрозрачных дефектов фотошаблона является лазерный метод. Его суть заключается в наведении лазерного пучка на обрабатываемый дефект и его удаление методом лазерной абляции. Локальные дефекты, если они достаточно большие и находятся на значительном расстоянии от элементов схемы шаблона, можно удалить вручную, используя травитель (преимущественно предназначен для проекционных фотошаблонов на основе хрома).

Для устранения прозрачных дефектов наиболее часто используется метод локального лазерного переноса вещества, т. е. его осаждение. КБТЭМ Планар предложен метод исправления прозрачных дефектов, основанный на осаждении гексакарбонила хрома, имеющего хорошую адгезию к подложке фотошаблона на металлической основе, и последующей «подрезки» края испарением (рис. 1). Лазерный метод позволяет исправлять прозрачные дефекты (рис. 2) такие как: прокол (*а*), краевой вырыв (*б*), угловой вырыв (*в*), прозрачный мостик (*г*). Дефекты пропускания (*д*) и отсутствия топологии (*е*) считаются условно неисправимыми и требуют дальнейшего исследования и усовершенствования метода.

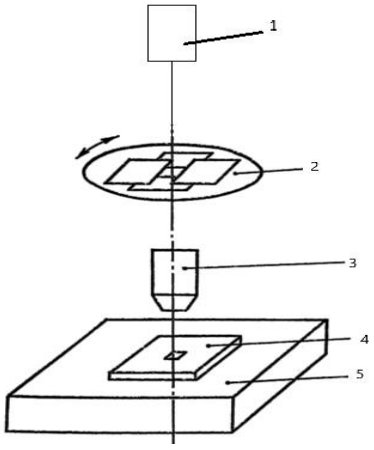
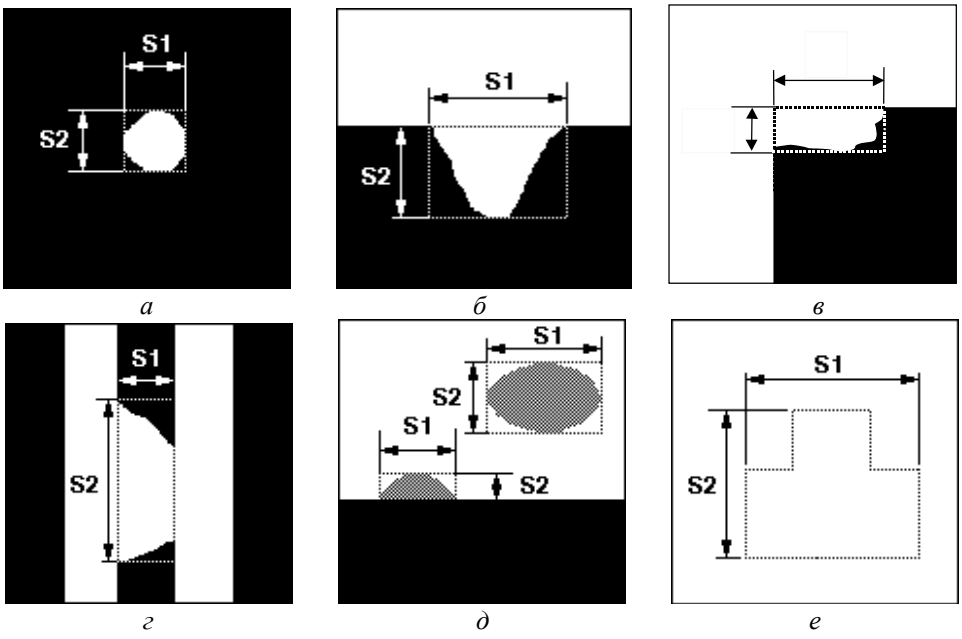


Рис. 1. Схема установки лазерной коррекции фотошаблона: *1* – лазер осаждения (испарения), *2* – фотонаборный элемент, *3* – объектив, *4* – фотошаблон, *5* – координатный стол



а *б* *в*

г *д* *е*

Рис. 2. Некоторые виды прозрачных дефектов фотошаблонов

УДК 621.3.038.825.2

ВОЛОКОННЫЙ ИСТОЧНИК СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ

Аспирант Лазарчук А. И., студент гр. 11311222 Шишко Т. А.
Д-р физ.-мат. наук, профессор Кисель В. Э.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

За последние десять лет волоконные лазеры и усилители претерпели значительные изменения и начали вытеснять традиционные объемные твердотельные лазеры в различных областях. Это связано с их компактностью, лучшим качеством луча, высокой надежностью и эффективностью. Импульсные волоконные лазеры находят широкое применение в таких сферах, как спектроскопия, нелинейное преобразование частоты, лазерная маркировка, гравировка и микрообработка, благодаря своей высокой пиковой мощности и энергии импульса. В данной работе представлен полностью волоконный источник импульсного лазерного излучения с длиной волны около 1030 нм.

Волоконный источник импульсного лазерного излучения состоял из волоконного лазера, работающего в режиме синхронизации мод, волоконного стрэтчера, двух ступеней усиления мощности на основе активных волокон с накачкой в сердцевину волокна (предусилитель) и с накачкой в оболочку волокна (усилитель), последняя ступень лазерной системы – это компрессор на пропускающей дифракционной решетке. Схема всей системы представлена на рис. 1. Затравочный лазер состоит из диэлектрического зеркала, пары пропускающих дифракционных решеток, асферической собирающей линзы. А также спектрального уплотнителя 1×2 (WDM), активного волокна (SM-YDF-5/130-VIII) 15 см, пассивного волокна длиной которого достигалась полученная частота следования импульсов, и разветвителя 2×2 делящего проходящее излучение в отношении 70:30 запирая в резонаторе 70 % излучения. И двух собирающих линз, обеспечивающих необходимую плотность энергии на насыщающемся поглотителе SESAM. Предусилитель включает в себя спектральный уплотнитель 1×2 (WDM), 2,1 м активного волокна (SM-YSF-LO-HP) и 20 см (SM-YDF-5/130-VIII), для накачки используется лазерный диод аналогичный диоду в затравочном лазере. Перед усилителем установлен стрэтчер из волокна (G.657) длинной 200м. В усилителе используется 3,2 м активного волокна с двойной оболочкой (Yb1200-10/125DC), накачиваемое многомодовым лазерным диодом через объединитель накачки (2+1)×1. Между предусилителем и усилителем установлены изоляторы для блокировки обратного излучения рассчитанные на мощность 500 мВт и 5 Вт соответственно.

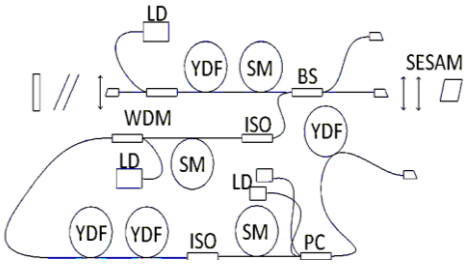


Рис. 1. Схема лазерной системы

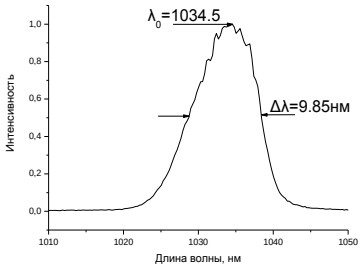


Рис. 2. Спектр излучения после усилителя

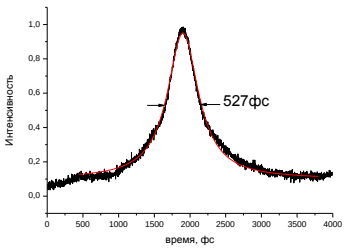


Рис. 3. Автокорреляция сжатого импульса

Выходная мощность затравочного лазера достигает 4,6 мВт при этом мощность накачки 80 мВт. Частота следования импульсов 65 МГц. Спектр излучения и показан на рис. 2. Предусилитель увеличивает выходную мощность до 120 мВт, спектр излучения показан на рисунке 2. Мощность накачки составляла 460 мВт. Затем выход предусилителя был подключен в усилитель для дальнейшего усиления мощности. Выходная мощность 10,9 Вт была получена при мощности накачки 15,7 Вт. Спектр излучения показан на рис. 2. Энергия импульса в таком случае составляет 167 нДж. Автокоррелляция сжатого импульса показана на рис. 3. Она составляет 263,5 фс.

УДК 621.373.826

ТЕРМИЧЕСКАЯ ЛИНЗА В КРИСТАЛЛЕ Yb:GYSO

Аспирант Лазарчук А. И.,
Д-р .физ.-мат. наук, профессор Юмашев К. В., д-р физ.-мат. наук, профессор Кисель В. Э.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

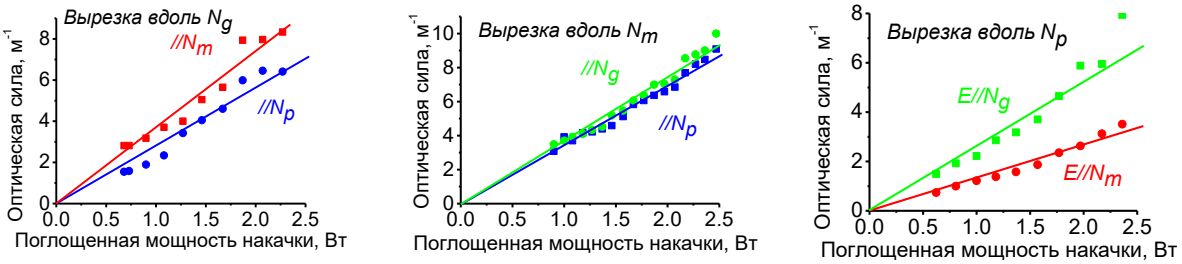
Лазерные кристаллы, легированные Yb, признаны подходящими материалами для компактных эффективных лазеров с диодной накачкой, работающих в различных режимах. Это связано с существенным снижением тепловых эффектов из-за низкого квантового дефекта (по сравнению с материалами, легированными Nd); высокой доступностью мощных лазерных диодов InGaAs; простой схемой энергетических уровней, которая исключает паразитную апконверсию, поглощение из возбужденного состояния и процессы кросс-релаксации. Известно, что термическая линза является наиболее важным ограничением для возможностей масштабирования мощности твердотельных лазеров с диодной накачкой. В работе исследуется параметры термической линзы кристаллов Yb^{3+}(5 ат. %):$Gd1.615Y0.385SiO_5$ (Yb:GYSO) при диодной накачке.

Параметры термической линзы определялись по изменению пространственного профиля выходного лазерного пучка при различных поглощенных мощностях накачки с использованием метода ABCD и с учетом эллиптических гауссовых пучков. Измерения проводились при нескольких уровнях накачки с целью определения так называемого фактора чувствительности тепловой линзы, $M = dD/dP\text{abs}$ (где D – оптическая сила линзы, Pabs – поглощенная мощность накачки). Для анализа астигматизма S диаметр пучка контролировался в двух направлениях: параллельном и перпендикулярном выходной поляризации лазера. Для определения параметров термической линзы использовался двухзеркальный плоский лазерный резонатор. Для накачки кристалла использовался лазерный диод с длиной волны излучения 976 нм. Диаметр пятна излучения накачки в кристалле составлял около 200 мкм. Для экспериментов использовались кристаллы, вырезанные вдоль трех главных осей оптической индикатрисы *Np*, *Nm* и *Ng*.

Измеренные значения оптической силы термической линзы D для кристаллов трех вырезок показаны на рис. 1, *а–в*. Минимальный M-фактор получен для кристалла Yb:GYSO вырезанного вдоль оси *Np* со значениями 2,6 и 1,3 для направлений параллельных осям *Ng* и *Nm*, соответственно. Для кристалла Yb:GYSO вырезанного вдоль оси Nm наблюдался минимальный астигматизм $S = |MNg - MNp| - 0{,}2$. Тепловая линза в кристаллах Yb:GYSO является положительной для всех вырезок активных элементов, использовавшихся в работе. Подробные результаты лазерных экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты чувствительности *M* и степень астигматизма *S* для кристалла Yb:GYSO

Вырезка кристалла	Поляризация выходного излучения	*M*-фактор, $м^{-1}Вт^{-1}$	Астигматизм *S*, $м^{-1}Вт^{-1}$
Вырезка вдоль *Ng*	*E//Np*	3,7 (*//Nm*)	0,9
		2,8 (*//Np*)	
Вырезка вдоль *Nm*	*E//Ng*	3,7 (*//Ng*)	0,2
		3,5 (*//Np*)	
Вырезка вдоль *Np*	*E//Ng*	2,6 (*//Nm*)	1,3
		1,3 (*//Ng*)	



а *б* *в*

Рис. 1. Оптическая сила термической линзы в кристалле Yb:GYSO в зависимости от поглощенной мощности накачки

УДК 621.373.826

ФЕМТОСЕКУНДНЫЙ Yb:GYSO ЛАЗЕР С НАКАЧКОЙ ОДНОМОДОВЫМ ЛАЗЕРНЫМ ДИОДОМ

Аспирант Лазарчук А. И.
Д-р. физ.-мат. наук, профессор Кисель В. Э.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Широкие полосы усиления иттербий содержащих кристаллов, а также наличие мощных лазерных диодов InGaAs стимулировало исследования кристаллов, легированных ионами Yb^{3+}, для создания фемтосекундых лазеров, работающих в спектральном диапазоне около 1 мкм. Основным преимуществом кристаллов, легированных ионами Yb^{3+} являются простая двухуровневая схема энергетических уровней, исключающая потери на поглощение из возбужденного состояния, ап-конверсию и кросс-релаксацию.

Исследуемый в данной работе кристалл Yb^{3+}(5ат.%):Gd1.615Y0.385SiO5 (Yb:GYSO) обладает широким диапазоном (>100 нм) непрерывной перестройки и широкими спектрами усиления, что делает данный кристалл перспективным для создания фемтосекундных лазеров с длительность световых импульсов менее 100 фс. В работе проведено исследование выходных характеристик фемтосекундого лазера на основе нового кристалла Yb:GYSO.

Для получения режима пассивной синхронизации мод был собран четырехзеркальный резонатор. В качестве элемента, обеспечивающего режим пассивной синхронизации мод, применялось полупроводниковое зеркало с насыщением поглощения (SESAM). Материальная дисперсия групповой скорости и фазовая самомодуляция компенсировались с помощью пары призм (SF10), расположенных на расстоянии 355 мм друг от друга. В лазерных экспериментах использовался кристалл Yb:GYSO, толщиной 2 мм с апертурой 8 мм × 1,2 мм с просветляющим покрытием на длинах волн накачки и генерации, вырезанный вдоль оси оптической индикатрисы Ng, что обеспечивало максимальное поглощение на длине волны накачки. Лазерные кристаллы поддерживались при комнатной температуре с помощью термоэлектрического контроллера (TEC) и помещались в медный радиатор с использованием индиевой фольги. Расчетный диаметр моды TEM00 резонатора составлял около 35 мкм в лазерном кристалле. Источником накачки был одномодовый лазерный диод InGaAs с волоконным выводом излучения, с максимальной выходной мощ-

ностью около 600 мВт на длине волны 975,5 нм. Длина волны излучения накачки стабилизировалась волоконной брэгговской решеткой. Пятно излучения накачки диаметром около 35 мкм формировалось в активном элементе с помощью асферической линзы (АЛ) с фокусным расстоянием 18,4 мм и сферической линзы (СЛ) с фокусным расстоянием 100 мм.

В результате стабильная синхронизация мод была получена для поляризации выходного излучения E//Np при пропускании выходного зеркала T = 1,5%. Средняя выходная мощность достигала 30 мВт на центральной длине волны 1047 нм с шириной на полувысоте 17 нм (рис. 1). Длительность импульса составляла 97 фс с частотой повторения импульсов 86 МГц, пиковая мощность отдельного лазерного импульса в этом случае составляла 3,6 кВт. Автокорреляционная функция представлены на рис. 2.

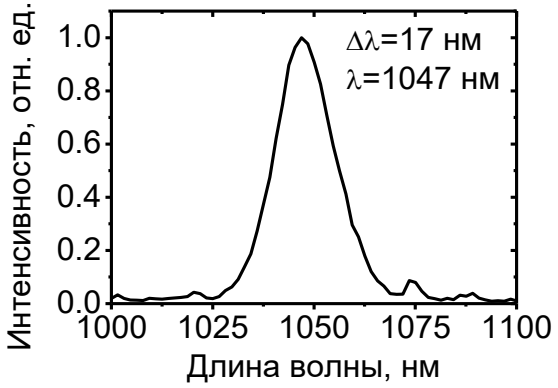


Рис. 1. Спектр импульсов

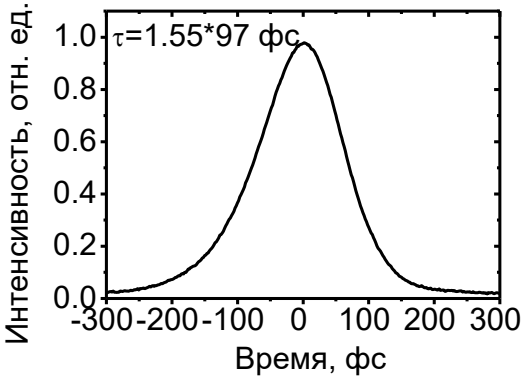


Рис. 2. Автокорреляционная функция

УДК 535.14

СТАТИСТИКА ПОСЛЕИМПУЛЬСОВ В ДЕТЕКТОРАХ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ ПРИ ВЫСОКИХ УРОВНЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ ИМПУЛЬСАМИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Научный сотрудник Лахмицкий Н. В.
Кандидат физ.-мат. наук Чижевский В. Н.
Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

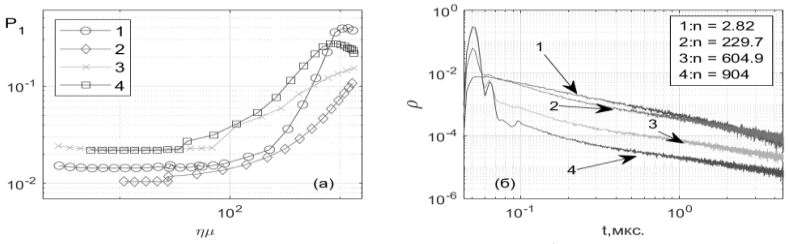
Детекторы одиночных фотонов на основе лавинных фотодиодов (ЛФД) получили широкое распространение в различных приложениях: квантовая связь, лидары, спектроскопия и т. д.

Недавно было показано, что оптоэлектронная пара на основе вертикально излучающего лазера (ВИЛ) и лавинного фотодиода может быть использована в качестве элемента искусственного импульсного нейрона (ИИН) [1]. В зависимости от амплитуды лазерных импульсов можно реализовать 2 режима работы: вероятностный и детерминированный. В последнем случае необходимы лазерные импульсы большой амплитудой, которые, при определенных условиях, приводят к тому, что частота выходных импульсов с нейрона, может превышать частоту следования импульсов возбуждения. Причиной этого явления связана с эффектом появления послеимпульсов, которые влияют на статистику фотоотсчетов. Целью этой работы является исследование статистики послеимпульсов при высоких уровнях импульсного лазерного возбуждения.

В эксперименте использовался ИИН, состоящий из ВИЛ, генерирующего на длине волны 850 нм, оптического ослабителя, детектора одиночных фотонов (ID Quantine: ID-100 SMF-20), работающего в автономном режиме с активной схемой гашения лавины. Детекторы имели частоту темновых отсчетов 10–30 Гц, мертвое время 45–50 нс и вероятность детектирования фотонов 0,03–0,05 на длине волны 850 нм. На детектор подавались лазерные импульсы длительностью 5 нс с частотой 200 кГц, и варьируемой амплитудой. Регистрация откликов детекторов одиночных фотонов осуществлялась с помощью USB-осциллографа. Измерялось время появления послеимпульса после регистрации действия лазерного импульса.

На рис. 1, *а* представлены результаты исследования вероятности послеимпульсов P1 от эффективного числа фотонов n, падающих на детектор. В частности, начиная с значения $n \approx 100$,

наблюдается значительное увеличение вероятности P1 с увеличением n для всех 4-х образцов исследуемых детекторов. Статистика послеимпульсов (рис. 1, *б*) также претерпевает значительные изменения с ростом числа фотонов n. В частности, при больших значениях *n* (кривые *3* и *4* на рис. 1, *б*), наблюдается значительное увеличение плотности вероятности появления послеимпульсов 1-го порядка от времени с малыми значения интервалов времени, при этом значительно уменьшается доля с большими временами. Для малых значений n эти результаты согласуются с результатами, приведенными в [2].



а *б*

Рис. 1. Зависимость вероятности послеимпульса 1-го порядка от эффективного числа фотонов n, попавших на активную область детектора для различных образцов лавинных фотодиодов (*а*); зависимость плотности вероятности ρ появления послеимпульсов 1-го порядка от времени после действия лазерного импульса при различных уровнях лазерного возбуждения (*б*)

Литература

1. Chizhevsky, V. N. Artificial spiking neuron based on a single-photon avalanche diode and a microcavity laser / V. N. Chizhevsky, V. A. Kulchitsky, S. Y. Kilin // Applied Physics Letters. – 2021. – V. 119(4). – P. 041107.

2. Horoshko, D. B. Full-response characterization of afterpulsing in single-photon detectors / D. B. Horoshko, V. N. Chizhevsky, S. Y. Kilin // Journal of Modern Optics. – 2017. – V. 64 (2). – P. 191–195.

УДК 681.7.023.4-229

ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Магистрант Луцкович З. М.
Д-р техн. наук, профессор Козерук А. С., кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Успешное решение задачи роста производительности труда и улучшения качества продукции в оптическом приборостроении связно как с применением прогрессивного технологического оборудования, так и в значительной мере с совершенствованием технологии приборостроительного производства, в том числе конструктивных решений элементов технологического комплекса. В современных условиях, характеризуемых постоянным увлечением количества типов приборов, выпускаемых промышленностью, чрезвычайно острой становится проблема изыскания путей сокращения трудовых и материальных затрат на подготовку производства.

Важнейшим условием решения этой проблемы в оптическом приборостроении становится применение гибких технологических средств, позволяющих в относительно короткие сроки перестаивать производство одних приборов на производство других. К числу таких гибких технологических средств относится переналаживаемая станочная оснастка, и, в частности, станочные приспособления.

Конструкция станочных приспособлений для выполнения технологического процесса обработки различных деталей оптических приборов зависит от многих факторов и может значительно различаться даже при обработке одних и тех же деталей и на одних и тех же станках. В современных условиях необходимо создать наиболее гибкие методы подготовки производства новых изделий, что предъявляет высокие требования не только к конструкции приспособлений, но и к методам самого конструирования станочных приспособлений. Поэтому необходимо обращать внимание на рационализацию процесса конструирования станочных приспособлений с тем, чтобы их конструкция была экономически целесообразна.

Наиболее экономичным и целесообразным направлением решения этой задачи следует считать проектирование станочных приспособлений из стандартных элементов, а также проектирование специальных наладок, деталей, эталонов, шаблонов, а также инструментов на базе их типовых конструкций. Алгоритмы и программы решения таких задач имеет достаточно простой вид, а объем таких работ составляет около 50 % от общего объема проектных работ.

Для значительного прогресса в области проектирования станочных приспособлений ключевое значение имеет их систематизированная классификация. В зависимости от степени универсальности, приспособления подразделяются на три основные категории: универсальные, специализированные и специальные. Такая классификация позволяет более эффективно подходить к процессу проектирования, учитывая особенности каждой группы приспособлений и оптимизируя их применение в производственных процессах.

При создании новых конструкций необходимо учитывать основные принципы стандартизации. Важнейшим из них является широкое использование рядов предпочтительных чисел.

Наиболее удобными следует считать геометрические ряды, у которых относительная разность между двумя числами ряда одинакова. Это важное свойство объясняется тем, что геометрическая прогрессия является рядом чисел, в котором отношение двух смежных чисел всегда постоянно и рано знаменателю прогрессии.

В геометрической прогрессии любой ее член *Ni* можно высчитать по формуле

$$Ni = \varphi^{i}, \tag{1}$$

где i – порядковый номер числа; φ – знаменатель прогрессии.

УДК 681.7.067.242

КОНВЕРТЕР АПЕРТУРНЫЙ

Студент гр. 11311121 Мамай Е. Ю.
Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Интерферометрические методы контроля, реализуемые в различных схемах интерферометров, применятся для контроля качества поверхностей оптических деталей. Для осуществления измерений оптических деталей различных размеров в интерферометрах используют эталонные объективы, которые играют ключевую роль в обеспечении точности и чувствительности измерений. Объективы должны обладать высоким оптическим качеством, чтобы минимизировать аберрации и обеспечить четкое изображение интерференционных полос или колец. Основными параметрами таких объективов являются фокусное расстояние, апертура, угловое поле, светосила, увеличение, модуляционно-передаточная функция, разрешающая способность и спектральный диапазон [1].

Конструирование объективов для интерферометрии является довольно сложной и трудоемкой задачей. Отличительными особенностями таких объективов от обычных являются: высокая точность, минимальные остаточные аберрации, специальные покрытия, механическая и температурная стойкость, возможность работы с лазерными источниками излучения.

Необходимость разработки конвертера апертурного состоит в том, чтобы можно было увеличить диапазон измеряемых оптических деталей диаметром до 100 мм, в следствии увеличения диаметра входного пучка в заданное количество раз. Требования к конвертеру апертурному практически идентичны требованиям, предъявляемым к объективам интерферометров, но с некоторыми дополнениями: возможность работы с разными типами объективов интерферометров, обеспечение требуемой точности волнового фронта в прямом и обратном ходе лучей (после отражения от объекта исследования).

Конвертер апертурный по своей сути является телескопической системой с необходимым увеличением (рис. 1), состоящей из объектива и окуляра, каждый из которых должен включать, как минимум, две линзы.

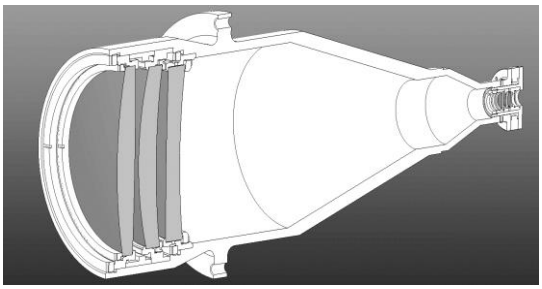


Рис. 1. Пример конструкции конвертера апертурного

Для закрепления конвертера на интерферометре предусмотрен держатель, представленный на рис. 2.

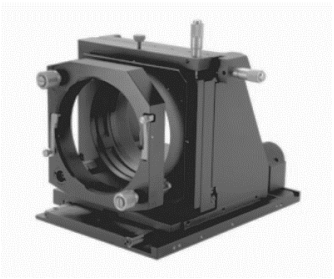


Рис. 2. 3D-модель держателя конвертера апертурного

Литература

1. Оптические измерения: учеб. пособие: в 2 т. / под ред. И. В. Самохвалова. – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2014. – Т. 1. – 580 с.

УДК 681.7.075.3

МЕХАНИЗМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Студент гр. 11311121 Науменко А. А.
Кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Система автоматического изменения фокусного расстояния является составной частью телевизионного оптико-электронного прибора наблюдения, и обеспечивает адаптивное регулирование оптического резкого изображения в условиях изменяющейся дистанции между камерой и объектом съемки, а также варьирующихся условий освещенности. Функциональное назначение данной системы – поддержание оптимального качества изображения без вмешательства оператора, что существенно повышает оперативность работы системы видеосъемки. Среди ключевых преимуществ – повышение четкости и детализации изображения, снижение риска ошибок при ручной настройке и повышение общей эффективности передачи визуальной информации в реальном времени.

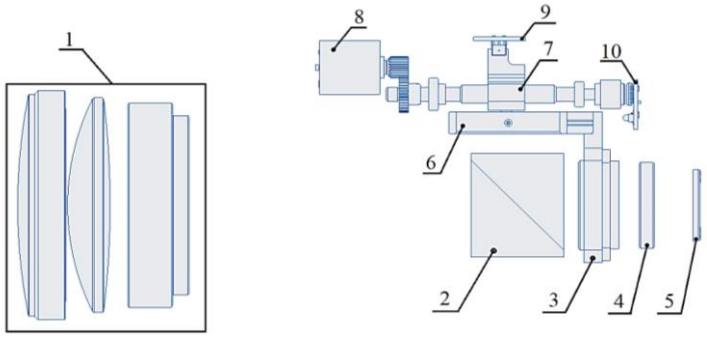


Рис. 1. Схема телевизионного канала: *1* – объектив, *2* – спектроделительная призма, *3* – система подфокусировки, *4* – светофильтр, *5* – плоскость матричного фотоприемника, *6* – механизм линейного перемещения, *7* – передаточный механизм «Винт–гайка», *8* – шаговый двигатель, *9* – датчик положения, *10* – датчик угла наклона

Принцип работы механизма автоматической фокусировки заключается в следующем: при включении шагового двигателя *8*, происходит передача вращающего момента на вал передаточного механизма «винт–гайка» *7*, продольное смещение гайки вызывает прямолинейное движение механизму линейного перемещения *6*, которая в свою очередь перемещает систему подфокусировки *3* вдоль оптической оси прибора относительно центральной спектро- делительной призмы *2*. Таким образом изменяя положения происходит изменение фокусного расстояния оптической системы для точной фокусировки в плоскость матричного фотоприемника. Контроль текущего положения объектива осуществляется датчиком положения *9*, для контроля угла наклона оси вала используется датчик угла наклона *10*, считывающий магнитное поле от установленного на краю вала постоянного магнита.

Предшествующей моделью данного прибора был блок фокусировки 2015 года разработки. Задачу с перемещением объектива выполнял мотор «AM2224-R3-AV-4.8-30». Данный двигатель напрямую передавал вращающий момент на передачу винт–гайка. Компенсатором люфта выступала внешняя пружина между блоком с призмой и объективом подфокусировки. Схема данного прибора показана на рис. 2.

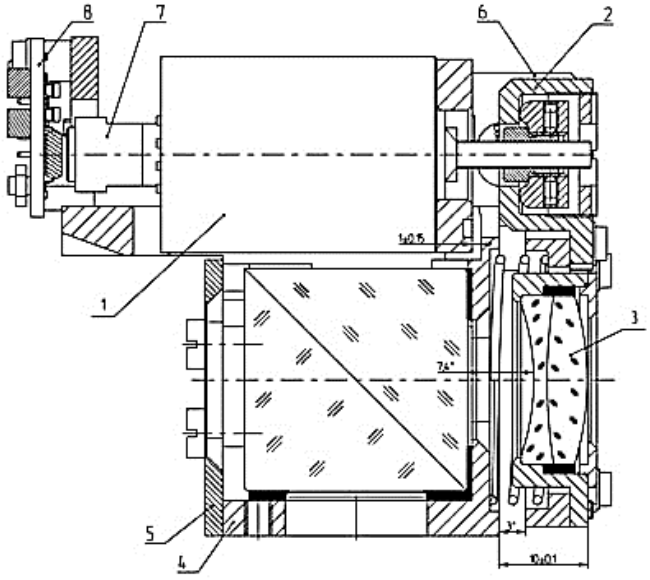


Рис. 2. Схема механизма фокусировки до модернизации

Принцип работы данного механизма заключался в следующем: при включении шагового двигателя *1*, происходит передача вращающего момента на передачу «винт–гайка» *2*, которая закреплена вместе с объективом *3*. В левой части механизма установлена диафрагма *5*. Контроль работы узла осуществляется датчиком положения *6*, на втором конце двигателя закреплен твердотельный магнит *7*, напротив которого установлен датчик угла наклона *8*. Люфт передачи винт гайка компенсирует пружина.

Недостатки данной конструкции заключаются в том, что пружина большого диаметра была очень тонкой и чувствительной. Сложная конструкция передачи винт–гайка требовала точной сборки и настройки. Сложность выставки общей направляющей для корпуса и оправы с объективом. Использовалась покупная направляющая. Присутствовали осевые нагрузки на ось двигателя.

После проведения модернизации прототипа системы фокусировки телевизионного канала в виде замены шагового двигателя модели AM2224 на AM1524, а также добавление зубчатой передачи (с передаточным отношением ½) позволило существенно уменьшает габариты узла, а также устранить риск выбивания оси двигателя за счет непрямого соединения с ходовым винтом. В результате удалось увеличить дискретность линейного перемещения объектива фокусировки с исходных 0,04 мм до 0,02 мм.

УДК 681

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОКОЛЛИМАТОРА

Студент гр. 51315023 (магистрант) Позднякова О. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной полезной модели заключается в обеспечении возможности точного совмещения проекционной и визирной осей автоколлимационной зрительной трубы во время ее эксплуатации. Это согласование является важным для достижения высокой точности и надежности оптических измерений. В процессе использования автоколлимационной трубы важно, чтобы обе оси были идеально выровнены, что позволит избежать ошибок и отклонений в измерениях.

Для решения этой проблемы следует внедрить в проекционный канал механизм выверки, который позволяет корректировать взаимное положение осей перед началом работы, без необходимости механического вмешательства. В нашем случае можно использовать несколько видов компенсаторов:

– наклон плоскопараллельной пластины в двух направлениях;

– два клина, вращаемые вокруг оси;

– смещение линзы по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Учитывая необходимость сохранения первоначальных габаритов и минимизации конструкторских изменений, остановимся на варианте с линзой. Выбор отрицательной линзы позволит немного отдалить плоскость проекционной сетки от светоделительной грани кубической призмы [1].

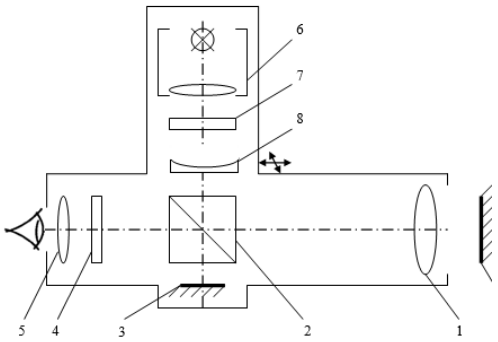


Рис. 1. Оптическая схема автоколлиматора с куб-призмой, двумя сетками и компенсотором

Цель достигается путем включения в конструкцию автоколлимационной зрительной трубы оптического компенсатора 8, который размещен между проекционной системой и светоделительной куб-призмой и может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях, ортогональных оси проекционной системы. Сама автоколлимационная труба состоит из последовательно расположенных на визирной оси объектива *1*, светоделительной куб-призмы *2*, окулярной сетки с измерительной шкалой *4*, установленной в фокальной плоскости объектива *1*, и окуляра *2*. Также труба содержит проекционную систему с подсветкой 6 и вторую автоколлимационную сетку *7*, расположенную на оси, перпендикулярной визирной оси и пересекающейся с ней в центре светоделительной грани куб-призмы *2*. При этом марка второй сетки установлена в фокальной плоскости объектива *1*, а зеркало, расположенное на оси проекционной системы, обращено отражающей поверхностью к объективу [2].

Использование новой автоколлимационной зрительной трубы позволяет осуществить точное согласование проекционной и визирной осей во время эксплуатации. Это согласование обеспечивает высокую точность и надежность оптических измерений, что является критически важным для множества приложений. Таким образом, новая автоколлимационная зрительная труба представляет собой значительное улучшение, обеспечивающее точное согласование и надежную эксплуатацию.

Литература

1. Афанасьев, В. А. Автоколлимационные приборы / В. А. Афанасьев, А. М. Жилкин, В. С. Усов. // Недра, 1982. – 326 с.

2. Коняхин, И. А. Эксперементальное исследование информационно-измерительных оптико-электронных систем / И. А. Коняхин, Т. В. Тургалиева. – Санкт-Петербург, 2019. – 118 с.

УДК 535.317

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА

Студент гр. 121111 Портных Н. А.
Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.
Тульский государственный университет, Тула, Россия

Спектральный диапазон работы лазерного излучения может быть расширен на основе различных способов преобразования частоты. Особое значение имеют, в частности, нелинейные оптические эффекты: удвоение частоты и комбинационное рассеяние [1].

В работе исследуется генерация второй гармоники в твердотельном лазере, которая обусловлена квадратичным членом поляризованности кристалла калия-титанила-фосфата.

В подтверждении теоретическим данным был проведен эксперимент на лабораторном стенде LF 1008 (рис. 1).

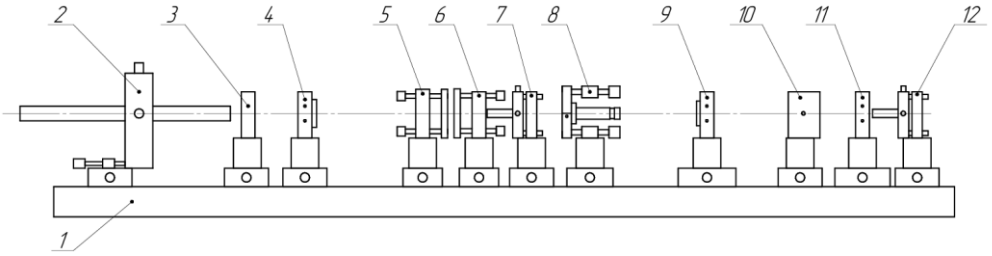


Рис. 1. Схема установки для проведения исследования: *1* – оптический рельс; *2* – диодный лазерный модуль накачки; *3* – коллимирующая линза в держателе; *4* – фокусирующая линза в держателе; *5* – входное плоское зеркало резонатора в держателе; *6* – активный элемент из кристалла Y3Al5O12 : Nd; *7* – кристалл KTP; *8* – выходное сферическое зеркало резонатора; *9* – оптический светофильтр на длину волны 1064 нм в держателе; *10* – фотодетектор; *11* – диафрагма для настройки лазера; *12* – юстировочный лазер

В ходе проведения эксперимента были измерены интенсивности излучения лазера при длинах волн 532 и 1064 нм. В итоге была получена квадратичная зависимость интенсивностей, сведенная в график, приведенный на рис. 2.

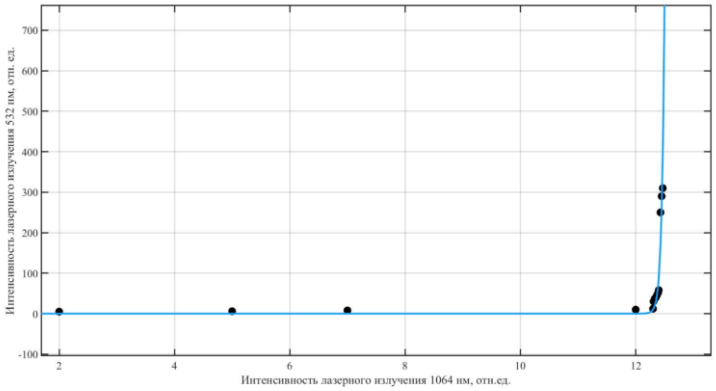


Рис. 2. График квадратичной зависимости интенсивности излучения лазерной генерации 532 нм от интенсивности излучения лазерной генерации на длине волны 1064 нм

Было получено, что интенсивности излучения на длинах волн 532 нм и 1064 нм с увеличением силы тока лазера накачки растут по экспоненциальному закону.

Литература

1. Беспрозванных, В. Г. Нелинейная оптика: учеб. пособие / В. Г. Беспрозванных, В. П. Первадчук. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. – 200 с.

УДК 535

ОСОБЕННОСТИ МИНИМИЗАЦИИ АБЕРРАЦИЙ В ШИРОКОПОЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВАХ ТИПА ПЛАНАР

Студент гр. 121111 Романцева Е. А.
Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.
Тульский государственный университет, Тула, Россия

Одной из проблем, с которыми сталкиваются в оптике являются аберрации. Аберрации представляют собой искажения изображения, возникающие из-за несовершенств оптических систем. Основными типами аберраций являются сферическая аберрация, кома, астигматизм, кривизна поля и дисторсия.

Объектив типа Планар, разработанный Паулем Рудольфом для Carl Zeiss, эффективно минимизирует эти искажения. Благодаря своей конструкции, основанной на принципе двойного объектива Гаусса с ахроматическими склейками, «Планар» хорошо исправляет аберрации третьего порядка, такие как кома и астигматизм [1]. Кроме того, использование специальных оптических материалов и геометрического виньетирования помогает уменьшить сферическую аберрацию, что особенно важно для светосильных объективов.

Объективы данного типа обеспечивают плоскую поверхность изображения, что имеет особое значение для широкопольных объективов, где кривизна поля может быть значительной проблемой. Пример конструкции такого объектива представлен на рис. 1 [2].

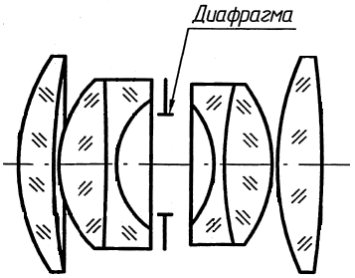


Рис. 1. Пример конструкции объектива типа «Планар»

На рис. 1 представлен объектив с четырьмя линзами, особенность которого заключается в применении линзы – положительный мениск с концентрической первой поверхностью и апломатической второй поверхностью. Менисковая линза обеспечивает коррекцию аберраций и улучшает качество изображения. Концентрическая поверхность может помочь в коррекции сферической аберрации, а апломатическая поверхность – в минимизации хроматических аберраций [3].

В последние десятилетия развитие компьютерного моделирования и совершенствование производственных технологий способствовали дальнейшему снижению уровня аберраций в оптических системах. Современные методы симуляции позволяют точно анализировать вклад каждого элемента в общую схему, что обеспечивает оптимальное распределение оптических компонентов и минимизацию искажений. Такой подход не только повышает качество изображения, но и способствует снижению производственных затрат, делая передовые оптические решения доступными для широкого спектра применений - от профессиональной фотографии до медицинской диагностики и астрономических наблюдений.

Литература

1. Русинов, М. М. Композиция оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1989. – 383 с.
2. Русинов, М. М. Вычислительная оптика / М. М. Русинов, А. П. Грамматик, П. Д. Иванов – Л.: Машиностроение, 1984. – 423 с.
3. Русинов, М. М. Техническая оптика / М. М. Русинов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 488 с.

УДК 681

ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И НАВЕДЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ И РЕАКТИВНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Учащийся Савчик А. В.
Кандидат физ.-мат. наук Горбач Д. В.
УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь

Целью данного проекта был расчет требований к источнику лазерного излучения и экспериментальное исследование влияния примесей, находящихся в атмосфере на коэффициент ее пропускания, влияния наличия просветляющего покрытия на элементах оптической системы.

На экспериментальной установке (рис. 1) была исследована зависимость коэффициента пропускания среды от относительной влажности воздуха (рис. 2).

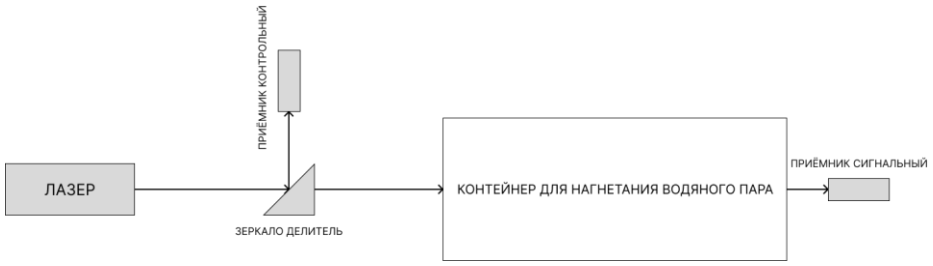


Рис. 1. Схема оптической системы для проведения эксперимента

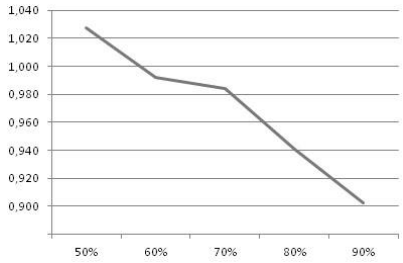


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания воздуха от относительной влажности

Экспериментально подтверждено существенное влияние наличия и типа просветляющего покрытия на пропускание излученининя элементами оптической системы.

На основании формулы (1) [1, 2] был произведен расчет параметров лазерной установки табл. 1

$$P_{\text{пер}} = P_{\text{пр.м}} \frac{4L_{\text{м}}^2}{\zeta D_{\text{пр.}}^2 \tilde{\imath}_1 \tilde{\imath}_2 \rho} \mathrm{e}^{2\alpha L_{\text{м}}}. \quad (1)$$

Таблица 1 – Параметры лазерной установки

Накачка	Диодная
Тип лазера	Волоконный
Рабочая длина волны	1064 нм
Максимальная мощность	2 КВт
Длительность импульса	10 нс
Максимальная частота	100 кГц

Литература

1. Лисенкова, А. М. Оптическое гетеродирование на основе CO_2-лазера в атмосферных условиях / А. М. Лисенкова, Б. Ю. Ханок // Известие вузов. Радиофизика. – 1992. – Т. 35, № 2. – С. 103–129.

2. Атмосферная электрооптика / В. А. Донченко [и др.]. – Томск: НТЛ, 2010.

УДК 621.373.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ ЛАЗЕРА НА КРИСТАЛЛЕ CR^{4+}:YaG

Студент гр. 121111 Семенихин Д. А.
Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.
Тульский государственный университет, Тула, Россия

Метод модуляции добротности позволяет получать лазерную генерацию в виде коротких импульсов с высокой пиковой мощностью. Длительность импульса накачки tω должна быть меньше времени релаксации верхнего состояния или, возможно, сравнима с ним, тогда усиление лазера превосходит потери резонатора и число фотонов $q(t)$ резко увеличивается. Когда инверсная населенность $N_{(t)}$ падает до величины пороговой N_p, то $q = 0$ и световой импульс имеет максимальную мощность, рис. 1.

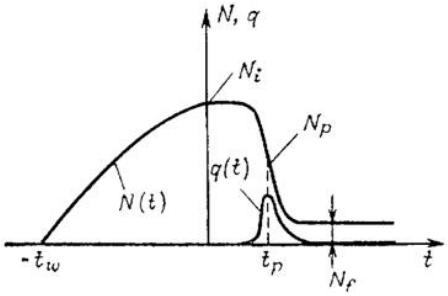


Рис. 1. Временные зависимости инверсии населенности $N_{(t)}$ и числа фотонов $q_{(t)}$

Для неодимовых лазеров, главным образом, используют в качестве насыщающихся поглотителей кристаллы иттрий-алюминиевого граната, легированные ионами Cr^{4+}. Они относят к «медленным» модуляторам, так как время релаксации много больше длительности генерируемого моноимпульса. В подтверждении теоретическим данным был проведен эксперимент на лабораторном стенде LF 1008 (рис. 2).

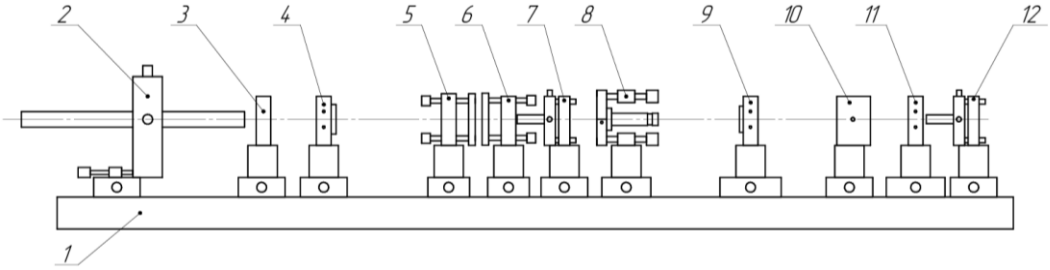


Рис. 2. Схема установки для проведения исследования: *1* – оптический рельс; *2* – диодный лазерный модуль накачки; *3* – коллимирующая линза в держателе; *4* – фокусирующая линза в держателе; *5* – входное плоское зеркало резонатора в держателе; *6* – активный элемент из кристалла $Y_3Al_5O_{12}$:Nd; *7* – насыщающийся поглотитель из кристалла $Y_3Al_5O_{12}:Cr^{4+}$; *8* – выходное сферическое зеркало резонатора; *9* – оптический светофильтр на длину волны 1064 нм в держателе; *10* – фотодетектор; *11* – диафрагма для настройки лазера; *12* – юстировочный лазер.

После проведения эксперимента был получен моноимпульс длительностью 218 нс и амплитудой 140 мВ, результат приведен на рис. 3.

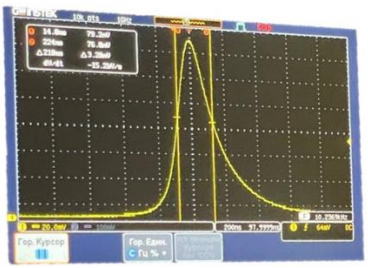


Рис. 3. Осциллограмма одиночного импульса генерируемого кристаллом YaG:Nd

После включения накачки происходит увеличение населенности на верхнем лазерном уровне. При определенной населенности верхнего лазерного уровня коэффициент усиления на некоторой частоте сравнивается с коэффициентом потерь, то есть для излучения на этой частоте достигается порог генерации.

Литература

1. Беспрозванных, В. Г. Нелинейная оптика: учеб. пособие / В. Г. Беспрозванных, В. П. Первадчук. – Пермь: ПГТУ, 2011. – 200 с.

УДК 004.932.2

АЛГОРИТМЫ ПЕРВИЧНОЙ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ВИДЕОПОТОКОВ РАЗЛИЧНОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Магистрант Тараченко А. А.[1,2],
Первый заместитель начальника управления Кацер Д. В.[1],
кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.[2]
[1]ОАО «Пеленг», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные системы видеонаблюдения обеспечивают в автоматическом режиме распознавание и идентификацию объектов без участия человека способны обнаруживать и отслеживать в реальном времени заданные цели (например, автомобиль, группа людей) или потенциально опасные ситуации (например, задымление, возгорание, несанкционированный доступ), после чего своевременно выдать тревожный сигнал. Системы распознавания и идентификации по видеофиксации базируются на определенном алгоритме выявления соответствия считываемых характеристик заранее заданному шаблону. Видео камера транслирует видеопоток на сервер в режиме реального времени, система распознавания и идентификации определяет соответствие хранящейся в базе данных информации, а идентификация происходит с учетом заранее определенных в системе факторов [1, 2].

Система технического зрения авиационная (СТЗА) предназначена для круглосуточного поиска, обнаружения и распознавания групп людей (в том числе отдельного человека), автотранспорта и других технических средств, с определением координат и дальности до объектов наблюдения в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, в простых и сложных метеоусловиях с возможностью одновременного получения изображений от телевизионного (ТВК) и тепловизионного (ТПВК) каналов. СТЗА сохраняет результаты поиска, отображает полученную информацию на устройствах визуализации наземного программно-аппаратного комплекса (НПАК). Для успешной реализации проекта по созданию эффективной СТЗА необходимо рассмотреть носители такого оборудования, особенности и условия применения, возможности использования на том или ином беспилотном (БЛА) или пилотируемом летательном аппарате. Несмотря на некоторую схожесть решаемых задач, существуют определенные различия как в условиях и тактике применения, так и по характеру объектов и субъектов применения БЛА.

Из анализа перечня оборудования, используемого в системах технического зрения изделий аналогов можно сделать вывод, что в пределах ограничений по массе (в пределах 10 кг) и габаритных размеров СТЗА (диаметр – не более 250 мм, высота – не более 340 мм) в СТЗА целесообразно разместить три информационных канала: 1) тепловизионный (ТВК1 обзорная и ТВК2 детальная), 2) телевизионный (ТПВК); 3) лазерный дальномерный.

СТЗА состоит из гиростабилизированной оптико-электронной системы (ГОЭС), которая размещается непосредственно на БЛА и наземного программно-аппаратного комплекса (НПАК), на котором отображается полученная от ГОЭС информация и посредством которого осуществляется управление оптико-электронным оборудованием ГОЭС. Конструктивно ГОЭС может быть реализована на основе двух вариантов: 1) с выносным отдельным модулем обработки сигналов (МОС), который предназначен для обработки цифровой информации и для обмена данными по внешним интерфейсам, и 2) со встроенным непосредственно в ГОЭС МОС. В целом ГОЭС состоит из следующих частей: гиростабилизированная платформа (ГСП), модуль оптико-электронный (МОЭ) и модуль обработки сигналов (МОС).

В представленной на рис. 1 многокамерной системе 3 камеры: ТВК1, ТВК2, и ТПВК. Видеопоток с данных камер перед отображением пользователю необходимо привести к единому виду и формату представления, стабилизировать и нормализировать изображение, по необходимости произвести комплексирование, произвести детектирование и сопровождение целей, добавить знакографическую информацию на экран пользователя (телеметрия, данные системы детектирования и сопровождения объектов). Данные процедуры, производимые с видеопотоками, можно подразделить на несколько групп:

1. Алгоритмы подготовки видеопотоков.
2. Алгоритмы комплексирования.
3. Алгоритмы детектирования и сопровождения целей.
4. Итоговые алгоритмы.

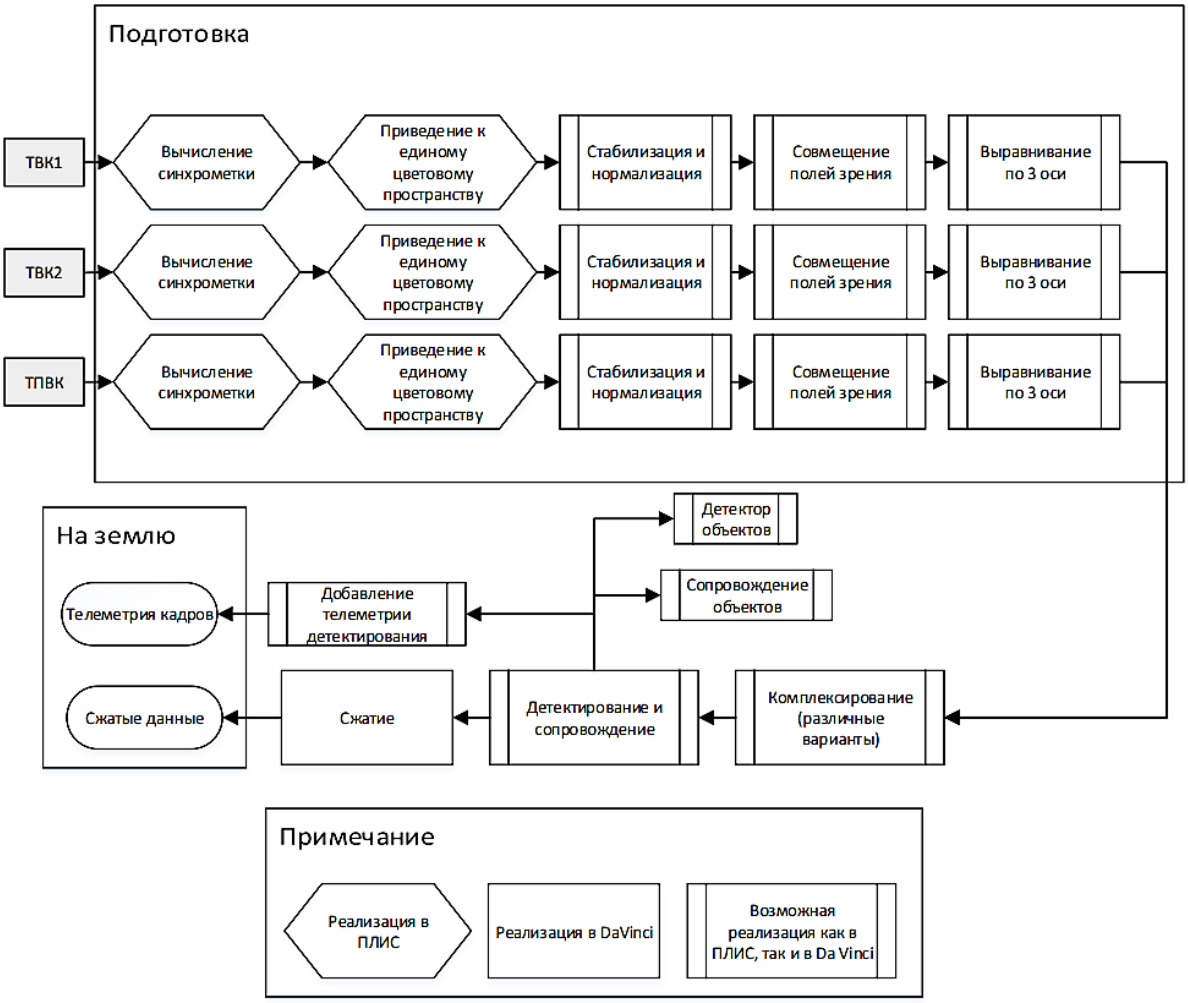


Рис. 1. Алгоритм работы СТЗА

Литература

1. Типы навигационных систем и их применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unavlab.com/o-nas/articles/tipyi-navigatsionnyih-sistem/. – Дата доступа: 25.02.2025.

2. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration / Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews// John Wiley & Sons. – Vol. 1, № 1. – 2006. – P.18–23.

УДК 681.785.423

КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ СПЕКТРОФОТОМЕТРА, ОБУСЛОВЛЕННОЙ УСРЕДНЕНИЕМ ПОКАЗАНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ШИРИНЫ СКАНИРУЮЩЕЙ ЩЕЛИ

Магистрант гр. 61315023 Чайкова Л. Д.
Кандидат техн. наук, доцент Зайцева Е. Г., кандидат техн. наук, доцент Богдан П. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В спектрофотометрах производится преобразование спектрального распределения $S(\lambda)$ светового излучения по длине волны в распределение $S(x)$ по пространственной координате, где значению каждой координаты x соответствует определенная длина волны λ. Поэтому задача измерения интенсивности на каждой длине волны приводится к задаче измерения интенсивности излучения на каждой пространственной координате. Измерения можно производить как параллельно, неподвижной совокупностью щелей и фотоэлементов, так и последовательно, сканируя движущейся щелью разложенный по пространственной координате спектр.

В первом случае сигнал на выходе фотоприемника E с учетом компенсации неравномерной характеристики фотоприемника по второй методике вычисляется по формуле:

$$E = \frac{\int_{\lambda 1}^{\lambda 2} S(\lambda) S_f(\lambda) \partial\lambda}{\int_{\lambda 1}^{\lambda 2} S_f(\lambda) \partial\lambda}, \quad (1)$$

где $S(\lambda)$ – спектральное распределение исследуемого излучения, $S_f(\lambda)$ – спектральная чувствительность фотоприемника, λ_1 и λ_2 – длины волн, ограничивающие спектральный диапазон излучения.

Спектральная характеристика фотоэлемента является функцией длины волны [1], что иллюстрируется рис. 1.

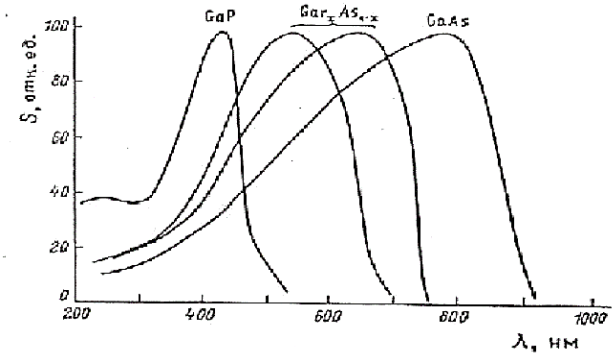


Рис. 1. Спектральные характеристики фотодиодов на основе GaP, GaPxAs1-x и GaAs [1]

Использование в числителе и знаменателе усредненных в пределах щели значений спектра излучения и чувствительности фотоприемника вносит погрешность в измерение при параллельных измерениях.

При последовательном сканировании движущейся щелью разложенного по пространственной координате спектра сигнал на фотоприемнике зависит от скорости движения щели. Если эта скорость будет обратно пропорциональна чувствительности приемника, соответствующей точке с координатой x, то погрешность, вызванная усреднением сигнала по ширине щели, компенсируется, так как интенсивность сигнала, проходящего через щель, с одной стороны, будет пропорциональна ширине щели и, с другой, обратно пропорциональна скорости движения щели.

Литература

1. Анисимова, И. Д. Фотоприемники ультрафиолетового диапазона на основе широкозонных соединений / И. Д. Анисимова, В. И. Стафеев // Прикладная физика. – 1999, № 2. – Режим доступа: https://applphys.orion-ir.ru/appl-99/99-2/99-2-4r.htm. – Дата доступа: 02.02.25.

УДК 621.384.3

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НЕФЕЛОМЕТРА

Магистрант Чалевич А. Ю.
Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Заключительной стадией изготовления любого оптико-электронного прибора являются его испытания. Испытания делятся на лабораторные и натурные. Целью лабораторных испытаний является воссоздание условий близких к условиям эксплуатации прибора искусственным путем с помощью специальных испытательных стендов. На основании проведенных испытаний делается заключение о соответствии прибора требованиям технического задания и технических условий.

Испытания, которым подвергается прибор, делятся на механические (например, на виброустойчивость, ударную прочность), климатические (например, температурные, на влагоустойчивость), испытания на воздействие атмосферного или гидравлического давления и другие.

Нефелометр – это прибор, предназначенный для измерения метеорологической оптической дальности видимости для аэронавигации и метеорологических станций, который устанавливается на метеоплощадке и предназначен для работы в полевых условия в любое время суток в диапазоне температур от –600 ºС до +650 ºС.

Цель работы заключается в разработке методики проверки работоспособности прибора в заданном диапазоне температур.

Подготовка места проведения эксперимента начинается с осмотра помещения и камеры тепла и холода (рис. 1). Затем в камере устанавливают прибор, подключают его к компьютеру и закрывают камеру. После чего выдерживают прибор в климатической камере до достижения в ней заданной температуры (–600ºС), проверяя работу прибора и обновление архива измерений раз в час. Выдерживают прибор при заданной температуре в течении 4 часов. Затем камеру отключают и открывают, после чего выносят на место эксплуатации. Аналогичным образом проводят испытания при температуре +650ºС.



Рис. 1. Камера для климатических испытаний

Подключают прибор и проверяют его работоспособность, затем проводят его поверку. Далее прибор транспортируют на хранение. С компьютера копируют данные архивов за время проведения экспериментов и отправляют их на анализ.

Анализ данных проводится с помощью табличного редактора (Microsoft Excel или аналогов) или математического пакета (Mapel, Mathcad и т. д.) инженером-исследователем. На основе проведенного анализа делается заключение о погрешности измерения метеорологической оптической дальности при температурах –650 ºС и +650 ºС.

Литература

1. Козерук, А. С. Технология оптического приборостроения: учебное пособие / А. С. Козерук. – Минск: БНТУ, 2016. – 504 с.

УДК 535.317

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ИНФРАКРАСНОГО ВАРИООБЪЕКТИВА

Аспирант Чергейко С. В.
Д-р техн. наук, профессор Артюхина Н. К.
Белорусский национальный технический университет

Инфракрасные (ИК) вариообъективы — это оптические системы, способные изменять свое фокусное расстояние в определенном диапазоне и работающие в инфракрасном спектре электромагнитного излучения.

Классический метод расчета ИК-вариообъективов основан на использовании математических моделей и формул для определения основных параметров оптической системы. Метод включает в себя следующие этапы:

– определение требуемого диапазона фокусных расстояний;
– выбор типа оптической системы;
– расчет оптических характеристик линз;
– учет аберраций и других оптических дефектов;
– оптимизация параметров объектива.

К особенностям классического метода расчета ИК-вариообъективов относят:

– выбор оптических материалов;
– коррекция аберраций;
– тепловые эффекты.

Классический метод расчета ИК-вариообъективов представляет собой сложный процесс, требующий глубоких знаний в области оптики и математики. Он позволяет разработать оптические системы с высокими характеристиками и широким диапазоном применения. Несмотря на сложность процесса, классический метод остается актуальным и востребованным в современной оптике.

Расчитывая ИК вариообъектив с переменным фокусным расстоянием от f_{min} до f_{max} мы определяем его параметры для пяти положений фокусного расстояния: f_1, f_2, f_3, f_4, f_5. f_1 = 50 мм, f_2 = 90 мм, f_3 = 130 мм, f_4 = 170 мм, f_5 = 200 мм.

Для расчета вариообъектива необходимо учесть следующие параметры: фокусное расстояние fi; относительное отверстие D/f = 1:4; угловое поле зрения 2ω = 60°; линейное поле зрения Li; увеличение Mi.

Для f_1 = 50 мм радиус кривизны первой линзы R_1, толщина первой линзы t_1, расстояние между первой и второй линзой d_1, все парметры расчитываются по формулам, результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

Положение	f_i	D_i	Li	Mi	R_{1i}	t_{1i}	di	R_{2i}	t_{2i}
1	50	12,5	88,4	0,22	25	5	10	50	7
2	90	22,5	158,8	0,39	45	7	15	90	9
3	130	32,5	229,2	0,57	65	9	20	130	11
4	170	42,5	300,6	0,75	85	11	25	170	13
5	200	50	352,8	0,90	100	13	30	200	15

Для каждого положения фокусного расстояния анализируются и корректируются аберрации, такие как хроматическая, сферическая и дисторсия [1]. Оптимизация параметров объектива производится для достижения наилучших характеристик. Для расчета ИК вариообъектива через построение необходимо учитывать множество параметров для упрощения расчетов и быстрой визуализации используют программное обеспечение ZEMAX и CODE V.

Литература

1. Крынин, Л. И. Проектирование конструкций объективов. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 219 с.

УДК 681.7.067.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЪЕКТИВОВ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ В СОСТАВЕ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аспирант Шанчук В. А.
Д-р техн. наук, профессор Артюхина Н. К.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время широкое распространение получили оптические системы (ОС) с переменным фокусным расстоянием. В связи с наличием у такого типа ОС ряда функциональных преимуществ, рассматривается возможность использования объективов с переменным фокусным расстоянием в составе систем ориентации космических аппаратов [1].

В настоящий момент времени существуют методы быстрого поиска опорной звезды, основанные на работе с двумя полями зрения: широким и узким. На первом этапе реализации алгоритма используется широкое поле зрения ОС для быстрого поиска нужного сектора звездного неба, содержащего опорную звезду. На втором этапе, используется узкое поле зрения ОС для более точного наведения на опорную звезду и получения ее изображения, которое используется для вычисления текущей ориентации космического аппарата. Для реализации такого типа методов быстрого поиска опорной звезды, при их использовании в системах ориентации космических аппаратов, идеально подходят объективы с переменным фокусным расстоянием, которые могут использоваться в качестве звездного датчика (ЗД).

Использование объективов с переменным фокусным расстоянием в качестве ЗД довольно перспективно ввиду наличия у них таких преимуществ, как:

– возможность работы как в широком, так и в узком полях зрения, что перекрывает все необходимые потребности;

– наличие только одного объектива, работающего в широком диапазоне фокусных расстояний, вместо двух отдельных – с широким и узким полями зрения.

Однако, на данный момент существует ряд недостатков, которые препятствуют использованию таких ОС в составе систем ориентации космических аппаратов:

– низкая термонерасстраиваемость;

– невысокое качество даваемого ими оптического изображения за счет наличия у них бóльшего количества оптических элементов, чем у объективов с постоянным фокусным расстоянием.

Совокупность данных недостатков приводит к невозможности обеспечения требовании к точности измерения ориентации у систем звездной ориентации нового поколения. Например, точность измерения ориентации у ЗД нового поколения, который был представлен ИКИ РАН в 2022 году, составляет 0,4 доли угловой секунды (1 среднее квадратическое отклонение) [2]. При этом, диапазон фокусировки данного ЗД составляет 10 мкм. При текущем уровне развития технологий производства объективов с переменным фокусным расстоянием, изготовление ЗД на их основе с современными требованиям к точности определения ориентации крайне затруднительно и требует совершенствования элементной базы, технологий и методов производства ОС с переменным фокусным расстоянием, а также использования более сложных оптических элементов (асферических линз и т. д.).

Литература

1. Шанчук, В. А. Применение объективов с переменным фокусным расстоянием в космическом приборостроении / В. А. Шанчук, С. В. Чергейко, Н. К. Артюхина // Новые направления развития приборостроения: материалы 17-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 17-19 апреля 2024 года, Минск, Республика Беларусь / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 183–184;

2. Прибор звездной ориентации высокой точности для КА ДЗЗ нового поколения / Р. В. Бессонов [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – №3, Т. 19. – С. 114–118.

УДК 681.7.023.72

ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Магистрантка Шевченко В., инженер Сафонов В. В.
Д-р техн. наук, профессор Козерук А. С., кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время в оптической промышленности используется технология односторонней обработки оптических деталей со сферическими поверхностями [1, 2]. Этот процесс включает последовательную обработку линз при их креплении на наклеечный инструмент с помощью смолы, что приводит к деформации заготовки из-за различий в температурных коэффициентах линейного расширения материалов. После обработки возникают проблемы с точностью детали, требующие дополнительной ручной доводки, что является трудоемким процессом.

Для решения отмеченных проблем предлагается технология одновременной двусторонней обработки линз, при которой их фиксируют за боковую цилиндрическую поверхность [3, 4]. В данной технологии используется фотополимерная смола, затвердевающая под воздействием ультрафиолетового излучения, что устраняет необходимость в нагреве и снижает риск деформации.

Для реализации технологии двусторонней обработки линз предлагается устройство, кинематическая схема которого приведена на рис. 1.

В этом устройстве на шпинделе *1* базового станка закреплена планшайба *2* с верхней рабочей поверхностью, с которой во фрикционном взаимодействии находится колесо *3*. На валу этого колеса закреплен основной ролик *4*, а на стойке *5* – вспомогательные ролики *6* (по меньшей мере, три ролика). Между этими роликами находится обрабатываемая линза *7* с инструментами *8* и *9*, которые через рычаги *10* и *11* поджимаются к линзе грузами *12* и *13*. Грузы установлены на платформах *14* и *15*, смонтированных на стойках *16* и *17*, которые, в свою очередь, жестко соединены с нижним *18* и средним *19* рычагами соответственно. Эти рычаги установлены с возможностью вращения на осях *20*, *21* и подвижно соединены с верхним рычагом *22* с помощью кронштейнов *23*, *24* через ролики *25*, *26*.

При включении привода шпинделя вращательный момент планшайбы через колесо и основной ролик *4* вызывает вращение линзы, а возвратно-вращательное движение вала через соответствующие звенья преобразуется в колебательное движение инструментов по обрабатываемой поверхности линзы.

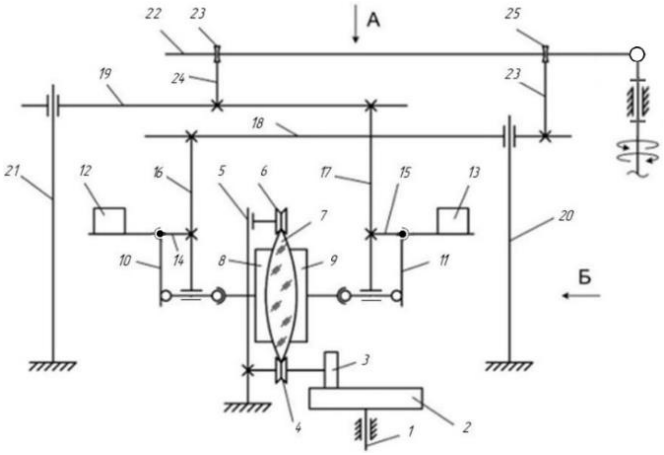


Рис. 1. Кинематическая схема устройства для двусторонней обработки линз

Литература

1. Бардин, А. Н. Технология оптического стекла / А. Н. Бардин. – М.: Высш. шк., 1963. – 519 с.

2. Schwiegerling, J. Optical Specification, Fabrication, and Testing / J. Schwiegerling. – Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2014.

3. Козерук, А. С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов на основе математического моделирования / А. С. Козерук. – Минск, 1997. – 317 с.

4. Козерук, А. С. Формообразование прецизионных поверхностей / А. С. Козерук. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1997. – 176 с.

УДК 681

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОНАРЯ ЗАДНЕГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Магистрант Шейко А. Г.
Д-р техн. наук, профессор Артюхина Н. К.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

При проектировании фонаря заднего всегда стремятся к повышению безопасности дорожного движения, унификации, снижению затрат на производство и обслуживание, повышению эффективности и требований к дизайну [1].

При моделировании фонаря заднего лампового типа требовалось произвести:

– анализ существующих конструкций ламповых задних фонарей: выявление их достоинств и недостатков;

– формулирование требований к многофункциональному заднему фонарю (оптические, электрические, механические, тепловые, эргономические, нормативные);

– выбор компонентов: типы ламп, отражатели, рассеиватели, конструкционные материалы;

– разработка 3D-модели фонаря с использованием CAD-систем;

– моделирование оптических характеристик: распределение светового потока, сила света, соответствие Правила ЕЭК ООН № 48;

– тепловое моделирование: анализ тепловых режимов работы ламп и корпуса фонаря;

– проведение прочностных расчетов: оценка устойчивости конструкции к вибрации и ударным нагрузкам.

При моделировании фонаря заднего многофункционального для автотранспортных средств:

– предложена конструкция многофункционального заднего фонаря, объединяющего функции габаритного огня, стоп-сигнала, указателя поворота, заднего хода, бокового габаритного огня и противотуманного фонаря;

– разработана 3D-модель фонаря, оптимизированная с точки зрения габаритных размеров, массы и технологичности;

– получены результаты моделирования оптических характеристик, подтверждающие соответствие требованиям Правила ЕЭК ООН №48;

– проведен анализ тепловых режимов работы фонаря, показавший допустимость температуры нагрева элементов конструкции;

– определены зоны концентрации напряжений и деформаций при вибрационных и ударных нагрузках, предложены меры по повышению прочности конструкции;

– разработаны рекомендации по выбору материалов и технологий производства фонаря.

Литература

1. Journal of Safety Research (2022) // Light where it matters: IIHS headlight ratings are correlated with nighttime crash rates. – Matthew L. Brumbelow. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022437522001499 – Дата доступа 10.11.2024.

УДК 621.3.038.825.2

ОПТИМАЛЬНАЯ КОМПАНОВКА УСИЛИТЕЛЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА

Студент гр. 11311222 Шишко Т. А., аспирант Лазарчук А. И.
Д-р физ.-мат. наук, профессор Кисель В. Э., кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Иттербиевые волоконные лазеры представляют собой одну из наиболее многообещающих технологий в области лазерной физики и практических приложений. Их преимущества, такие как высокая эффективность, компактные размеры, простота в использовании и возможность генерации ультракоротких импульсов, делают их весьма привлекательными для различных сфер применения. Компактная конструкция на основе оптического волокна значительно уменьшает раз-

меры устройств по сравнению с другими типами лазеров, что упрощает их интеграцию в различные системы. Кроме того, волоконные лазеры имеют меньше движущихся частей и менее подвержены механическим повреждениям, что повышает их надежность и срок службы. Иттербиевые волоконные лазеры обеспечивают генерацию излучения в диапазоне 1,0–1,1 мкм, что открывает возможности для применения в таких областях, как медицинская диагностика, удаленная локация объектов и спектроскопия. Также они способны генерировать ультракороткие импульсы длительностью порядка сотен фемтосекунд и энергиями вплоть до милиджоулей, что позволяет использовать их в прецизионной обработке материалов, где требуется высокая степень контроля за процессом. В научных исследованиях они находят применение в спектрометрии для анализа материалов и веществ. Таким образом, иттербиевые волоконные лазеры обладают значительным потенциалом для развития новых технологий и улучшения существующих процессов в самых различных областях.

Решение задачи оптимальной компоновки прибора в готовом изделии, является сложной творческой задачей, и в случае с волоконным лазерным усилителем, имеющим несколько ступеней усиления, основывается на обеспечении следующих требований. Самый важный критерий это мининальный радиус кривизны оптического волокна, в нашем случае для оптического волокна hi1060 допустимый радиус кривизны составляет 20 мм, меньшее значение приводит к существенным потерям интенсивности излучения. Доступность всех элементов для их диагностики, возможность ремонта соединеней между волоконными элементами, и их замена при поломке или невозможности починки. Основываясь на перечисленных выше факторах, была предложена оптимальная компановка усилителя фемтосекундного лазера (рис. 1).

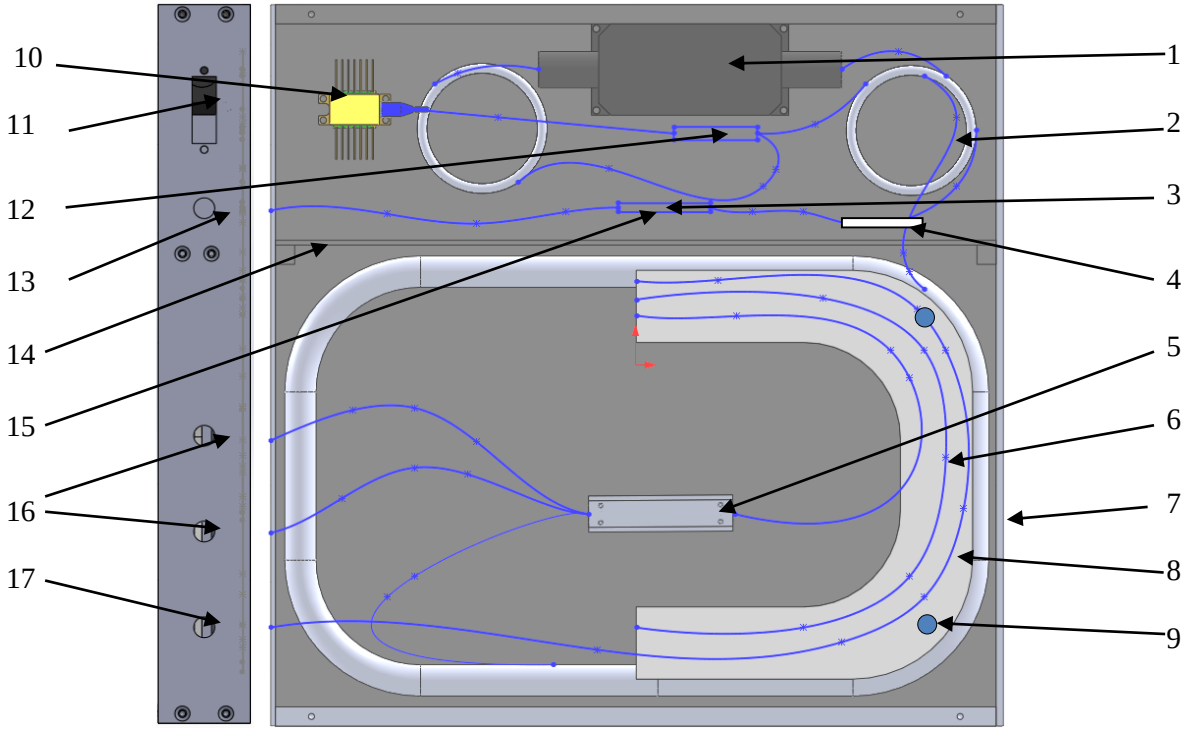


Рис. 1. Вариант компановки усилителя фемтосекундного лазера: *1* – SM 1030 изолятор рассчитанный на 5Вт; *2* – активное волокно (SM-YSF-LO-HP) первой ступени усилителя; *3* – SM 1030 изолятор рассчитанный на 500 мВт; *4* – КДЗС (комплект для защиты сварного соединения оптоволокна); *5* – объединитель накачки (2+1)×1; *6* – аллюминиевая пластина используемая как теплоотвод для активного волокна; *7* – корпус усилителя; *8* – активное волокно усилителя(Yb 1200-10/125DC); *9* – столбик для крепления пластины *6*; *10* – диод накачки предусилителя 975 нм; *11* – разъем для питания лазерного диод; *12* – спектральный уплотнитель 2×1(WDM 975/1030); *13* – ввод затравочного излучения в предусилитель; *14* – перегородка разделяющая отсеки; *15* – зажим для компонентов; *16* – ввод накачки в усилитель; *17* – вывод усиленного излучения

Корпус усилителя выполнен из анодированного аллюминия и разделен перемычкой на две зоны для размещения оптического волоконного кабеля с серцевиной *6* и *10* микрометров, это позволяет получить доступ к разным ступеням усилителя с возможностью их полного извлечения и монтажа независимо друг относительно друга. Лазерный диод *3*, изолятор *5* и диод накачки предусилителя 975 нм *10* монтируются винтами через резьбовые отверстия на дне бокса. КДЗС *4* используемые для укрепления места сварки оптического волокна с серцевиной *6* микрометров, спектральный уплотнитель *12* и изолятор 500 мВт *3* крепятся после установки привинчиваемых элементов при помощи зажимов *15*, которые приклеиваются к дну. Теплоотвод для активного волокна осуществляется через пластину *6* выполненую из алюмминиевого сплава, которая крепится на столбики *9*.

Окончательный вариант компановки усилителя позволил достигнуть габаритных размеров устройства не более 300×300×40 мм. В корпусе имеются 3–4 независимых отсека для удобства технического обслуживания, а также проведения юстировочных, плановых ремонтных и пусконаладочных работ.

УДК 621.384.3

БЛОК ТЕЛЕВИЗИОННО-ДАЛЬНОМЕРНЫЙ

Студент гр.11311121 Щелкун А. С.[1], Месько И. С.[2]
Кандидат техн. наук Кузнечик В. О.[1]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]ОАО «Пеленг», Минск, Беларусь

Цель работы заключается в разработке оптико-электронной системы «смотрящего» типа для непрерывного и всепогодного наблюдения за объектами.

Данный прибор предназначен для обнаружения и распознавания целей с помощью телевизионного канала и измерения дальности до объекта наблюдения с помощью лазерного дальномера. В состав прибора входят: телевизионный канал, передающий канал лазерного дальномера, приемный канал лазерного дальномера, блок смены фильтров. Упрощенная оптическая схема прибора представлена на рис. 1.

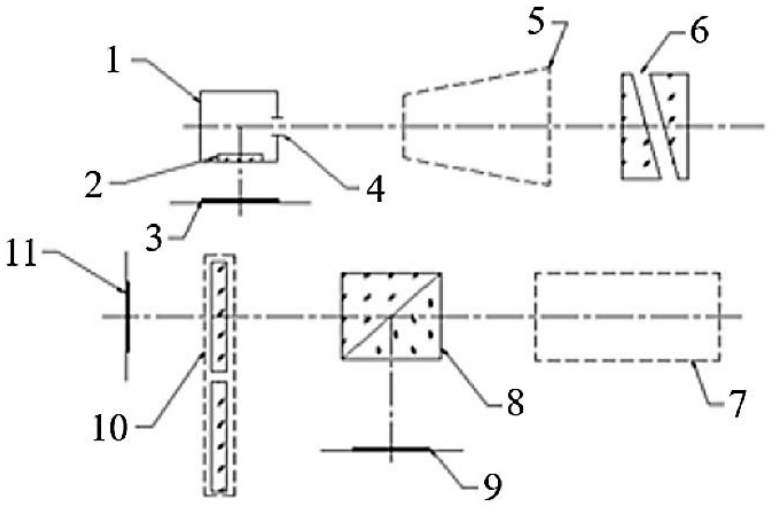


Рис. 1. Упрощенная оптическая схема ОЭС: *1* – источник лазерного излучения; *2* – ослабитель; *3* – ФПУ старт-импульса; *4* – выходное окно излучателя; *5* – телескоп; *6* – оптический компенсатор; *7* – объектив; *8* – спектроделительный блок; *9* – ФПУ приемного канала ЛД; *10* – блок светофильтров; *11* – матрица ТВ канала

Источник лазерного излучения (*1*) служит для создания требуемой мощности импульса. Часть излучения отводится на ФПУ старт-импульса (*3*) для начала отсчета времени измерения. Между источником лазерного излучения и ФПУ старт-импульса ставится ослабитель (*2*) для регулировки стартового сигнала.

Вторая часть излучения, проходя через выходное окно излучателя (*4*), попадает в телескоп (*5*), который служит для уменьшения угла расходимости на выходе из телескопа. После телескопа размещен клиновый компенсатор (*6*), который регулирует угловое положение оси лазерного излучения относительно ТВ канала, который совмещен с приемным каналом дальномера для уменьшения общих габаритов ОЭС. Попадая в объектив ТВ канала (*7*), излучение проходит через спектроделительный блок (*8*), который отводит лазерное излучение на ФПУ приемного канала дальномера (*9*), а остальное излучение проходит дальше на матрицу ТВ канала (*11*), перед которой установлен блок светофильтров (*10*).

Литература

1. Шипунов, А. Г. Дальность действия, всесуточность и всепогодность телевизионных и тепловизионных приборов наблюдения. – М.: Машиностроение, 2011. – 218 с.

УДК 621.396.621(621.93)

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИСИСТЕМНОГО ИНЕРЦИАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА СИГНАЛОВ

Магистрантка Якубович Т. С.[1,2], кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.[1,2],
начальник отдела Луговик А. Ю.[1], начальник сектора Ковальчук Е. Н.[1]
[1]ООО «НавиИС», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном мире навигационные системы играют ключевую роль во многих областях, от авиации до сельского хозяйства. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является разработка мультисистемного инерциального спутникового блока, который обеспечивает высокоточное и надежное определение местоположения, ориентации и движения объекта [1].

Современные мультисистемные инерциальные спутниковые навигационные блоки используют сложные алгоритмы обработки сигналов в том числе, алгоритмы обнаружения и декодирования сигналов, фильтрация шумов, алгоритмы интегрирования, алгоритмы обнаружения и исключения неисправностей, обработка с использованием искусственного интеллекта. Данные алгоритмы дают возможность определить с высокой точностью, как координаты размещения самих антенн, так и измерять углы курса, тангажа и крена. Это открывает новые возможности для повышения эффективности и безопасности многих процессов.

Одной из проблем точного определения координат объекта в городских условиях является плотная застройка, включающая большое количество высотных зданий и сооружений, экранирующая сигналы ГНСС и препятствующие устойчивому их приему. Одним из возможных путей ее решения является комбинирование сигналов ГНСС от нескольких систем: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou и в нескольких диапазонах L1, L2, L5 и S. На рисунке 1 представлена функциональная схема одного из четырех каналов, а именно GPS, работающего в диапазоне L1 (1575,42 МГц) [2].

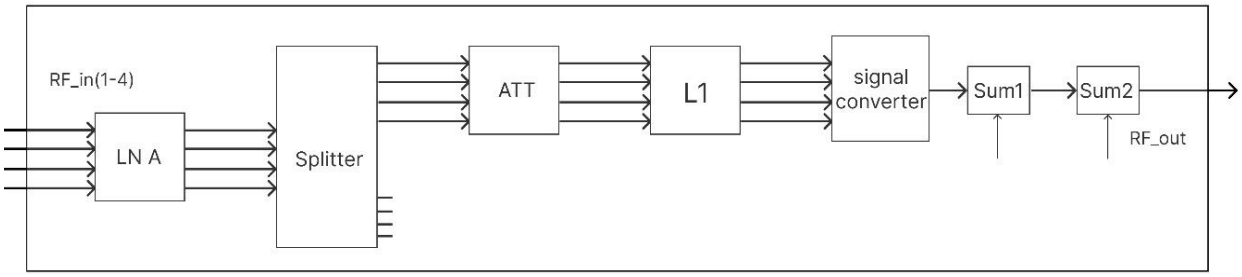


Рис. 1. Функциональная схема GPS приемника сигналов ГНСС для одного входа

Принимаемый сигнал RF_in (от каждого из четырех диапазонов) усиливается LN A до уровня, достаточного для функционирования приемника. Сплиттер разделяет усиленный сигнал на несколько ветвей в случае, если один канал выйдет из строя или столкнется с помехами, остальные каналы могут продолжить работать, обеспечивая отказоустойчивость. Аттенюатор (ATT) выравнивает уровни сигнала для оптимизации динамического диапазона (L1, L2, L5, S) последующих

каскадов. Блок преобразователя сигнала (signal converter), выполняет аналого-цифровое преобразование, защищает от помех, а затем преобразует сигнал из цифровой в аналоговую форму. Сумматор (Sum1) суммирует сигналы от разных ветвей (в диапазонах L1 и L2, L5 и S). Далее сумматор (Sum2) объединяет все обработанные сигналы, формируя выходной сигнал RF_out.

Область практического применения рассматриваемого мультисистемного инерциального спутникового приемника: беспилотные автотранспортные средства, космические аппараты, судоходство, сельское хозяйство и т. д.

Литература

1. Типы навигационных систем и их применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unavlab.com/o-nas/articles/tipyi-navigatsionnyih-sistem/. – Дата доступа: 25.02.2025.

2. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration / Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews// John Wiley & Sons. – Vol. 1, no. 1. – 2006. – P.18–23.

УДК 629.78

ОБЪЕКТИВ СИМУЛЯТОРА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Студент гр. 11311121 Яскевич А. Ю.
Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Датчиком звездным (ДЗ) называется оптико-электронный прибор в составе космического аппарата, предназначенный для определения его текущей ориентации в космическом пространстве, по звездам, видимым в поле зрения ДЗ, с целью обеспечения координатной привязки снимков полученных методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), на основе которых в составляют цифровые топографические карты. Так как ДЗ предназначены для функционирования в условиях космоса, то возникает задача проведения предварительных испытаний данного типа приборов на Земле.

Лабораторные испытания, как правило, проводятся с помощью специальных испытательных стендов (стендовые испытания) при воздействии факторов, имитирующих естественные условия работы прибора.

Испытания ДЗ проводятся на стенде, в состав которого входят: монитор, подключенный к компьютеру со звездными каталогами, симулятор звездного неба (СЗН), оптический стол, посадочное место для ДЗ [1, 2].

СЗН (рис. 1) предназначен для формирования искусственного коллимированного изображения тест-объекта, имитирующего различные участки звездного неба перед объективом ДЗ для проверки работоспособности оптической, электронной и алгоритмической частей ДЗ с целью определения их работоспособности, правильности функционирования и диагностики неисправностей во время изготовления и при проведении испытаний на предприятии-изготовителе.



Рис. 1. 3D-модель объектива симулятора звездного неба

Высококачественные объективы СЗН играют центральную роль в обеспечении точности и эффективности работы всего СЗН. Они должны обладать превосходным качеством для минимизации остаточных аберраций и обеспечения точного воспроизведения изображения звездного неба. Ключевые параметры этих объективов включают фокусное расстояние, размер апертуры, угол обзора, светосилу, коэффициент увеличения, модуляционную передаточную функцию, разрешающую способность и спектральный диапазон.

При конструировании, и в дальнейшем использовании, объективов СЗН наиболее сложным является ограниченное пространство внутри бленды звездного датчика, куда при испытаниях устанавливается объектив.

Литература

1. Козерук, А. С. Технология оптического приборостроения: учебное пособие для / А. С. Козерук. – Минск: БНТУ, 2016. – 504 с.

2. Горелко, М. Г. Испытание систем ориентации и стабилизации космических аппаратов с применением имитаторов звездного неба / М. Г. Горелко, А. В. Мурыгин // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2022. Т. 23. – № 4. – С. 688–695.

СЕКЦИЯ 5. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

УДК 681

DETECTING EMAIL SPAM OR HAM USING LOGISTIC REGRESSION AND STREMLIT DEPOLYMENT

Pramod S. Aswale[1], Prof Dipak P. Patil [2]
[1]Research Scholar, Sandip Instiute of Engineering and Technology, Nashik, India
[2]Sandip Instiute of Engineering and Management, Nashik, India

Introduction:

Email communication is integral to modern digital interactions, but it is increasingly plagued by spam messages that waste time, reduce productivity, and pose security risks. Spam filters are vital for distinguishing between spam and legitimate (ham) emails.

Machine learning (ML) offers automated, scalable solutions to this problem. The usefulness of «logistic regression», a popular supervised machine learning algorithm, for spam detection is investigated in this work.

This study has three goals in mind:

– To use exploratory data analysis in order to comprehend and visualise the dataset.

– To build and evaluate a logistic regression model for spam classification.

– To deploy the model using Streamlit for real-world usability.

Dataset Description.

The dataset, sourced from Kaggle, contains thousands of labeled emails. Each email is classified as either spam or ham, with features such as email content, metadata, and sender information.

Dataset Characteristics:

– Total Records: 5,572 emails.

– Features: «Text» (email content), «Label» (spam or ham).

To ensure a reliable model evaluation, the dataset was divided into training (80 %) and testing (20 %) subsets. Tokenisation, stop-word removal, and TF-IDF («Term Frequency-Inverse Document Frequency») feature extraction were among the text preparation methods used.

Methodology.

Data Preprocessing.

Spam emails a menudo contian noise tales como HTML tags, punctuations charácteres especiales.processing involves:

– Converting text to lowercase.

– Removing HTML tags and non-alphanumeric characters.

– Tokenizing and stemming.

– Extracting features using TF-IDF to convert textual data into numerical vectors for model training.

Model Training.

Because of its ease of use and efficiency in binary classification tasks, logistic regression was chosen. The preprocessed training dataset was used to train the model. Grid search was used for hyperparameter optimization in order to maximize performance.

Deployment.

The trained model was integrated into a Streamlit application, providing users with an intuitive interface for email classification. Users can input email text into the app and instantly receive predictions indicating whether the email is spam or ham.

Exploratory Data Analysis (EDA).

Visualizations were employed to gain insights into the dataset:

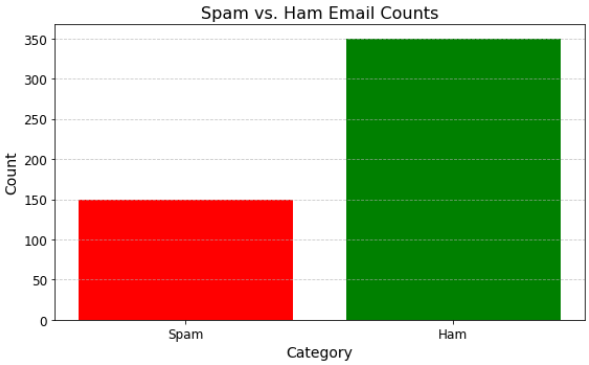


Fig. 1. The frequency of key terms indicative of spam, such as «free,» «win,» and «money.»

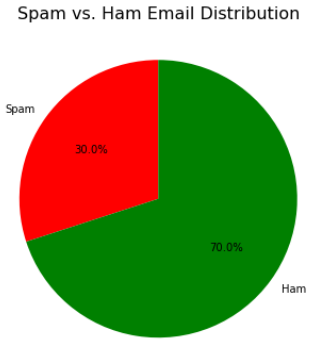


Fig. 2. Distribution of Spam versus Ham Emails

Results and Discussion.

EDA Insights.

The Fig. 2 revealed a clear imbalance between spam and ham emails, emphasizing the importance of addressing class imbalance during model training. Key terms identified in bar plots provided insight into patterns that distinguish spam emails.

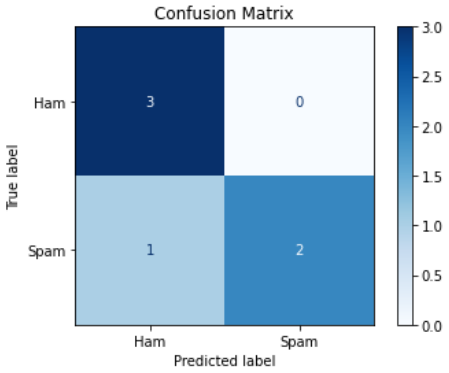


Fig. 3. Confusion Matrix :Evaluate model Performance

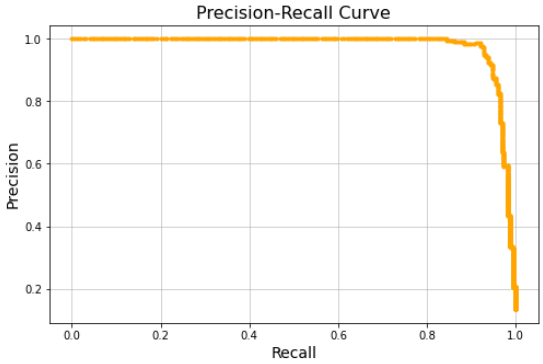


Fig. 4. Performance Evaluation using ROC curve

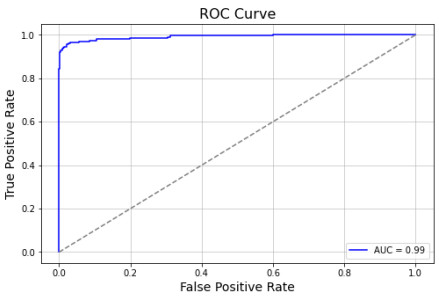


Fig. 5. Performance Evaluation using ROC curve

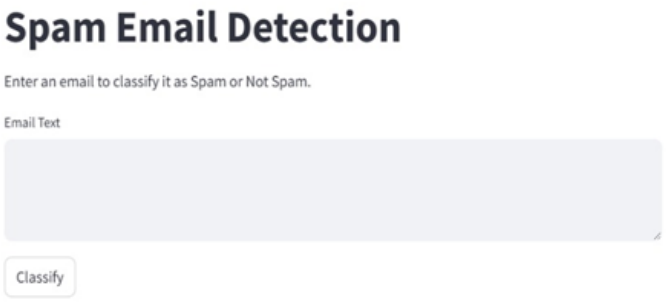


Fig. 6. Deployment Screen Showcasing Funtionality

Model Performance.

The logistic regression model achieved the following metrics on the test dataset:

– Accuracy: 98 %;

– Precision: 94 %;

– Recall: 92 %;

– F1 Score: 93 %.

The confusion matrix revealed minimal false positives and false negatives, demonstrating the model's reliability.

Deployment Results. The Streamlit application performed well in real-world scenarios, offering immediate and accurate predictions. The interactive interface allowed users to experiment with different email inputs and understand the model's behavior.

Conclusion. This study demonstrates how well logistic regression works to detect email spam. Performance measurements and visualizations highlight the model's resilience. Real-time email classification is made possible by the Streamlit application, which increases usefulness. Even while logistic regression worked well, more sophisticated machine learning models like random forests or deep learning might be investigated in future studies to further improve accuracy.

Future Work.

Future studies could address the following areas:

– Investigating ensemble learning methods to improve predictive performance.

– Handling class imbalance through techniques such as SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique).

– Incorporating real-time data to update the model continuously.

– Extending the application to classify emails based on additional criteria, such as urgency or sentiment.

References

1. Kaggle. Email Spam Detection Dataset. – Access mode: https://www.kaggle.com/datasets/jackksoncsie/spam-email-dataset/. – Date of access: 05.03.2025.

2. Fabian P. Scikit-learn: Machine learning in Python // Journal of machine learning research 12. – 2011. – P. 2825.

3. Mining W. I. D. Data mining: Concepts and techniques // Morgan Kaufinann. – 2006. – Vol. 10. – №. 559–569. – P. 4.

4. Tusher E. H. et al. Email spam: A comprehensive review of optimize detection methods, challenges, and open research problems // IEEE Access. – 2024.

5. A comprehensive survey for intelligent spam email detection / A. Karim [et al.] // Ieee Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 168261–168295.

УДК 681

DEVELOPMENT OF AI BASED AC MOTOR FAULTY PREDICTION SYSTEM

Student, Master of Technology Degree in Industrial Automation Mutsvangwa T.
Lecturer, Eng. Makusha D. T.
Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

Maintenance of motors is very important in the manufacturing and mining industries. These faults can cause financial losses and time losses during production This article is going to review methods that have been used detect and predict AC motor faults prior to maintenance. It looks at nature, type and cause of faults in AC motors and then the methods used to predict this faults using AI and deep machine learning. The structure and main components of an AC motor are going to be described independently and their purpose is going to be stated too, these components are rotor, stator, bearing, fan blade, wiring cover, end bell, motor frame and fan blade.

This develpment is going to name and classify types of faults experienced by AC motors and what current systems are being used to solve these faults. The motor faults are classified into two types which are Electrical faults and Mechanical faults. Electrical faults includes sub classes of faults namely stator faults and rotor faults. Mechanical faults which includes bearing faults and eccentricity related faults. The four types of faults we implemented to determine the state of the motor are overload, open circuit fault, closed circuit fault and broken rotor bars. In the article a thourough study of the types of sensor to detect each type parameter caused by the fault is going to be shown.

This work is going to demonstrate how to detect these faults because most of these faults are really progressive faults which continue to occur on different random occasions. This article demonstrates how the system is to collect and classify data about each type of faults. The data base is then used to train AI algorithms such as Support Vector Machines, Artificial Neural Network, Machine learning and Fuzzy Logic. This data consists of stator currents, input power, slip, rotor speed, rotor currents and efficiency. After the training the system will be able to predict the possible fault to be experienced by the motor, and also provide the predicted date and time the fault is probably to happen.

The signal processing techniques are also described in this article. The article also outlines the types signal processing methods that we used when collecting parameters which are essential for error detection. The signal technique we used to monitor the wellness of the motor is the FFT (Fast fourier transform). The generated data set can be used to train other machine learning models. It also shows how IOT can be possibly be merged with AI so that responsible personnel can also get information about faulty machinery in remote places to give awareness and time that a faulty will probably occur. This can be used to enhance the efficiency of the system. This study contributes accuracy and reliability to maintance engineering using AI.

УДК 004.8

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE SIXTH INFORMATION REVOLUTION

Master's student group 51313124 Zehao Wang
PhD, associate prof. Gatskevich E. I.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

In the development of human civilization, the way of information dissemination and processing has always been the key force to promote social progress. From the emergence of language to the invention of writing, from the rise of printing to the wide application of modern communication technologies, each information revolution has greatly changed human life style, production mode and social structure.

The advent of Artificial Intelligence (AI) is widely regarded as a critical catalyst for the sixth information revolution. AI is widely used to change people's lives, for example, in medicine, education, physical fitness, modes of transportation and living efficiency. This paper is devoted to discussion of the Sixth Information Revolution and its connection to AI. We also regard the application of AI in sports and education and AI prospects for the future.

In the era of AI, although conventional sports training methods have a certain degree of scientificity, AI can help to make sports training decisions from the multidisciplinary perspectives of human sports science, sports competition and formulate scientific sports training plans [1]. This will be the advantage of AI, artificial intelligence can not only make a reasonable training plan according to the athletes' daily sports status, but also more accurately and clearly present the plan and the video analysis of training implementation. These are difficult for the coach or one or two people in the team to complete. Using AI will greatly improve the efficiency of the work and the cost of the staff, because the calculation of the human brain may miss some important information.

Furthermore, AI has become a transformative force in education, revolutionizing the way students learn and educators teach. One of the most significant applications of AI in education is personalized learning. Platforms like «Duolingo» use AI to adapt language lessons based on individual performance and learning styles, resulting in a 30 % increase in learner retention [2]. At the same time, AI also has an impact on the education process in terms of personalized learning experience, intelligent assistance and feedback, enhanced classroom interaction, virtual teachers and chatbots, which will greatly increase students' interest and efficiency in learning. The sixth information revolution is profoundly changing our world, bringing us unprecedented opportunities and challenges.

The sixth information revolution is profoundly changing our world, bringing us unprecedented opportunities and challenges. The sixth information revolution is profoundly changing our world, bringing us unprecedented opportunities and challenges. In the future development, we need to give full play to the advantages of technology to promote comprehensive economic, social and cultural progress. At the same time, we also need to proactively address challenges and ensure that technology develops in line with human interests and values. Only in this way we can achieve sustainable development in the 'smart age' and create a better future.

References

1. Research on the Application of Artificial Intelligence Technology in Physical Training [Electronic resource]. – Access mode: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9457457. – Date of visit: 27.02.2025.

2. Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education / I. Roll, R. Wylie [Electronic resources]. – Access mode: https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-016-0110-3. – Date of visit: 27.02.2025.

УДК 51-77

MATHEMATICAL MODELS IN SAILING RACING

Student of gr. 51313124 Zhou Meina
Phd., associate professor Hundzina M.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Mathematical ideas and methods have become increasingly used in sports. The number of sports, directions and methods, and the number of researchers using these methods in their scientific and applied work, is rapidly increasing year by year.

The mathematical approach is used to describe the physiological and biochemical processes occurring in the athlete's body, to study the biomechanics of movements and to analyze sports equipment. Models of adaptation to extreme physical exertion, planning and optimizing physical activity in the process of achieving athletic fitness are particularly interesting.

The use of mathematical models makes it possible to minimize the coaching practice of trial and error and makes it possible to conduct experiments not on the athlete himself, but on his mathematical model, calculating the most acceptable training and recovery modes. At the same time, athletic performance naturally increases, and the risk of overtraining and sports injuries decreases. This solves the problem of maintaining the athlete's health and athletic longevity.

During the operation of a sailing yacht, hydro-meteorological conditions apply to it, which can create a danger to navigation and significantly increase the duration of the route. To achieve a safe and shortest route in terms of time, the crew must take into account navigational obstacles in the form of the mainland, islands and other objects, as well as hydrometeorological features of the navigation area: wind, waves and currents.

– Systematic training makes it possible to comprehensively improve the athlete's physical fitness and improve his sailing management skills. An important issue is the development of tactical skills and psychological qualities of athletes, which allows them to perform at their best and achieve excellent results in competitions. In the meantime, it is also necessary to focus on fostering a spirit of teamwork among athletes and their love of sailing in order to preserve talents for the long-term development of sailing.

– The content of the training sessions.

– Assessment and adjustment of training sessions.

We can determine the distance between two points of the route on our own, but choosing the shortest route may not be optimal in terms of time and safety of navigation, since currents and waves can increase the time spent on completing the distance, as well as affect course deviations from the set route. Choosing the optimal route of a vessel using modern technologies is possible using methods based on the Dijkstra algorithm for choosing the optimal route.

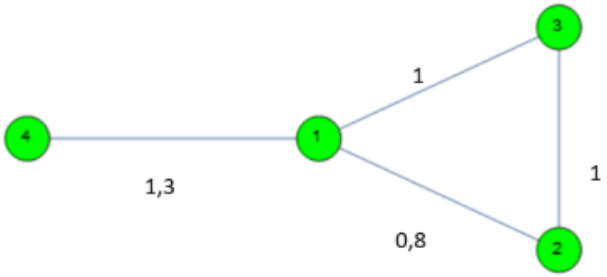


Fig. 1. Graph of the path taking into account the wind forecast

This algorithm was developed by the Dutch scientist Edgger Dijkstra, which is why it got its name. Dijkstra's algorithm finds the shortest paths from a given vertex to all others. Using this algorithm, in practice, we can find out how to get from city A to city B faster on the road. This means that this algorithm is quite widespread, including in GPS navigation.

УДК 681

INTELLIGENT TRANSMISSION LINE INSPECTION YOLO ALGORITHM HELPS IMPROVE THE EFFICIENCY OF DEFECT DETECTION

Graduate student Zhu Y.
PhD, docent Saukova Y.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

In the power system due to factors such as natural environment, mechanical damage, material aging, design and construction. Abnormal situations that result in line equipment not meeting design requirements, operating standards, or expected functions call it a defect. These defects may affect the normal operation, functional implementation, or safety performance of transmission lines. It may even lead to power outages or equipment damage. This article establishes a dataset of defects in transmission lines and classifies them, identify defects through intelligent algorithms effectively improve the efficiency and reliability of transmission line inspections, ensuring the safe and stable operation of the power system [1–4].

An example of defects in the power system is shown in Fig. 1.

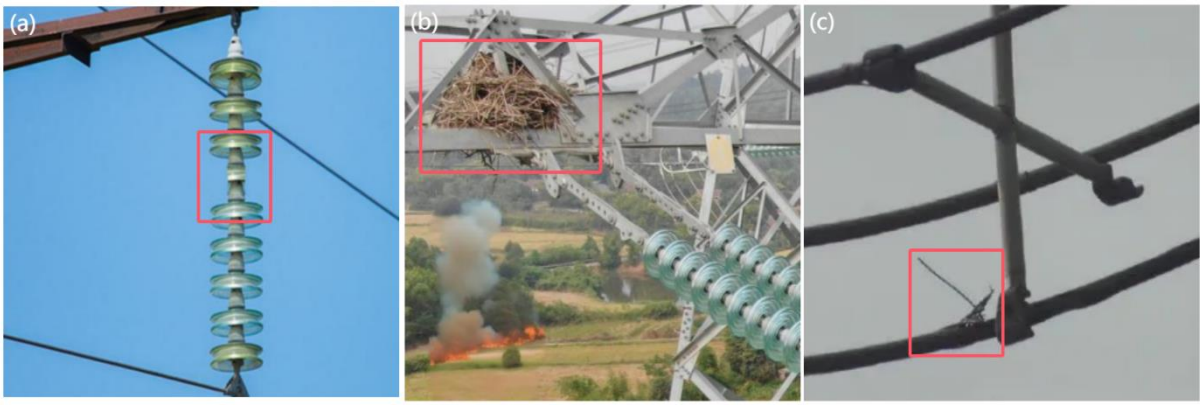


Fig. 1. Defect Example: *a* – missing insulators; *b* – bird's nest; *c* – cable breakage

This article adopts the YOLO algorithm in defect detection and recognition. Its single-stage detection architecture, end-to-end training approach, and balanced design of speed and accuracy. Enable it to perform stably and excellently in real-time applications.

Defect detection of transmission lines is a complex task. Due to the distribution of transmission lines in various complex natural environments, they are affected by factors such as weather and lighting. With the continuous development of deep learning technology and robotics technology. The inspection of transmission lines will become more intelligent, accurate, and automated.

References

1. Hussain M. Yolov1 to v8: Unveiling each variant–a comprehensive review of yolo // IEEE access. – 2024. – Vol. 12. – P. 42816–42833.

2. Research on Defect Recognition of Power Patrol Images Based on YOLOv5 / PANG Bo [et al.] // Sichuan Electric Power Technology. – 2022. – № 45(5). – P. 48–53.

3. UAV power grid inspection defect detection based on deep learning / Luo X. [et al.] // Power System Protection and Control. – 2022. – Vol. 50. – №. 10. – P. 132–139.

4. Zhou W. Review of overhead line defect inspection based on deep learning and UAV images / Zhou Wenqing, Liu Gang // Electric Power Engineering Technology. – 2024. – № 43(2). – P. 73–82.

УДК 531

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ СИЛ

Студент гр. 10305224 Абраменко А. Д.
Кандидат. физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Нелинейные колебания струн являются универсальным физическим явлением, встречающимся во многих областях, от музыкальных инструментов до инженерных конструкций [1]. В данной работе рассматривается модель струны, представляющая собой тонкий, упругий стержень, закрепленный на концах и способный совершать поперечные колебания под действием внешних сил. Нелинейное уравнение колебаний струны можно записать в следующем виде:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + F(x; t; \frac{\partial u}{\partial x}; \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}); \quad (1)$$

где $u(x,t)$ – поперечное отклонение точки струны с координатой x в момент времени t, ρ – линейная плотность струны, T – натяжение струны, $F(x, t, u, \partial u/\partial x, \partial^2 u/\partial x^2, ...)$ – нелинейная функция, описывающая внешнюю силу, которая может зависеть от координаты, времени, отклонения струны и его производных. Например, она может описывать гармоническую силу: $F(x,t) = F_0(u)sin(wt)$; силу трения: $F(x,t) = -\alpha(\partial u/\partial t)$; случайную силу: $F(x,t) = \psi(t)$ и т. д. Граничные условия на концах струны: $u(x = 0, t) = u(x = L, t) = 0$. Начальные условия: $u(x,t = 0) = \phi(x)$; $\frac{\partial u}{\partial t}(x, t = 0) = 0$.

Для решения нелинейного уравнения колебаний струны применяются различные численные методы. Выбор конкретного метода зависит от характера нелинейности, требуемой точности и вычислительных ресурсов. В данной работе применялся метод конечных разностей.

Суть метода – замена производных в дифференциальном уравнении конечными разностями: $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \approx (u(x, t + \Delta t) - 2u(x, t) + u(x, t - \Delta t)/\Delta t^2$; и $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \approx (u(x + \Delta x, t) - 2u(x, t) + u(x - \Delta x, t)/\Delta x^2$. Подставляя аппроксимации производных в исходное уравнение, получили разностное уравнение: $\rho(u(i, n+1) - 2u(i, n) + u(i, n - 1)) / \tau^2 = T(u(i + 1, n) - 2u(i, n) + u(i–1, n)) / h^2 + F(i, n, u, ...)$, где $u(i, n)$ – приближенное значение функции $u(x, t)$ в узле сетки с координатами ($x = i$, $t = n$), а $F(i, n, u, ...)$ – значение нелинейной функции в соответствующей точке, τ – шаг по времени, h – шаг по пространству.

Для реализации численного метода написана программа на языке программирования Python. Программа включат в себя следующие этапы: построение сетки, составление и решение системы уравнений, визуализацию результатов.

На рисунке 1 приведены некоторые результаты расчетов при отсутствии нелинейности *а*, и при наличии гармонической силы *б* для одинаковых моментов времени.

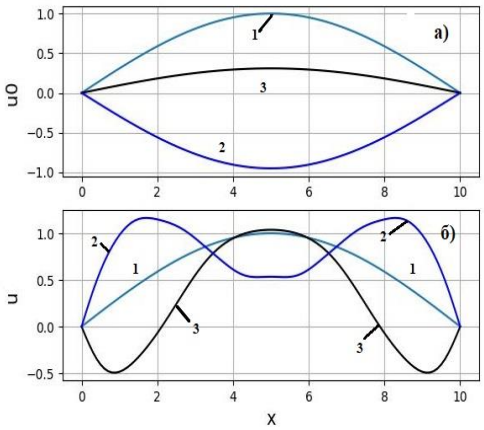


Рис. 1. Результаты расчетов при отсутствии нелинейности (*а*) и при наличии гармонической силы (*б*) для одинаковых моментов времени

Видны существенные различия. Классическая линейная теория колебаний, хотя и дает хорошее описание многих явлений, оказывается недостаточной для описания сложных динамических процессов, возникающих при воздействии нелинейных сил и больших амплитудах колебаний. Также существуют другие виды нелинейности, связанные с геометрическими и физическими свойствами материалов.

Литература

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин. – 5-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – Т. 3: Электричество. – 656 с.

УДК 611.08

ПРИМЕНЕНИЕ НИТИНОЛА ДЛЯ ИМПЛАНТАТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТЕЗОВ

Студент гр. 11312123 Борбат М. С.
Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Никелид титана, или же «нитинол», представляет собой интерметаллид – химическое соединение двух металлов, титана и никеля, в процентном соотношении 45 % и 55 % соответственно. Такое соединение NiTi выступает весьма востребованным в космической промышленности для термомеханических элементов аэрокосмической техники, а также в медицинской области в качестве материала для изготовления специализированного оборудования: имплантатов, инструментов, элементов протезов.

Подобной уникальностью нитинол обладает благодаря свойству «памяти формы», заключающемуся в том, что при закалке взаимное расположение атомов упорядочивается, и это приводит к запоминанию конфигурации образца. Если деталь сложной формы подвергнуть нагреву до красного каления, то она запомнит эту структуру. После остывания до комнатной температуры образец можно деформировать, но при нагреве выше 40 °С он восстановит первоначальную форму. Такое поведение связано с тем, что этот материал является интерметаллидом, а не классическим сплавом, и свойства исходных материалов (Ni, Ti) в нем практически не выражены [1].

Преимущество применения нитинола в медицине в качестве материала для изготовления имплантатов и элементов протезов обуславливается сочетанием вышеописанного свойства памяти формы и способностью к высокой коррозионной стойкости в биологических жидкостях человеческого организма, а также с особенностями сверхупругого механического поведения никелида титана, сходного с механическим поведением костной ткани [2].

При проектировании и создании имплантатов разрабатывается математическая модель, позволяющая описать механическое, в частности динамическое, поведение системы, используя метод конечных элементов путем решения дифференциальных уравнений в частных производных и уравнений Лагранжа второго рода (1).

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial y}{\partial q_i} = Q_i^n. \quad (1)$$

Так, например, нитинол применяется при изготовлении и внедрении динамических фиксаторов в хирургии позвоночника (рис. 1), что позволило расширить показания к хирургическому лечению больных с патологическими переломами позвонков на фоне общего остеопороза.

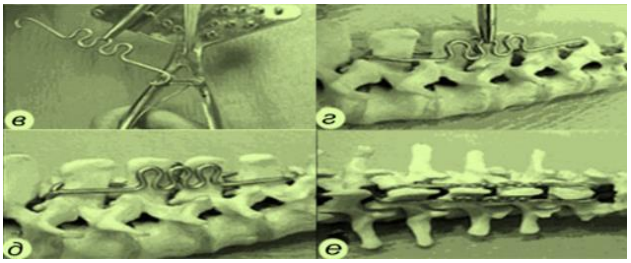


Рис. 1. Конструкции фиксатора из нитинола [3]

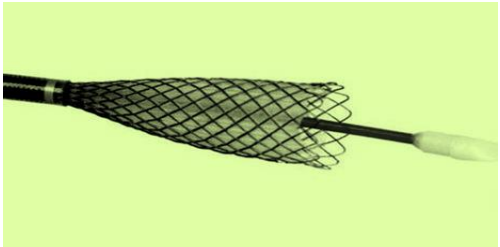


Рис. 2. Нитиноловый билиарный стент [4]

Динамические фиксаторы из нитинола повышают анатомо-функциональные результаты лечения, сокращают сроки медицинской реабилитации [3]. Никелид титана широко применяется в области операций стентирования сосудов (рис. 2), выступая в качестве материала для изготовления стентов и стент-графтов [4], что делает их более гибкими в сравнении со стентами из сплавов кобальта.

Литература

1. Nickel titanium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_titanium – Дата доступа: 25.02.2025.

2 Создание стентов из нитинола [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://radiology-diagnos.ru/articles/2016-1-09. – Дата доступа: 25.02.2025.

3. Применение биологически и механически совместимых имплантатов из нитинола для хирургического лечения повреждений и заболеваний позвоночника и спинного мозга / Е. А. Давыдов [и др] // Гений ортопедии. – 2010. – №. 1. – С. 5–11.

4. Билиарный стент Nitinella Plus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.medicalexpo.ru/prod/ella-cs/product-78568-489968.html. – Дата доступа: 25.02.2025.

УДК 681.5

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ В ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ ВИБРО- И ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Студент гр. 11307124 Войтеховский А. А.
Кандидат техн. наук, доцент Реутская О. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Методы технической диагностики являются необходимыми этапами проектирования и разработки датчиков разного уровня сложности. Общая проблема для них складывается из достижения оценки распознавания истинного состояния объекта и классификации этого состояния. Это приводит к возможному пропуску неисправности, вероятности ложного сигнала о наличии неисправности. Следственно совершенствование методов диагностирования теоретическим путем является один из перспективных решений поставленной задачи.

Вибрационная диагностика - метод исследования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, обусловленной структурой исследуемого объекта. При вибрационной диагностике, исследуются временной сигнал или спектр вибрации того или иного оборудования. Метод диагностического анализа характеристик тензо- и виброметрических сигналов технического происхождения по бинарным векторам полученных дискретными вейвлетами позволит устранить основные недостатки и повысить операционную эффективность технических систем на основе мониторинга в режиме реального времени.

Основные и значимые недостатки стационарных дискретных вейвлет-преобразований заключаются в следующем: не происходит полное восстановление сигнала с применением интерполлированных фильтров, значительно увеличивается промежуток временной неопределенности фильтра. Это приводит к «искажению» в полосе пропускания указанного фильтра при увеличении и последующих шагах разложения. Использование алгоритма модифицированного стационарного дискретного вейвлет-преобразования позволяет улучшить результаты обработки сигналов тензометрических датчиков [1].

В качестве вейвлет-функций применяют различные вещественные непрерывные функции вещественных аргументов такие как вейвлеты Добеши, Гауссовы вейвлеты, MHat-вейвлеты, комплекснозначные функции вещественных аргументов (вейвлеты Морле и Пауля), а также вещественные дискретные функции (ХААРТ- и FHat-вейвлеты). Цифровая реализация дискретных отсчетов вейвлетов с последующей визуализацией результатов в виде скейлотонов в этом случае является математической основой алгоритма обработки вибросигналов. Если рассмотерть структурно-функциональную схему многоканальной системы интеллектного вейвлет-анализа вибрационных сигналов в машинах, то для исследования вибросигналов следует формировать совокупность фактографических параметров при расчете скейлотонов по вейвлет-функциям. На примере экспериментальной реализации метода вейвлет-преобразования параметров вибрационных

сигналов можно представить результаты расчета скейлотонов при использовании MHat-вейвлета и DOG-вейвлета [2].

При представлении исследуемого сигнала бинарными векторами появляется возможнсть повышения его эффективности и более достоверной диагностики уровня надежности деталей системы. С идентификацией расположения единиц в бинарном векторе упрощается обработка получаемых сигналов, применяемых для диагностики.

Однозначное представление сигналов можно осуществить с использованием вейвлет-анализа. Дискретный вейвлет дает возможность записывать сигнал в виде ряда по дельта функциям. Как правило, коэффициенты представления при дельта-функциях различны. По заданному определенному условию подбирается дельта-функция и ее параметры. Каждая дельта-функция с коэффициентом n может быть представлена как сумма n единичных дельта-функций. Результатом такого представления является электрический сигнал в виде бинарного вектора.

Литература

1. Алексеев, В. В. Стационарное дискретное вейвлет-преобразование. Вопросы применения в задачах фильтрации / В. В. Алексеев, Е. Ю. Закемовская // ИЗВЕСТИЯ СПБГЭТУ ЛЭТИ. – 2017. – №6. – С. 62–68.

2. Гулай, А.В. Интеллектная технология вейвлет-анализа вибрационных сигналов / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // Доклады БГУИР. – 2019. – № 7, 8 (126). – С. 101–108.

УДК 004.771

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕННОГО РАБОЧЕГО СТОЛА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Студенты гр. 11302124 Грек Л. Д., Комар А. А.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящей работе проведен анализ основных принципов функционирования технологии удаленного рабочего стола в Windows, а также рассмотрено использование данной технологии для организации учебного процесса в школьном классе или студенческой аудитории.

Удаленный рабочий стол представляет собой программно-аппаратное решение, которое позволяет осуществлять удаленный доступ к компьютеру через сеть, обеспечивая полный контроль над его ресурсами и функциями. Для организации удаленного рабочего стола используются различные программные решения, такие как Microsoft Remote Desktop, TeamViewer, AnyDesk и другие. В настоящей работе для тестирования был выбран Microsoft Remote Desktop [1], так как данное приложение интегрировано с операционной системой Windows 10. Авторы работы тестировали данную систему в компьютерных классах в Боровлянской средней школе номер 2.

Для настройки удаленного доступа было выполнены следующие шаги. 1) На компьютере, с которым планировалось подключение, была включена функция удаленного рабочего стола. 2) Была произведена настройка сети (открытие портов и настройка брандмауэра). 3) Создали учетную запись с правами доступа для удаленного пользователя. После завершения настройки подключение осуществлялось через клиент удаленного рабочего стола, который доступен для различных операционных систем, включая Windows, macOS и Linux.

В процессе тестирования были рассмотрены различные возможности использования удаленного рабочего стола в образовательном процессе. Технология позволяет преподавателю демонстрировать учебные материалы, управлять рабочим столом учащегося и проводить интерактивные занятия. При использовании технологии преподаватель может показывать презентации, объяснять сложные концепции и даже выполнять задачи на компьютере студента в режиме реального времени. Удаленный рабочий стол позволяет студентам использовать ресурсоемкие приложения, такие как среды разработки или системы моделирования, через централизованный сервер. Это особенно важно для студентов, которые не имеют мощных компьютеров или лицензионных версий программ. Также технология удаленного рабочего стола используется для проведения лабораторных работ. Студенты могут управлять лабораторным оборудованием и проводить эксперименты в режиме реального времени, даже находясь на значительном расстоянии от лаборатории.

Технология удаленного рабочего стола обладает рядом преимуществ. Во-первых, она обеспечивает гибкость и доступность образовательных ресурсов. Во-вторых, снижает затраты на техническое оснащение, так как студентам не требуется мощное оборудование. В-третьих, позволяет проводить обучение в любом месте и в любое время. Недостатками данной технологии являются высокие требования к скорости интернет-соединения, проблемы с безопасностью данных, а также необходимость обучения пользователей работе с технологией.

Опыт применения технология удаленного рабочего стола, в частности использование Microsoft Remote Desktop, показало, что эта технология является важным инструментом в современном образовательном процессе. Она предоставляет широкие возможности для дистанционного обучения, доступа к специализированным ресурсам, может использоваться контроля знаний учащихся, а также для проведения лабораторных работ. Дальнейшее развитие и внедрение данной технологии может способствовать повышению качества образования и расширению доступности образовательных ресурсов для студентов и школьников.

Литература

1. Remote Desktop [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://itglobal.com/ru-by/company/glossary/remote-desktop/. – Дата доступа: 20.02.2024.

УДК 004.94

ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ СУММИРОВАНИЯ РАСХОДЯЩИХСЯ РЯДОВ (МЕТОДЫ ЧЕЗАРО И ПУАССОНА-АБЕЛЯ)

Студент гр. 11311123 Гурина А. В.
Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Классическое определение суммы ряда предполагает сходимость последовательности частичных сумм к конечному пределу [1]. Однако на практике поставленные задачи сводятся к рядам, которые формально расходятся. По этой причине были разработаны обобщенные методы суммирования, такие как метод Чезаро и метод Пуассона–Абеля. Данные методы представляют собой присвоение числового значения «суммы» расходящемуся ряду. Основная идея в том, чтобы усреднить или преобразовать частичные суммы ряда так, чтобы получить стабильное числовое выражение.

Метод Чезаро (метод средних арифметических). Данный метод часто применяют в теории рядов Фурье при изучении сходимости тригонометрического ряда. Он построен на усреднении частичных сумм ряда. Если функция имеет разрыв, то ее ряд Фурье может не сходиться в данной точке, но усреднение частичных сумм дает возможность получить значение в точке разрыва (теорема Фейера) [2].

Пусть дан числовой ряд $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$. Его частичная сумма равна S_n. Если последовательность (a_n) расходится, то рассматриваем последовательность средних арифметических:

$$C_n = \frac{S_1+S_2+\ldots+S_n}{n} \to \text{A}. \quad (1)$$

При этом значение А называют обобщенной суммой в смысле средних арифметических ряда $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$. Если последовательность (a_n) сходится к числу А, то говорят, что ряд суммируем по Чезаро.

Утверждение. Метод Чезаро линеен и регулярен.

Теорема. Если ряд суммируется по Чезаро, то $\lim\limits_{n\to\infty} \frac{a_n}{n} = 0$.

Преимуществом данного метода является довольно простое вычисление средних арифметических. Этот метод не применим для рядов с сильно колеблющимися членами. Часто данный метод применяют в квантовой механике. Благодаря методу Чезаро можно интерпретировать расходящиеся ряды в теории возмущений.

Метод Пуассона-Абеля (метод степенных рядов). Пусть дан ряд $\sum_{n=0}^{\infty} a_n$.

Рассмотрим степенной ряд $f(x) = \sum_{n=0}^{n} a_n x^n$, где $|x| < 1$. Если этот ряд расходится при $|x|<1$, то существует предел $\lim_{x \to 1-} f(x) = A$. Тогда говорят, что ряд суммируем по методу Пуассона-Абеля, и его сумма равна А.

Утверждение. Метод Пуассона-Абеля линеен и регулярен.

Преимущество метода Пуассона-Абеля в том, что его использование позволяет суммировать большее количество рядов, чем при методе Чезаро, однако недостатком может быть проблематичное нахождение предела, а также этот метод не применим для рядов с сильно колеблющимися членами.

Теорема. Если ряд суммируем по методу Чезаро, то он суммируем и по методу Пуассона-Абеля, но обратное неверно.

В работе решена задача суммирования расходящегося чередующегося ряда с помощью методов Чезаро и Пуассона-Абеля.

Литература

1. Воробьев, Н. Н. Теория рядов / Н. Н. Воробьев. – Москва: Наука, 1979. – 408 с.

2. Числовые ряды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://matan.math.msu.su/media/uploads/2021/01/Lektsii-13.12.2020.pdf. – Дата доступа: 16.02.2025

УДК 62-9–631.34

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС DIALUX EVO ДЛЯ РАСЧЕТА СВЕТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИТОТРОНА

Аспирант Гусенников Е. Н.
Д-р техн. наук, профессор Юран С. И.
Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

В современных фитотронных установках обеспечение оптимального светового режима является одним из ключевых аспектов успешного выращивания растений. Предварительный расчет освещенности позволяет заранее оценить распределение света в камере, определить оптимальное расположение светильников и подобрать их параметры. Такой подход помогает избежать зон с недостаточным и чрезмерным освещением, что влияет на рост, развитие и активность растений.

Программный комплекс DiaLux Evo. Программный комплекс DiaLux Evo зарекомендовал себя как мощный инструмент для расчета и моделирования освещенности в помещениях различного назначения. Изначально разработанный для проектирования систем искусственного освещения в архитектурных интерьерах, DiaLux Evo позволяет детально анализировать распределение света, учитывать отражательные свойства поверхностей и рассчитывать освещенность относительно светового потока светильников. Благодаря универсальности и широкому набору параметров, данная программа может быть использована не только в расчетах помещений, но и в специализированных камерах выращивания растений фитотрона. Это дает возможность конструкторам адаптировать стандартные методы расчета под особенности фитотронов и обеспечить равномерное и оптимальное освещение на всех этапах роста растений.

Рассчитываемые параметры. Одним из ключевых достоинств DiaLux Evo является возможность создания компьютерной модели освещаемой местности, включая камеру фитотрона. DiaLux Evo позволяет контролировать такие основные особенности камеры как:

– геометрия камеры, что важно для корректного моделирования светового распределения;

– материалы и отражательные свойства, чтобы учесть эффект вторичного освещения;

– размещение светильников, что позволяет оптимально распределить световой поток в камере;

– параметры светильников, такие как световой поток, мощность, спектральная характеристика, температура света и д. р.;

– параметры расчетной плоскости, позволяющие определять количество света, получаемое растением на разных стадиях роста.

Ограничения DiaLux Evo. Программа изначально разработана для расчета освещенности в помещениях стандартных размеров, что накладывает определенные ограничения при ее использовании для компактных камер фитотрона, например, для камеры бытового фитотрона [1]. В основном можно выделить два ограничения: ограничение минимального размера помещения (не менее 0,1 метра для каждой из сторон) и ограниченный выбор светильников, которые в основном разработаны для больших помещений. Эти ограничения можно обойти, используя свойство квадратичной пропорциональности ослабления света от расстояния, описываемое формулой (1):

$$E \propto \frac{\Phi}{r^2}, \tag{1}$$

где E – уровень освещенности, лк, Ф – световой поток, лм, r – расстояние от источника до расчетной плоскости. Таким образом, если увеличить размеры камеры, скажем, в 10 раз, для поддержания того же уровня освещенности потребуется увеличить световой поток в 100 раз. Благодаря этому при масштабировании модели можно получить корректное распределение освещенности, а результаты расчета скорректировать с учетом уменьшенного масштаба.

Вывод. Программный комплекс DiaLux Evo представляет собой универсальный инструмент для расчета и моделирования освещенности, который, несмотря на некоторые ограничения, находит применение и в специализированных фитотронных установках.

Литература

1. Гусенников Е. Н. Концепт комбинированного устройства контролируемого выращивания растений для бытового применения / Е. Н. Гусенников, С. И. Юран // Современные тенденции технологического развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Десятилетию науки и технологий и 300-летию Российской академии наук. – С. 253–256.

УДК 517.521

МЕТОДЫ СУММИРОВАНИЯ МЕДЛЕННО СХОДЯЩИХСЯ РЯДОВ

Студент гр. 11307123 Дайлида А. В.
Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

К распространенным вычислениям в математическом анализе относится нахождение суммы ряда, однако это невозможно сделать для медленно сходящихся рядов без вспомогательных действий. Для преодоления данной проблемы, помимо стандартных, таких как группировка и иные механические методы, были разработаны следующие методы, сводящиеся к преобразованию медленно сходящихся рядов в сходящиеся ряды.

Для числовых рядов себя зарекомендовал метод Куммера. Его суть заключается в представлении исходного ряда в виде суммы более быстросходящихся рядов. Данный метод предоставляет большую свободу действий и облегчает приближенное вычисление, однако он является требовательным к знаниям преобразований у применяющего его человека [1]. Пример:

$$\sum_1^\infty \frac{1}{k^2} = \left|\frac{1}{k^2} \sim \frac{1}{k(k+1)} \rightarrow \frac{1}{k^2} - \frac{1}{k(k+1)} = \frac{1}{k^2(k+1)}\right| = \sum_1^\infty \frac{1}{k^2} = 1 + \sum_1^\infty \frac{1}{k^2(k+1)}. \tag{1}$$

Для рядов Шлемильха, членами которых являются функции, такие, что аргумент в достаточно далеких членах пропорционален номеру члена, подойдет метод Бондаренко-Мошинского, который, хоть и основан на методе Куммера, позволяет значительно больше улучшить сходимость ряда и ускорить вычисление его суммы, однако в отличие от преобразований Эйлера данный метод применим для рядов у которых $|1 - z| \leq 1$, где z – комплексная постоянная [2].

Для тригонометрических рядов подойдет метод Шмойлова-Коровина. Это метод суммирования тригонометрических рядов через соответствующие непрерывные дроби, без необходимости громоздкого решения дробно-рациональных дробей, а по регулярным процедурам значений непрерывных дробей с комплексными элементами. Его применение позволяет на порядки ускорить сходимость тригонометрического ряда [3].

Отдельно стоит выделить метод Эйлера-Маклорена (Эйлера-Буле) [4], т. к. используя его, сводят медленно сходящийся ряд к расходящемуся асимптотическому:

$$\sum_{n=a}^{b} f(n) \sim \int_a^b f(x)dx + \frac{f(a)+f(b)}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{B_{2k}}{(2k)!}\left(f^{(2k-1)}(b) - f^{(2k-1)}(a)\right). \quad (1)$$

Разработан также метод, аналогичный данному, но ориентированный на использование инструмента CAS, который является более простым в использовании за счет возможности суммировать ряды чисто алгебраическими средствами [5].

Общая схема улучшения сходимости ряда изложена в [6].

Литература

1. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г. М. Фихтенгольц // Наука. – 1970. – Т. 2. – С. 388–392.

2. Бондаренко, В. Ф. Преобразование, улучшающее сходимость некоторых рядов Шлемильха / В. Ф. Бондаренко, А. В. Мошинский // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1989. – Т. 29. – №10. – С. 1505–1513.

3. Шмойлов, В. И. Разложение тригонометрических рядов в соответствующие непрерывные дроби / В. И. Шмойлов, Я. С. Коровин // Вестник науки и образования. – 2019. – № 15(69). – С. 17–29.

4. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г. М. Фихтенгольц // Наука. – 1970. – Т. 2. – С. 531–551.

5. Варин, В. П. Функциональное суммирование рядов / В. П. Варин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2023. – Т. 63, № 1. – С. 16–30.

6. Муратов, Л. М. Об улучшении сходимости рядов / Л. М. Муратов // Изв. вузов. Матем. – 1978. – №4. – С. 53–57.

УДК 681

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ СУММЫ И РАСЧЕТ ПРОИЗВЕДЕНИЯ СОБЫТИЙ

Студент гр. 10401224 Ермоленко А. В.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Прусова И. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Теория вероятностей – это наука, которая изучает всевозможные случайные события, пробуя их предсказать. Она рассматривает случайные события в рамках бесконечности. В ней есть понятия, такие как «события» и «вероятности», у которых есть свои операции и свойства.

Сложение вероятностей:

Для несовместных событий (не пересекаются): если два события A и B несовместны (не могут произойти одновременно), то вероятность их объединения равна:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B). \quad (1)$$

Для совместных событий (могут пересекаться): если события A и B могут происходить одновременно, то вероятность их объединения вычисляется с учетом пересечения:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B). \quad (2)$$

Умножение вероятностей:

Для независимых событий: если события A и B независимы (наступление одного не влияет на другое), то вероятность их совместного наступления равна:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B). \quad (3)$$

Для зависимых событий: если события AA и BB зависимы, то вероятность их совместного наступления вычисляется с учетом условной вероятности:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A). \quad (4)$$

Пример:

Предположим, у нас есть два события, связанные с починкой двигателя автомобиля:

Событие A: Механик 1 успешно починит двигатель. Вероятность $P(A) = 0{,}4$.

Событие B: Механик 2 успешно починит двигатель. Вероятность $P(B) = 0{,}6$.

Поскольку механики работают независимо друг от друга, мы можем рассчитать вероятности следующим образом:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = 0{,}4 + 0{,}6 - (0{,}4 \cdot 0{,}6) = 0{,}4 + 0{,}6 - 0{,}24 = 0{,}76. \quad (5)$$

Это означает то, что шанс на починку двигателя хотя бы одним механиком составляет 0,76.

Вероятность успешного ремонта обоими механиками (совместное наступление событий):

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) = 0{,}6 \cdot 0{,}5 = 0.3P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) = 0{,}4 \cdot 0{,}6 = 0{,}24. \quad (6)$$

Таким образом, вероятность того, что оба механика успешно починят двигатель, составляет 0,24.

Сложение и умножение вероятностей – это ключевые операции в теории вероятностей, которые позволяют анализировать вероятность сложных событий.

Литература

1. Теория вероятностей и математическая статистика / М. А. Гундина [и др.]. – 2020. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/handle/data/70426. – Дата доступа: 07.04.2024.

2. Теория вероятностей. Руководство по решению задач: учебное пособие / И. В. Белько [и др.]. – М.: Ривш, 2024. – 180 с.

УДК 681

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗА ДЛЯ АУГМЕНТАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Студент ИУ8 Захаров П. В.
Д-р физ.-мат. наук, профессор Басараб М. А.
Московский государственный технический универстет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

В данной работе рассматривается метод аугментации временных рядов на основе вейвлет-разложения, направленный на улучшение качества моделей машинного обучения за счет сохранения ключевых структурных характеристик данных. Традиционные подходы, такие как добавление Гауссовского шума, могут приводить к неконтролируемому искажению сигнала, ухудшая соотношение сигнала и шума. Вейвлет-анализ, в частности использование вейвлетов Хаара, позволяет локально модифицировать временной ряд путем внесения шума в высокочастотные компоненты, что способствует увеличению вариативности данных без разрушения их глобальных свойств. Проведенное экспериментальное исследование на синтетических данных продемонстрировало превосходство предложенного метода над классическими техниками аугментации. Модель обученная на данных, обработанных с использованием вейвлет-аугментации, показала лучшие показатели качества по сравнению с обучением на данных, подвергнутых добавлению Гауссовского шума. Результаты работы подчеркивают практическую применимость вейвлет-аугментации, особенно в задачах прогнозирования временных рядов с выраженной структурой. Кроме того, отмечены перспективные направления дальнейших исследований, включая адаптивный подбор уровня шума и интеграцию глубоких нейросетевых моделей для оценки эффективности аугментации.

Ключевые слова: аугментация данных, вейвлет преобразование, вейвлет Хаара.

Введение. Временные ряды представляют собой последовательности данных, измеренных в определенные моменты времени. Они широко используются в различных областях, таких как финансы, медицина, метеорология и другие. Одной из ключевых задач при работе с временными рядами является их аугментация – процесс увеличения объема данных для улучшения качества моделей машинного обучения. В данной статье рассматривается применение вейвлет-анализа, в частности вейвлетов Хаара, для аугментации временных рядов.

Основная часть. Вейвлет-анализ – это метод анализа сигналов, который позволяет разложить сигнал на составляющие с различными частотами и временными масштабами. В отличие от преобразования Фурье, вейвлет-анализ предоставляет информацию как о частоте, так и о времени, что делает его особенно полезным для анализа нестационарных сигналов [1]. Вейвлеты Хаара – это один из самых простых и первых вейвлетов, предложенных в 1909 году Альфредом Хааром. Они представляют собой ступенчатые функции, которые позволяют эффективно выделять локальные особенности сигнала. Вейвлеты Хаара широко используются благодаря своей простоте и высокой скорости вычислений [2].

Классические методы аугментации, такие как добавление Гауссовского шума или временное растяжение, обладают фундаментальными ограничениями, связанными с риском деструктивного воздействия на макро- и микроструктуру временного ряда. Вейвлет-анализ представляет собой более изощренный подход, позволяющий изменять данные локально, не разрушая их глобальные характеристики. Вейвлеты Хаара демонстрируют особую эффективность в контексте декомпозиции временных рядов [3]. Их ключевые преимущества включают вычислительную простоту, обусловленную линейной сложностью преобразования, а также способность выделять локальные особенности сигнала. Благодаря многоуровневому разложению, временной ряд может быть представлен в виде совокупности низкочастотных и высокочастотных компонентов. Формально вейвлет Хаара определяется формулой (1).

$$\psi(x) = \begin{cases} 1, & 0 \le x < 0{,}5 \\ -1, & 0{,}5 \le x < 1 \\ 0, & x \notin [0,1). \end{cases} \quad (1)$$

Для оценки эффективности предложенного метода был рассмотрен синтетический временной ряд, заданный уравнением (2).

$$y = \mathrm{t}g(x), x \in [-2,2]. \quad (2)$$

В рамках сравнительного анализа были использованы два метода аугментации: добавление Гауссовского шума непосредственно к исходному сигналу и применение вейвлет-разложения с модификацией детализированных коэффициентов. В качестве метрик оценки эффективности рассматривались среднеквадратичная ошибка, средняя абсолютная ошибка. Результаты исследований представлены на рис. 1–3.

```
Метрики для Гауссовских данных:
- Среднеквадратичная ошибка: 0.0664
- Средняя абсолютная ошибка: 0.1350

Метрики для вейвлет-аугментированных данных:
- Среднеквадратичная ошибка: 0.0560
- Средняя абсолютная ошибка: 0.1340
```

Рис. 1. Метрики сравнения методов аугментации

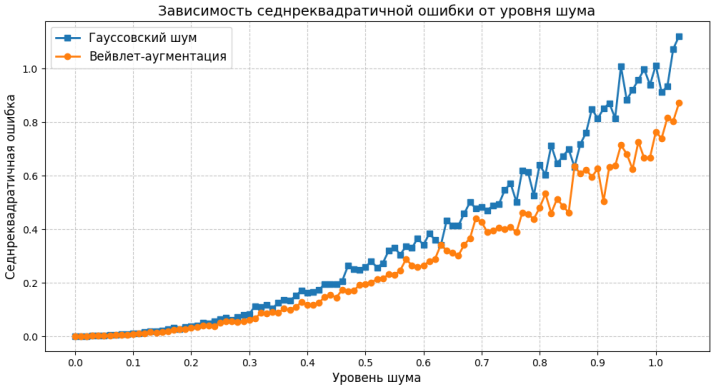


Рис. 2. Зависимость среднеквадратичной ошибки от уровня шума для аугментации

Результаты экспериментов продемонстрировали превосходство вейвлет-метода над традиционными подходами. Внесение Гауссовского шума в исходный ряд приводило к равномерному искажению, ухудшающему соотношение сигнала. В отличие от этого, избирательное зашумление детализированных коэффициентов позволило сохранить ключевые структурные характеристики временного ряда.

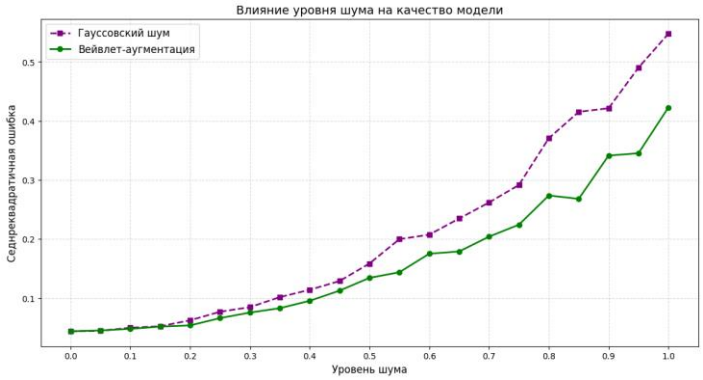


Рис. 3. Зависимость среднеквадратичной ошибки от уровня шума на модели восстановления временного ряда

Выводы. Практическое применение вейвлет-аугментации требует адаптивного выбора типа вейвлета. Вейвлет Хаара оптимален для временных рядов с резкими переходами, например, финансовых и транзакционных данных, тогда как для более гладких временных зависимостей (например, температуры или котировок акций) целесообразно использовать вейвлеты Добеши. Включение данной техники в разработку машинного обучения рекомендуется исключительно на этапе формирования обучающей выборки, а также в сочетании с другими методами аугментации, такими как временная деформация и искусственное внесение пробелов. Несмотря на значительные преимущества, проведенное исследование обладает рядом ограничений. В частности, оно базируется на синтетических данных, что не позволяет учесть всю сложность реальных временных рядов. Кроме того, в рамках работы не рассматривались эффекты сезонности и влияние внешних факторов. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются адаптивный подбор уровня шума в зависимости от статистических характеристик временного ряда, а также использование современных архитектур глубокого обучения для более детального анализа эффективности различных методов аугментации.

Литература

1. Scholl S., Fourier G. Morlet or Wigner: Comparison of time-frequency transforms, arXiv //arXiv preprint arXiv:2101.06707. – 2021.

2. Катеров, Ф. В. Основы вейвлет-преобразования / Ф. В. Катеров, Д. В. Ремесник // Наука, техника и образование. – 2016. – №. 9 (27). – С. 42–44.

3. Епанчинцева, О. М. Оценка возможности использования непрерывного вейвлет-преобразования для исследования структуры воды / О. М. Епанчинцева // Актуальные вопросы современной науки. – 2013. – №. 29. – С. 16–25.

УДК 620.179.14

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Магистрант гр. 7-06-0716-03 Зикеев К. А.
Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Дальнейшее развитие магнитной структуроскопии связано с совершенствованием методов численного описания процессов намагничивания и перемагничивания, происходящих в ферромагнитном материале. Для приборной реализации магнитного контроля и установления корреляционных связей, которые позволяют на предприятиях делать вывод о качестве продукции, необходимо в большинстве случаев работать с конкретным перечнем изделий, имеющих определенную форму и конечный размер.

Применение известных методов расчета для моделирования изменения состояния ферромагнитного материала в процессе воздействия магнитного поля, таких как уравнения Максвелла, метод конечных элементов, метод пространственных интегральных уравнений [1–2] хорошо за-

рекомендовало для решения двухмерных задач, однако большинство изделий народного хозяйства из ферромагнитных изделий имеют сложную форму. Также вести подобные расчеты затруднительно из-за сложности процессов, происходящих в ферромагнитном теле конечной формы на границе раздела сред, например, из-за влияния вихревых токов, характер влияния которых зависит и от формы, и от размеров, и от наличия полостей или отверстий в рассматриваемом теле.

На практике с целью повышения достоверности численного описания процессов намагничивания выбор способа описания зависимости намагниченности материала образца от величины поля часто основывается на полученных экспериментально кривых, что приводит к необходимости совершать большое количество высокоточных измерений, поэтому в ряде случаев приходят к выводу о необходимости использования аналитического описания, что легко осуществимо на современном уровне развития вычислительной техники и программного обеспечения.

Так, при расчетах намагниченности с использованием принципов, заложенных в [3], формула для численного описания выглядит следующим образом:

$$M = \pm \frac{M_s H_m^2 \; k_{ts}(H)/\pi + k_1 H_{cs}^2 \, k_3(H_m)}{H_m^2 + k_2 H_m^{3/2} \, H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} \times \left[2\text{arctg} \; \frac{H_{cs} \pm H}{H'_0} - \left(\text{arctg} \; \frac{H_{cs} + H_m}{H'_0} + \text{arctg} \; \frac{H_{cs} - H_m}{H'_0} \right) \right], \qquad (1)$$

где параметры M и H связаны с конкретными значениями величины напряженности магнитного поля и намагниченности.

Основной задачей при составлении математического моделирования с использованием принципов, основанных на показанном выше примере с использование формулы (1) является установления значений или выражений для описания безразмерных коэффициентов k, обеспечивающих достаточно точное описание получаемых при моделировании результатов. Однако на процесс реального намагничивая влияет ряда случайных факторов, таких как колебания химического состава, отклонения технологии получения изделий из ферромагнитных материалов и иные, которые будут затруднять процесс поиска универсального численного описания для использования в приборах и методах магнитного неразрушающего контроля вместо длительного и трудоемкого процесса установления корреляционных зависимостей.

Литература

1. Курбатов, П. А. Численный расчет электромагнитных полей / П. А. Курбатов, С. А. Аринчик. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.

2. Матюк, В. Ф Численное моделирование магнитного состояния ферромагнетика в неоднородном постоянном поле методом пространственных интегральных уравнений. I. Описание методики расчета / В. Ф. Матюк, В. Р. Чурило, А. В. Стрелюхин // Дефектоскопия. – 2003. – № 8. – С. 71–84.

3. Мельгуй, М. А. Формулы для описания нелинейных и гистерезисных свойств ферромагнетиков / М. А. Мельгуй // Дефектоскопия. – 1987. – № 11. – С. 3–10.

УДК 004.89

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ

Студенты гр. 11311124 Кеда П. А., Андранович Е. А.
Кандидат физ.-мат наук, доцент Гацкевич Е. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Искусственный интеллект (ИИ) широко используется в нашей жизни. Одним из явных преимуществ ИИ является то, что он способен анализировать большие объемы данных. Благодаря использованию нейросетевого программирования появилась возможность программной обработки медицинских изображений [1, 2], таких как МРТ и рентгеновские снимки. Причем программы делают обработку быстрее и иногда точнее, чем это могут делать врачи. Примером такой нейросети является Medy Match Technology. Другие программы помогают в разработке персонализированных планов лечения, анализируя данные о предыдущем опыте лечения пациентов, их генетические особенности и текущее состояние здоровья. Примером такой программы является Qventus. Использование ИИ повышает эффективность лечения и минимизирует риск побочных эффектов. Нейросети оптимизируют рабочие процессы и управляют ресурсами. Программа Bright.md позволяет автоматизировать процессы ведения истории болезни, приема и учета медицинского оборудования и препаратов, освобождая время персонала для более важных задач.

В наше время широко используются устройства и программы, которые в режиме реального времени анализирует состояние здоровья человека, например, карманный кардиолог AliveCor или мобильное приложение Sense.ly, которое ежедневно опрашивает пациентов и отправляет данные вашему лечащему врачу.

Применение искусственного интеллекта в медицине имеет не только положительные, но и отрицательные стороны, которые необходимо учитывать. Использование ИИ в медицине может вызвать проблемы с безопасностью данных пациентов. Сбор и хранение медицинских данных требует высокой степени конфиденциальности и защиты. Однако, ИИ может быть подвержен кибератакам и утечке данных, что может привести к серьезным последствиям. Использование ИИ может вызывать вопросы ответственности за возможные ошибки. В случае смерти пациента необходимо определить, кто несет ответственность – врач или технологии ИИ. Высокая стоимость внедрения и поддержки технологий ИИ может стать значимым фактором, который может препятствовать широкому распространению этих технологий. Использование ИИ в медицине вызывает этические вопросы, например, относительно справедливости доступа к медицинским услугам, автономии пациентов и конфиденциальности данных. Наконец, ИИ может повлечь за собой риск снижения востребованности некоторых медицинских специалистов. Некоторые виды медицинской практики могут быть полностью автоматизированы с помощью ИИ, что может привести к сокращению потребности в определенных медицинских специалистах.

Использование ИИ в медицине имеет и отрицательные стороны. Необходимо принимать меры для защиты данных пациентов, определения ответственности за возможные ошибки, снижения стоимости внедрения и поддержки технологий ИИ, учета этических вопросов и минимизации рисков сокращения потребности в некоторых медицинских специалистах.

Из анализа данных по использованию искусственного интеллекта можно сделать вывод, что перспективы дальнейшего развития ИИ в медицине включают исследования в области геномики и персонализированной медицины, развитие нейросетей и алгоритмов машинного обучения, улучшение технологий роботизированной хирургии, интеграцию ИИ в системы управления здравоохранением и развитие нормативно-правовой базы для регулирования использования ИИ в медицине.

Литература

1. Алексеева, М. Г. Искусственный интеллект в медицине / М. Г. Алексеева, А. И. Зубов, М. Ю. Новиков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №. 7–2 (121). – С. 10–13.

2. Мелдо, А. А. Искусственный интеллект в медицине: современное состояние и основные направления развития интеллектуальной диагностики / А. А. Мелдо, Л. В. Уткин, Т. Н. Трофимова // Лучевая диагностика и терапия. – 2020. – Т. 11. – №. 1. – С. 9–17.

УДК 004.04

БЕЗОПАСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QR-КОДОВ

Ст. преподаватель кафедры ИУ-8 «Информационная безопасность» Ковынев В. Н.
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

QR-коды достаточно плотно влились в современное информационное общество и его цифровую жизнь. Их использование упрощает цифровое взаимодействие в обществе, а именно: переходы на сайты компаний, произведение оплаты за товар, авторизацию на рабочих местах и многое другое.

Однако, использование qr-кодов таит в себе множество уязвимостей и угроз: использование подменных qr-кодов для перевода пользователя на ресурсы злоумышленника, чтобы завладеть конфиденциальной информацией; заражение устройства вредоносным программным обеспечением; компрометация данных; подменные реквизиты для оплаты услуг; кража данных для последующей авторизации злоумышленника под видом легального пользователя.

Чтобы не попасться на уловки злоумышленников, следует соблюдать ряд предосторожностей при работе с qr-кодами: необходимо смотреть ссылку, по которой ведет код; не стоит игнорировать предупреждения служб безопасности при переходе по ссылки с qr-кода; своевременно об-

новляйте программное обеспечение и программы безопасности на устройстве, чтобы минимизировать вредоносные уязвимости на устройстве; использование дополнительных мер аутентификации на устройстве, чтобы затруднить вредоносному ПО доступ к вашим данным; не разрешайте автоматический переход на другие ресурсы с ссылок, на которые вы перешли по qr-коду; проверяйте на подлинность контакты, которые присылают qr-коды.

Несмотря на соблюдение правил безопасности, переход по qr-коду не гарантирует безопасного соединения с ресурсом, так как нельзя просмотреть полностью содержимое qr-кода при переходе по ссылке, которая в нем заложена. Специализированное программное обеспечение для работы с qr-кодами часто получает разрешения от пользователя для доступа к почтовым клиентам или к каким-либо личным данным, что влечет за собой их утерю, если вредоносное программное обеспечение злоумышленника получит контроль над этим приложением. Однако, для получения такого контроля, злоумышленник должен подтолкнуть жертву к переходу по вредоносной ссылке из поддельного qr-кода. Тут в ход могут идти разные уловки: использование неверных ссылок на информационные ресурсы; развлекательные ресурсы; поддельные ссылки на интернет-магазины; ложные ссылки для оплаты товаров и услуг; переходы на ссылке, где автоматически скачивается зараженный исполняемый файл; если устройство разблокируется при помощи qr-кода, а злоумышленник получил доступ к этому qr-коду и заменил его, то он может получить полноценный контроль над зараженным устройством.

Исходя из данных угроз следует привлекать дополнительные меры для защиты конфиденциальной информации: установка антивирусного программного обеспечения; использование средств фильтрации для перехода по ссылкам; информирование пользователей об актуальных уязвимостях и угрозах; в свою очередь, пользователи должны быть бдительными при переходах по различным ссылкам при помощи QR-кодов; также стоит отметить деятельность разработчиков, которая должна исключать использования х программ для вредоносных целей. Стоит отметить, что если пользователь все-таки перешел на вредоносную ссылку, то не стоит там заполнять различные формы данных, которые будут указаны, если просто покинуть данный ресурс, то кражи данных может не произойти. QR-коды сильно облегчили цифровую жизнь пользователям, но при их использовании стоит соблюдать цифровую гигиену, чтобы не потерять свои данные.

Литература

1. Информатика и информационные технологии / С. В. Бегичева [и др.]. – Екатеринбург : Уральский государственный экономический университет, 2020. – 219 с. – EDN KCVCCS.

2. Кадыров, Р. Р. Защита личных данных при использовании QR-кодов / Р. Р. Кадыров // Инициативы молодых – науке и производству: сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 08–09 июля 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 406–409.

УДК 004.3′1

ЗАКОН МУРА И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Студенты гр. 11311124 Коршунова Д. С., Шишкина А. М.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Закон Мура, сформулированный Гордоном Муром (Gordon Moore) в 1965 году [1], предсказывает удвоение количества транзисторов на интегральной схеме каждые два года. Первоначально закон Мура предсказывал, что удвоение будет происходить каждые 12 месяцев. В 1975 году Мур внес в свой закон коррективы, согласно которым удвоение числа транзисторов будет происходить каждые два года. Закон Мура – это эмпирический закон, который основан на анализе данных по состоянию развития компьютерных технологий в 60–80-х годах прошлого века. Цель настоящей работы выяснить, выполняется ли Закона Мура на современном этапе развития компьютерных технологий, спустя 60 лет после его формулировки. Мы также попытались по имеющимся литературным данным дать прогноз применимости закона Мура в будущем.

Закон Мура – эмпирический закон. Он выведен из данных по компьютерным технологиям того времени. Он не обусловлен научной необходимостью. Тем не менее, закон оказал влияние

на развитие компьютерных технологий, включая производительность процессоров и энергоэффективность. Индустрия кремниевых чипов приняла закон к сведению и начала использовать его не только как описательное, предсказательное наблюдение, но как цель, которую должна достичь вся отрасль [2]. Это привело к значительному росту вычислительной мощности и снижению стоимости технологий.

В настоящее время время закон Мура продолжает оказывать значительное влияние на развитие технологий, включая расширение его применения на другие параметры, такие как производительность и скорость передачи данных [3]. Однако, уже сейчас выполнение закона Мура находится под вопросом из-за физических и экономических ограничений. Тем не менее, его принципы остаются актуальными и могут адаптироваться к новым технологиям. Исследование современных тенденций в полупроводниковой индустрии показало [3], что выполнение прямого условия закона Мура стало более сложным, но некоторые аспекты закона все еще соблюдаются.

Ожидается, что закон Мура может стать менее актуальным в следующие 5–10 лет. Переход к альтернативным архитектурам, таким как квантовые вычисления и нейроморфные чипы, может стать следующим шагом в развитии вычислительных технологий. Технологии, такие как 3D-микросхемы и графеновые транзисторы, могут продлить жизнь закона Мура, но требуют значительных усилий в научных исследованиях.

Литература

1. Moore, G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. / G. Moore // Electronics Magazine. – 1965. –Vol. 38, No. 8. – P. 114–117.

2. Moore’s law really is dead this time [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arstechnica.com/information-technology/2016/02/moores-law-really-is-dead-this-time. – Дата доступа: 02.03.2025.

3. Что такое Закон Мура и как он работает теперь? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/droider/articles/568806/. – Дата доступа: 02.03.2025.

УДК 004.338

СРАВНЕНИЕ ФАЙЛОВЫХ СИСТЕМ LINUX И WINDOWS

Студент гр. 11303123 Кузнецов А. С.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Файловые системы являются фундаментальным компонентом управления данными в современных операционных системах. Windows и Linux используют различные файловые системы (FS). Windows использует NTFS [1], Linux – BTRFS, EXT4 и XFS [2]. В настоящей работе проведено сравнение указанных файловых систем по их производительности, надежности, масштабируемости и функциональным возможностям.

NTFS является основной файловой системой Windows. FS реализует механизмы журналирования, шифрования, сжатия и поддержки квот. Существенным ограничением является отсутствие проверки контрольных сумм данных EXT4 представляет стандартную файловую систему Linux. FS обеспечивает высокую производительность, журналирование и поддержку файлов большого объема, характеризуется ограниченной функциональностью. BTRFS реализует передовые функции хранения данных: контрольные суммы, моментальные снимки, встроенный RAID для повышения производительности и копирование при записи (CoW). Основные недостатки – повышенная сложность администрирования и ресурсоемкость. XFS демонстрирует высокую масштабируемость, оптимизированный параллельный ввод-вывод и эффективность в работе с большими объемами данными.

При операциях с файлами различного размера наилучшие показатели по производительности демонстрирует EXT4. XFS отличается высокой производительностью в многопоточных операциях. NTFS имеет сниженную производительность при работе с малыми файлами, Btrfs характеризуется пониженной скоростью из-за механизмов контроля целостности.

BTRFS обеспечивает максимальный уровень надежности благодаря комплексной системе контрольных сумм. EXT4 гарантирует целостность данных посредством журналирования. NTFS и XFS демонстрируют более низкий уровень защиты данных.

Максимальные объемы разделов имеют NTFS – 256 ТБ, EXT4 – 1 ЭиБ (1018 байт). BTRFS предоставляет расширенный функционал. NTFS реализует базовые функции шифрования и сжатия. EXT4 и XFS ограничены минимальным набором функций (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики файловых систем

Характеристика	NTFS	EXT4	XFS	BTRFS
Журналирование	+	+	+	+
Контрольные суммы метаданных	–	–	+	+
Контрольные суммы данных	–	–	–	+
Моментальные снимки (Snapshots)	–	–	–	+
RAID (встроенная поддержка)	–	–	–	+
Копирование при записи (CoW)	–	–	–	+
Встроенная дефрагментация	+	–	–	+

В результате проведенного анализа данных по файловым системам операционных систем Windows и Linux можно сделать следующие выводы. EXT4 представляет оптимальное решение для Linux-систем общего назначения. NTFS обеспечивает базовую функциональность в среде Windows. XFS и BTRFS ориентированы на специализированные задачи с повышенными требованиями к масштабируемости и надежности. Выбор файловой системы определяется спецификой технических требований.

Литература

1. NTFS Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dubeyko.com/development/FileSystems/NTFS/ntfsdoc.pdf. – Дата доступа: 28.02.2025.

2. WRITEUP-DB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.writeup-db.com/understanding-linux-file-systems-ext4-xfs-btrfs-and-zfs/. – Дата доступа: 28.02.2025.

УДК 517.521.5

КРАТНЫЕ РЯДЫ

Студент гр. 11302123 Маковская В. М.
Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Рядом кратности *k* называется ряд вида

$$\sum_{n_1,\ \ldots,n_k=1}^{\infty} u_{n_1 \ldots n_k}, \tag{1}$$

где $u_{n_1 \ldots n_k}$ – заданные комплексные числа, члены ряда, имеющие k индексов n_i, $i = 1,2,\cdots,k$, каждый из которых независимо от другого пробегает натуральный ряд чисел: $n_i = 1,2,\ \cdots$ [1].

Кратный ряд также можно записать в виде:

$$\sum_{n_1=1}^{\infty} \cdots \sum_{n_k=1}^{\infty} u_{n_1 \ldots n_k} \tag{2}$$

Такой ряд состоит из бесконечного количества слагаемых, членов ряда, заданных числами, функциями и др. Частный случай кратных рядов (при k = 2) – двойной числовой ряд:

$$S_{n,m} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} u_{i,j} \tag{3}$$

Двойные ряды проверяют на сходимость также, как и обычные ряды: берут предел частичных сумм и находят сумму ряда. Для двойных рядов нет единого определения частичных сумм. Ряд будет эквивалентным абсолютно сходящемуся, если члены ряда будут неотрицательными.

Двойной ряд можно записать в виде повторного ряда:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(\sum_{m=1}^{\infty} u_{n,m\cdot} \right), \tag{4}$$

т. е. сумму двойного ряда можно определить, если сначала просуммировать члены ряда по одной переменной (m), а затем по второй (n). Двойные ряды можно представить в виде матрицы, ограниченной сверху и слева, и бесконечной справа и снизу (одна переменная отвечает за столбцы, вторая за строки).

Двойные ряды подразделяются на классы: двойные степенные ряды, двойные ряды Фурье и т. д. Особый интерес представляют двойные ряды Фурье, т. к. они имеют приложение в различных сферах.

Двойной ряд вида

$$\sum_{n,m} u_{n,m} s_{n,m}(x,y) \tag{5}$$

называется рядом Фурье функции f по системе функций

$$s_{00}(x,y), \quad s_{01}(x,y), \quad s_{02}(x,y),$$
$$s_{10}(x,y), \quad s_{11}(x,y), \quad s_{12}(x,y), \quad \ldots \tag{6}$$

Двойные числовые ряды используются при решении задач сферической геометрии, начально-краевых задач с уравнениями типа Навье-Стокса, решении эллиптического уравнения для функции тока, для трансформации потенциальных полей и т.д. Например, разложение в двойной ряд Фурье орографии поверхности Земли (высота земной поверхности над уровнем моря). При восстановлении орографии из ряда абсолютная погрешность составляла около 9 м. Для задач сферической геометрии итоговые ряды Фурье выглядят следующим образом:

$$a_{k-1} = \sum_{i=1}^{n} A_{i,k}^{\left(-\frac{1}{2},-\frac{1}{2}\right)} \frac{f(x_i) + f(x_{N-i+1})}{2},\ A_{i,k}^{(\alpha,\beta)} =$$
$$= \sum_{j=1}^{N} C_j^{(\alpha,\beta)} \frac{\omega\left(\varepsilon_j^{(\alpha,\beta)}\right)}{\left(\varepsilon_j^{(\alpha,\beta)} - x_k\right)\omega'(x_k)} P_i^{(\alpha,\beta)}\left(\varepsilon_j^{(\alpha,\beta)}\right). \tag{7}$$

Литература

1. Фихтенгольц, Г. М. Основы математического анализа [Электронный ресурс] / Г. М. Фихтенгольц. – Т.2. – Электронный доступ: https://djvu.online/file/4xdJjwkeLXujC. – Дата доступа:15.02.2025.

УДК 519.25

АНАЛИЗ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПСФ В 2023–2024 УЧЕБНОМ ГОДУ

Студент гр. 11303123 Максименко А. П.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н., ст. преподаватель Кондратьева Н. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Успешное будущее во многом зависит от правильного выбора профессии. Профориентация играет ключевую роль в этом процессе, помогая будущим студентам осознанно выбрать специальность, учитывая их индивидуальные способности, интересы и долгосрочные карьерные планы. Благодаря ей, абитуриенты могут избежать разочарований, выбрав путь, максимально соответствующий их личностным качествам, что способствует эффективному обучению и легкой интеграции в профессиональную среду после окончания университета.

Активная профориентационная работа, проводимая преподавателями и студентами приборостроительного факультета, охватила множество школ по всей стране. Для привлечения абитуриентов и популяризации предлагаемых для обучения специальностей применялся широкий спектр методов: от выездных встреч и презентаций до интерактивных экскурсий в университетские лаборатории и ознакомления с современным оборудованием.

Эти мероприятия не только помогли будущим студентам сделать осознанный выбор, но и продемонстрировали возможности, которые предоставляет факультет в рамках выбранной специальности. Поэтому, будущие студенты получили возможность сделать свой выбор и познакомиться с реальными перспективами обучения и карьерного роста в университете.

Всего студентами и преподавателями приборостроительного факультета было проведено около 160 мероприятий. На диаграмме ниже (рис. 1) представлено соотношение профориентационных мероприятий, проведенных профессорско-преподавательским составом вуза, учебно-вспомогательный персоналом и студентами.

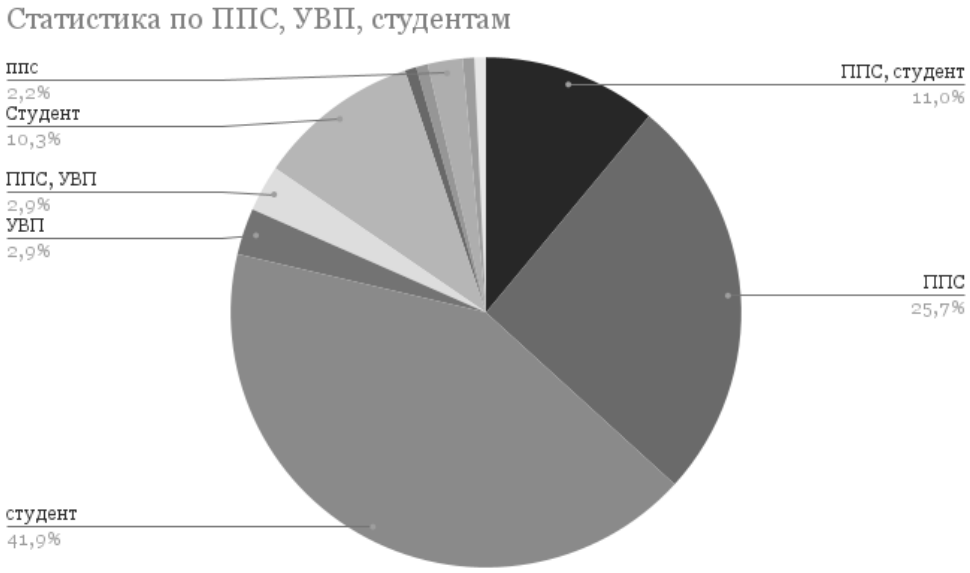


Рис. 1. Статистика по проводившим мероприятия (ППС – профессорско-преподавательский состав, УВП – учебно-вспомогательный персонал)

Из диаграммы видно, что студентами была проведена значительная часть профориентационной работы, что свидетельствует об их активном участии и вовлеченности в процесс. В частности, студенты активно участвовали в профориентационных беседах учащимися 10–11 классов. Такой высокий уровень занятости студентов в профориентационной деятельности позитивно сказывается на качестве проводимой работы и эффективности взаимодействия со школьниками.

УДК 531

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ

Студент гр. 10305124 Матюшинец И. А.
Кандидат. физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Колебания аналогичные колебаниям струн встречаются в различных инженерных конструкциях. Их изучение позволяет повысить надежность и безопасность этих конструкций. Для описания колебаний струны с учетом внутреннего трения можно использовать модель затухающего гармонического осциллятора. Рассмотрим маленький элемент струны длиной dx. Силы, действующие на этот элемент: сила упругости, пропорциональная деформации и направленная к положению равновесия, и сила внутреннего трения, пропорциональной скорости деформации и направленная против нее. Запишем уравнение движения для этого элемента в проекции на ось, перпендикулярную к положению равновесия струны:

$$\rho \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}\mathrm{d}x = \mathrm{T}\frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}x^2}\mathrm{d}x - \beta \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}x, \quad (1)$$

где ρ – линейная плотность струны, T – сила натяжения струны, β – коэффициент внутреннего трения, y – отклонение элемента струны от положения равновесия. Сокращая на dx и перегруппировав слагаемые, получаем:

$$\frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2} = \frac{T}{\rho}\frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}x^2} - \frac{\beta}{\rho}\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}. \quad (2)$$

Это и есть уравнение колебаний струны с учетом внутреннего трения. с начальными условиями: $y(x,0) = f(x)$, $\partial y/\partial t(x,0) = g(x)$ и граничными условиями (например, для закрепленной струны): $y(0,t) = 0$, $y(L,t) = 0$, L – длина струны. Первый член: описывает распространение волн вдоль

струны без учета затухания. Второй член: описывает затухание колебаний из-за внутреннего трения. Коэффициент β/ρ характеризует скорость затухания. Общее решение уравнения (1) колебаний струны, полученное методом разделения переменных, имеет вид:

$$y(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(\frac{n\pi}{L}x)\, e^{-\frac{\beta}{2\rho}t} \cos(\omega_n t + \varphi_n), \quad (3)$$

где $\omega_n = \sqrt{\omega_{0n}^2 - (\frac{\beta}{2\rho})^2}$, $\omega_{0n} = \frac{\pi n}{L}\sqrt{\frac{T}{\rho}}$, n – номер гармоники, A_n, φ_n – амплитуда и фаза n-ой гармоники, определяемые начальными условиями. Из полученного решения следует: форма колебаний определяется суперпозицией синусоидальных функций с различными частотами и амплитудами; частота колебаний каждой гармоники уменьшается по сравнению с идеальной струной без трения; экспоненциальный множитель $e(-\beta t/2\rho)$ описывает затухание колебаний из-за внутреннего трения. Спектральная плотность мощности $S(\omega)$ определяется как модуль квадрата преобразования Фурье: $S(\omega) = |Y(\omega)|^2$, где $Y(\omega)$ – преобразование Фурье функции $y(x, t)$ по времени. Ширина спектра должна быть определена как ширина пика спектральной плотности мощности на определенном уровне. Спектральные характеристики звуковых сигналов – это уникальный «отпечаток пальца» каждого звука, отражающий его физические свойства и воспринимаемые нами как тембр, высота и громкость. Они играют ключевую роль в различных областях, от музыкальной акустики до распознавания речи.

Литература

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин. – М.: Физматлит, 2009. – Т. 3: Электричество. – 656 с.

УДК 681

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСА ЛОКАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ «ФЕНИКС-2»

М.н.с. лаборатории «Медтех» Матюшков С. Ю., кандидат. техн. наук, доцент Пахмурин Д. О.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

Одним из вариантов лечения раковых опухолей костей является термоабляция. Термоабляция – это вид термотерапии, основанный на контролируемом, временном повышении температуры участка тела, пораженного патологическим процессом, до уровня 60–65 °С и выше. При термоабляции костных тканей необходимо учитывать радиус кости и ее фактическое состояние для результативного лечения с минимизацией последствий, вызванных перегревом или недогревом. В связи с этим возникает необходимость в корректном выборе режима работы.

Комплекс локальной гипертермии «Феникс-2», разработанный на базе ТУСУР, позволяет осуществлять термоабляцию опухолей костей с учетом анатомических особенностей пациента [1]. На данный момент комплекс успешно применяется в работе НИИ онкологии Томского НИМЦ Российской академии наук. Проведено уже около 30 операций с применением возможностей КЛГ «Феникс-2».

В данной работе представлены результаты моделирования костной ткани в прогрмме Comsol Multiphysics [2]. В результате моделирования получены результаты, которые в дальнейшем позволят составить дифференциальные уравнения для применения в системе управления КЛГ «Феникс-2».

Для определения динамических характеристик предлагаемой модели выполнено моделирование во временной области. На рис. 1 и 2 представлены графики изменения температуры в центре кости при различной ее толщине, а также графики зависимости разницы температуры между нагревателем и центром кости.

На графиках видно, что в случае, когда радиус кости превышает 15 мм, стационарное значение не достигается за время проведения операции. Увеличение скорости роста температуры невозможно, потому что для этого требуется повышать температуру нагревателя выше 100 °С, что следует учитывать при подготовке к операции.

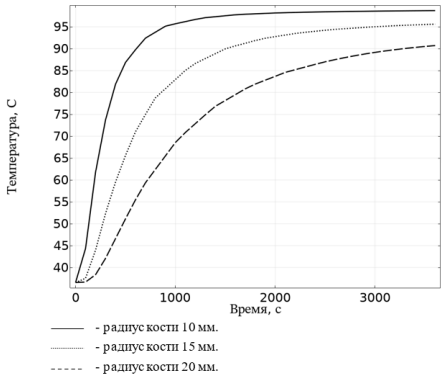


Рис. 1. График изменения температуры в центре кости

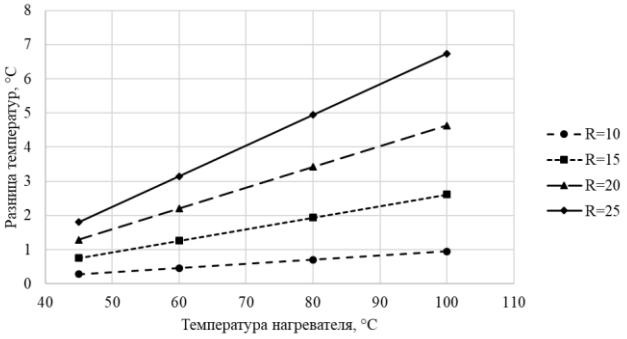


Рис. 2. График зависимости разницы температуры между нагревателем и центром кости от температуры нагревателя

Разработанная модель позволяет анализировать температурные зависимости нагреваемой костной ткани, моделируя процесс нагрева при различных геометрических и физических параметрах. Отклонение результатов эксперимента от данных модели не превысило 3,3 %. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, номер проекта FEWM-2024-0003.

Литература

1. Калибровочный модуль для комплекса локальной гипертермии «Феникс-2» / К. И. Хан [и др.] // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 4. – С. 125–128.

2. COMSOL Multiphysics; ПО для мультифизического моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.comsol.ru/ свободный. – Дата доступа: 22.02.2025.

УДК 611.08

СОВРЕМЕННЫЙ МАТЕРИАЛ НИТИНОЛ В ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ

Студент гр. 11301123 Овчинник Д. А.
Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Эндопротезирование – высокотехнологическая операция, заключающаяся в имплантации устройства, которое имитирует функцию здорового органа, например, сустава. Современные эндопротезы изготавливают из инновационных материалов, которые увеличивают срок службы имплантов, делают процесс восстановления после операции более безопасным и комфортным для пациента. Материалы, применяемые в эндопротезировании: титановые сплавы, керамика, полиэтилен. циркониевые сплавы и другие. Одним из ярких представителей таких материалов является нитинол.

Нитинол представляет собой металлический сплав никеля и титана, в котором эти два элемента присутствуют примерно в равных атомных процентах, где различные сплавы называются в соответствии с процентным содержанием никеля. Нитиноловые сплавы обладают двумя уникальными свойствами: эффектом памяти формы и сверхэластичностью. Память формы – это способность нитинола подвергаться деформации при одной температуре, сохранять деформированную форму после снятия внешнего воздействия, а затем восстанавливать исходную, недеформированную форму при нагревании выше «температуры превращения». Сверхэластичность – это способность металла подвергаться большим деформациям и немедленно возвращаться к исходной форме после снятия внешнего воздействия. Нитинол может подвергаться упругим деформациям, которые в 10–30 раз превышают деформации альтернативных металлов [1].

Хоть никель и является частью нашего рациона, но, вместе с этим он является одним из самых распространенных контактных аллергенов. Переизбыток никеля вызывает местные, системные аллергические реакции и подавление клеточного размножения. Титан, напротив, совершенно

инертен. Никель и титан образуют чрезвычайно прочную интерметаллическую связь, благодаря чему нитинол устойчив к окислению никеля [2].

Некоторые нитиноловые стенты или стент-графты, используемые в настоящее время для лечения артериальных аневризмов или окклюзионных заболеваний сосудов, основаны на эффекте термической памяти формы. Промывка оболочки ледяной водой перед использованием позволяет протезу легче перемещаться в оболочке в его податливой мартенситной форме. Это позволяет уменьшить диаметр оболочки. Воздействие температуры тела после извлечения из оболочки расширяет аустенит до прочного состояния, принимая заданную форму.

Саморасширяющиеся нитинелевые коронарные, периферические артериальные и венозные стенты в определенных ситуациях имеют преимущества перед стентами, изготовленными из других материалов. Он невероятно гибок и устойчив к перегибам в задаваемом диапазоне температур. Благодаря этому нитинол может использоваться в качестве очень тонких или прочных сосудистых проводников. Например, они могут быть использованы при доброкачественных и злокачественных стриктурах полых труб, таких как мочеточник, предстательная железа и многим другим [2].

Сплав с эффектом памяти формы – нитинол, открыл множество новых хирургических возможностей. В ходе стремительного развития эндоваскулярных технологий в сосудистой хирургии нитинол используется для изготовления различных устройств. По-прежнему существует большой потенциал для дальнейшего применения SMA-сплавов в хирургии и других областях, учитывая их биосовместимость и уникальные физические свойства. Таким образом, глубокое изучение и понимание современных сплавов должно способствовать разработке новых интересных применений в биомедицине.

Литература

1. Nickel titanium – Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_titanium. – Дата доступа: 28.02.2025.

2. Nitinol – Its Use in Vascular Surgery and Other Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ejves.com/article/S1078-5884(00)91111-0/pdf. – Дата доступа: 28.02.2025.

УДК 004.921

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ СКАНИРУЮЩЕГО КАРТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ORIGINLAB

Студентка гр. 11312123 Ромашко Е. Д.,
Д-р техн. наук, профессор Жарин А. Л., кандидат техн. наук, доцент Пантелеев К. В.,
ст. преподаватель Кондратьева Н. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время для оценки энергетического состояния поверхности диэлектрического материала используются методы термостимулированной токовой спектроскопии, путем регистрации, визуального представления и анализа спектров термостимулированных токов, возникающих при релаксации электретного заряда [1]. Данный метод позволяет получить токовые спектры, по которым судят о энергетическом состоянии поверхности. Однако, часто возникают затруднения в интерпретации спектров и, следовательно, результатов исследований. В этой связи наиболее информативными являются зарядочувствительные методы, основанные на измерении поверхностного электростатического потенциала бесконтактным зондом, аналогичным зонду Кельвина [2]. Сканирующие модификации (рис. 1) данного метода обеспечивают картирование (рис. 2) распределения поверхностного потенциала (заряда) с пространственным разрешением 1–5 мм^2 и менее [3].

Установка регистрирует данные фиксированного количества точек на исследуемом образце. Начальные и конечные координаты, а также шаг сканирования задаются вручную.

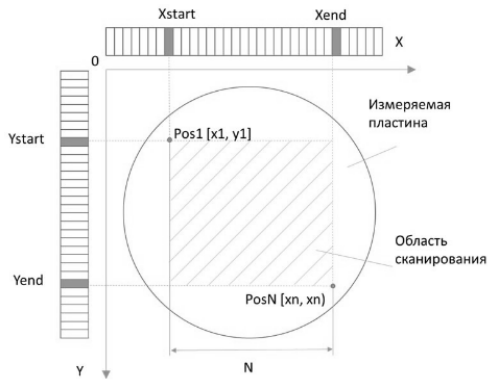


Рис. 1. Область сканирования исследуемого образца

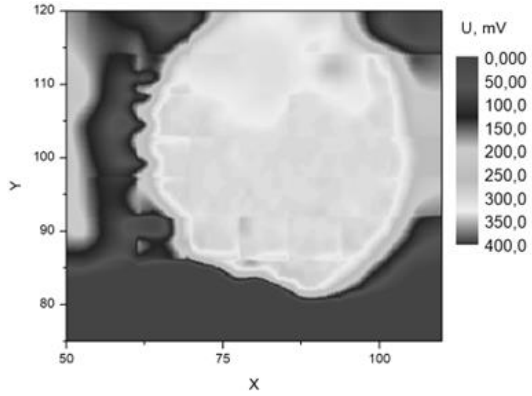


Рис. 2. Карта распределения поверхностного потенциала образца из политетрафторэтилена

Исходными данными являются координаты и относительные значения поверхностного электростатического потенциала в исследуемых точках.

Для визуального анализа распределения поверхностного потенциала, в программе OriginLab строится карта по результатам измерений. Написан скрипт, строящий матрицу 100×100 точек с заданным шагом. Координаты в исходных данных чаще всего не совпадают с координатами точек матрицы. Скрипт интерполирует исходные данные для замещения отсутствующих значений в матрице и присваивает цвет из градиента, создавая визуальное представление о равномерности распределения зарядов. В данном случае оптимальной является бикубическая интерполяция, ввиду получения наиболее четкого и визуально воспринимаемого для анализа изображения.

Литература

1. Термоактивационная спектроскопия пленок полиэтилентерефталата, облученных тяжелыми ионами ксенона / Ю. А. Гороховатский [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2021. – Т. 14., № 3. – С. 8–20.

2. Digital contact potential probe in studying the deformation of dielectric materials / K. Pantsialeyeu [et al.] // Informatics, Control, Measurement in Economy and Environmental Protection. – 2020. – № 10, vol. 4. – P. 57–60.

3. Determining the lifetime of minority charge carriers and iron impurity concentration in semiconductor structures with submicron layers / A. Zharin [et al.] // Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering. – 2020. – Vol. 2, Iss. 4, Article 3. – P. 17–21.

УДК 004.89

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В МЕДИЦИНЕ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Студент гр. 11307124 Саидова М. Д.
Кандидат физ.-мат. наук., доцент Гацкевич Е. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современная медицина активно участвует во внедрении искусственного интеллекта (ИИ) в систему здравоохранения для улучшения процессов диагностики, лечения и мониторинга пациентов. Одной из наиболее перспективных областей применения ИИ является медицинская визуализация. Визуализация играет ключевую роль в диагностике заболеваний, а ИИ может значительно повысить качество и точность диагностики, сократить время на обработку изображений.

В настоящей работе дан краткий анализ применения ИИ в обработке медицинских изображений. К методам медицинской визуализации относятся рентгенологические (флюорография, маммография, классическая рентгенография, КТ), ультразвуковые методы исследования (УЗИ, допплерография), методы, основанные на явлениях ядерного магнитного резонанса (МРТ, МР-диффузия, МР-перфузия) и некоторые другие. ИИ показал высокую эффективность при работе со следующими изображениями: маммограммы, КТ, МРТ и рентгеновские снимки [1]. На начало

лета 2024 года с помощью нейросетей было обработано более 12 миллионов исследований. Алгоритмы помогают находить на медицинских изображениях признаки 37 различных заболеваний, в том числе рака легкого, пневмонии, остеопороза, аневризмы аорты, ишемической болезни сердца и других патологий [1].

Ученые из Южной Кореи на основе машинного обучения разработали метод повышения точности скрининга рака молочной железы. Полученные результаты были опубликованы в The Lancet Digital Health [2]. Выборка исследования объединила 170 230 маммографий, которые были собраны в учреждениях Южной Кореи, США и Великобритании. Каждая маммография была оценена 14 рентгенологами на вероятность наличия злокачественного новообразования в молочной железе. Нейронная сеть показала высокие диагностические результаты: показатель AUC, оценивающий качество классификации, составил 0,9407. Рентгенологи, используя методы машинного обучения, могут точнее выявлять рак молочной железы [3].

Из результатов анализа интернет - источников следует, что ИИ может выступать в качестве инструмента для врача. Несмотря на высокую точность в выявлении патологий, алгоритмы ИИ могут выдавать неправильные результаты, что может привести к ошибкам диагностики заболеваний. Неправильные результаты могут возникать из-за неравномерного распределения данных, на которых обучаются алгоритмы. Например, если данные преимущественно представляют одну этническую группу, алгоритм может быть менее точным для других групп. Возникает проблема, кто будет нести ответственность за ошибочные диагнозы поставленные ИИ – врачи, разработчики или медицинское учреждение. Важно помнить, что ИИ только инструмент и принятие решения всегда должно оставаться за врачом.

Таким образом, визуализация в медицине при помощи ИИ имеет высокий потенциал для повышения качества диагностики и снижения нагрузки на врачей. При этом важно учитывать вызовы, которые возникают при использовании ИИ в медицине, и работать над их решением для достижения эффективного и этичного использования технологий ИИ.

Литература

1. Оценка точности искусственного интеллекта в медицине / Хабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/819825/. – Дата доступа: 02.03.2025.

2. Changes in cancer detection and false-positive recall in mammography using artificial intelligence: a retrospective, multireader study / Hyo-Eun Kim [et al.] // Lancet Digit Health. – 2020. – V. 2(3). – P. e138–e148.

3. Pinto-Coelho, LHow Artificial Intelligence Is Shaping Medical Imaging Technology: A Survey of Innovations and Applications // Bioengineering (Basel). – 2023. – V.10. – P. 1435(21).

УДК 517.925

НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ПЛОСКОСТИ И В ПРОСТРАНСТВЕ

Студент гр. 11311123 Соколов А. С.
Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Нелинейные системы дифференциальных уравнений (НСДУ) представляют собой важный класс математических моделей, которые описывают динамику различных процессов в природе и технике. Ключевыми свойствами НСДУ на плоскости и в пространстве являются непредсказуемость, множественность решений, сложность анализа.

Нелинейные системы на плоскости в пространстве. НСДУ в трехмерном пространстве может быть задана в виде:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x,y,z) \\ \frac{dy}{dt} = g(x,y,z) \\ \frac{dz}{dt} = h(x,y,z), \end{cases} \quad (1)$$

где $x(t)$, $y(t)$ и $z(t)$ – функции времени, а f, g и h – нелинейные функции трех переменных.

На плоскости системы имеют такой же вид, однако содержат на одно уравнение меньше.

Анализ устойчивости. Теория устойчивости движения – это раздел математики, изучающий поведение динамических систем во времени и их чувствительность к малым возмущениям начальных условий или параметров. Однако влияние этих возмущающих факторов на движение рассматриваемой системы неодинаково для различных рассматриваемых вариантов. На одни движения это влияние приближается к нулевому. Так же и на других движениях влияние возмущений сказывается значительнее, и в таком случае исследуемое движение сильно отличается от невозмущенного, несмотря на величину возмущающих сил. Так, движения первого рода называются устойчивыми, второго рода – неустойчивыми. Для анализа устойчивости НСДУ используют различные методы, изучающие свойства решений дифференциальных уравнений без нахождения самих решений, например метод линеаризации, метод Ляпунова, метод Лотки-Вольтерры и др.

По определению устойчивости по Ляпунову, рассмотрим дифференциальное уравнение вида $c'=f(x,y)$, где ф-я $f(x,y)$ определена и непрерывна в некоторой области $R=\{(x,y)|\ x\in (a,+\infty),\ c \in R_1\}$ и $f'y(x,y)$ ограничена в R. Пусть $c = \phi(x)$ – решение, удовлетворяющее начальному условию $c(x_0) = c_0$ (где $c_0 \in R_1$, $x0 \in (a, +\infty)$); $c = c'(x)$ – решение, удовлетворяющее начальному условию $c(x_0) = c'_0$. Если предположить, что решения $\phi(x)$ и $c'(x)$ определены для всех $x \geq x_0$, то тогда решение $c = \phi(x)$ уравнения $c' = f(x,y)$ называется устойчивым при x стремящимся к бесконечности, если для любого $\varepsilon > 0$ существует $\delta > 0$ такое, что для всякого решения $c = c'(x)$ этого уравнения из неравенства $|c'(x_0) - \phi(x_0)|=| c'_0 - c_0|< \delta$ следует неравенство $|c'(x) - \phi(x)|<\varepsilon$ для всех $x \geq x_0$.

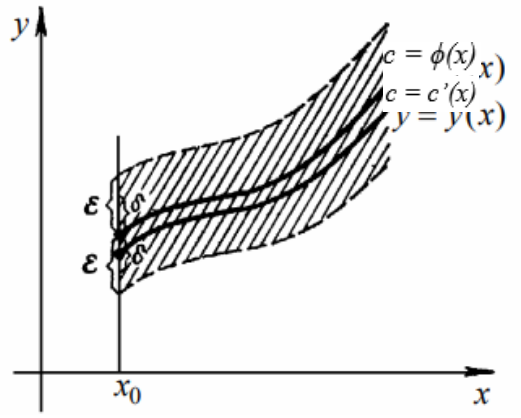


Рис. 1. Устойчивость решения по Ляпунову

Для примера рассмотрим систему:

$$\begin{cases} x' = 2y^3 - x^5 \\ y' = -x - y^3 + y^5. \end{cases} \quad (2)$$

Найдем стационарные точки из условий x' = 0 и y' = 0.
Для уравнения x' = 0:

$$2y^3 - x^3 = 0 \rightarrow x^5 = 2y^3. \quad (3)$$

Для уравнения y' = 0:

$$-x - y^3 + y^5 = 0 \rightarrow x = -y^3+y^5. \quad (4)$$

Подставим в первое уравнение $x = (-y^3 + y^5)$ и рассмотрим нулевое решение y = 0:

$$(-y^3 + y^5)^5 = 2y^2, \quad (5)$$

$$(-0 + 0)^5 = 2(0) \rightarrow x = 0. \quad (6)$$

Таким образом, стационарная точка (0,0). Исследуем ее на устойчивость. Найдем Якобиан:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x'}{\partial x} & \frac{\partial x'}{\partial y} \\ \frac{\partial y'}{\partial x} & \frac{\partial y'}{\partial y} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Вычислим частные производные:

$$\frac{\partial x\prime}{\partial x} = -5x^4, \frac{\partial x'}{\partial y} = 6y^2, \frac{\partial y'}{\partial x} = -1, \frac{\partial y'}{\partial y} = -3y^2+5y^4. \quad (8)$$

В точке (0,0):

$$\mathrm{J}(0,0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Рассмотрим характеристическое уравнение:

$$det\begin{bmatrix} -\lambda & 0 \\ -11 & -\lambda \end{bmatrix} = (-\lambda)(-\lambda) - (0)(-1) = \lambda^2 = 0. \quad (10)$$

Поскольку хотя бы одно собственное значение равно нулю, то метод линейного анализа не дает ответа о типе устойчивости. Необходимо использовать метод функций Ляпунова или углубленный нелинейный анализ.

Рассмотрим функцию Ляпунова:

$$V(x,y) = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}y^2. \quad (11)$$

Ее производная по времени:

$$V' = xx' + yy'. \quad (12)$$

Тогда после подстановки:

$$V' = x(2y^3 - x^5) + y(-x - y^3 + y^5) = 2xy^3 - x^6 - xy - y^4 + y^6. \quad (13)$$

Видно, что в окрестности (0,0) ведущими членами являются $-xy$ и $-y^4$, которые отрицательны для малых значений x и y. Следовательно, точка (0,0) является устойчивой по признаку Лапунова.

Применение. Нелинейные системы дифференциальных уравнений широко применяются в различных областях науки и техники для моделирования процессов, которые не могут быть описаны линейными моделями. Эти системы позволяют учитывать сложные взаимодействия и нелинейные зависимости между переменными. Рассмотрим основные области применения таких систем. Нелинейные уравнения используются для описания закономерностей течения жидкостей и газов, возникающих при турбулентности. В биологии применяются для моделирования работы сердца, нейронов и других систем. Системы дифференциальных уравнений встречаются при проектировании сложных систем управления, например, в авиации, робототехнике и энергетике, используются для анализа стабильности электросетей и предотвращения их аварий, играют важную роль при исследовании звуковых волн и вибрационных процессов. Архитектуры нейронных сетей основаны на решении нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику нейронов, так же применяются для создания безопасных алгоритмов шифрования.

Заключение. Нелинейные системы дифференциальных уравнений позволяют учитывать нелинейные взаимодействия, что делает их незаменимыми при анализе реальных проблем. Устойчивость и поведение систем могут быть очень чувствительными к начальным условиям и параметрам, что приводит к определенным сложностям при их изучении.

УДК 681

ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Студент гр. 11304124 Тимошенко Д. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Методы обработки экспериментальных данных (ОЭД) начали разрабатываться более двух веков тому назад в связи с необходимостью решения практических задач по физике, математике, механике и т. д.

Эмпирические исследования являются основным источником объективной информации о характеристиках процессов, протекающих в реальных объектах. Целью обработки экспериментальных данных является выявление закономерностей в характеристиках исследуемых объектов

и процессов. Результаты обработки экспериментальных данных позволяют оценить качество объекта, они необходимы для оперативного управления процессами, решения задач адаптации объекта к изменившимся условиям или формирования требований ко вновь создаваемым системам.

Для решения задач обработки данных используются различные статистические методы: проверка гипотез, оценивание параметров и числовых характеристик случайных величин и процессов, корреляционный и дисперсионный анализ. Чтобы решение задачи было проведено качественно, необходимо провести предварительную обработку данных, для того чтобы не возвращаться повторно к решению той или иной задачи после получения результатов на последующем этапе обработки.

По мере роста числа персональных компьютеров, расширения их возможностей стали разрабатываться специализированные программы, такие как: MATLAB, WOLFRAM, STATISTICA, ORIGIN и т. д. Данные программы широко используются для анализа экспериментальных результатов. Они позволяют систематизировать данные, обрабатывать их с использованием различных стандартных функций, а при необходимости- с использованием функций, создаваемых пользователем.

В настоящее время существует множество программ для обработки экспериментальных данных, и каждая из них показывает себя лучше других в каких-то конкретных отраслях. Чтобы понять, с помощью, какой программы, или каким методом проводить обработку данных, необходимо помнить, что в зависимости от точности и сложности эксперимента выбираются и методы обработки данных. Если эксперимент не предполагает особой точности и сложности можно выбрать простую программу и провести статистическую обработку, если же необходима высокая точность измерения, то и программу необходимо выбирать более сложную, т. е. технология обработки экспериментальных данных зависит от того результата, к которому стремится пользователь.

Литература

1. Максимова И. Н. Методы обработки экспериментальных данных / И. Н. Максимова. – Пенза: ПГУАС. – 2014. – 116 с.

2. Национальный открытый университет ИНТУИТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://intuit.ru/studies/courses/11246/1131/info.

3. Обработка экспериментальных данных в MS Excel : сост. Е. Г. Агапова, Е. А. Битехтина. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. унта, 2012. – 32 с.

4. Современные методы компьютерной обработки экспериментальных данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа- https://tstu.ru/book/elib/pdf/2006/polikarpov.pdf. – Дата доступа: 12.02.2025.

УДК 53.043

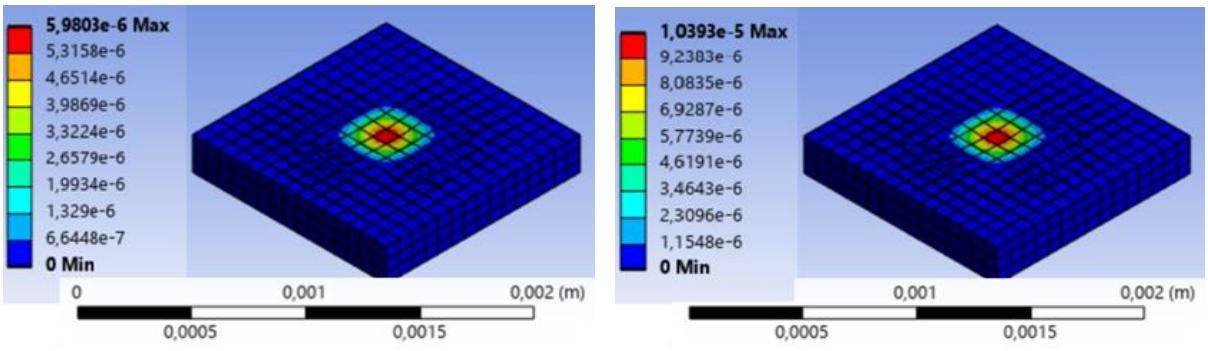
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ МЭМС-ДАТЧИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАН

Студент гр. 11304124 Тимошенко Д. В.
Кандидат техн. наук, доцент Реутская О. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Применение в конструкции МЭМС-датчиков базовых элементов современных микроэлектронных систем позволяет создавать новые изделия с воспроизводимыми и высокотехнологичными результатами [1]. Одним из базовых элементов датчиков является мембрана, выполненная на диэлектрических или полупроводниковых подложках. В основе физических и химических датчиков чаще всего используются тонкие мембраны (толщина составляет от 0,1 мкм до 100 мкм) [2]. При создании конструкции датчика проводят моделирование с построением и расчетом каждого элемента будущего изделия. Форма мембраны может отличатся между собой, что существенно влияет на механические свойства подложки.

Одним из конструктивных материалов для изготовления чувствительных элементов МЭМС-датчиков является ненапряженный нитрид кремния. благодаря своим диэлектрическим свойствам и высокой температурной устойчивости. Также нитрид кремния может выдерживать большие нагрузки, обладает высокими механической стойкостью и износоустойчивости [2].

Для определения влияния геометрии мембраны на ее механические свойства были построены модели кремниевого чувствительного элемента с размерами 1,2×1,2 мм. Толщина образца составила 200 мкм. На кремниевой пластине сформировали тонкую диэлектрическую мембрану из ненапряженного нитрида кремния толщиной 1 мкм. Общая площадь мембраны составила 75 % от площади пластины. Были выбраны мембраны восьмиугольной и прямоугольной формы. При проведении расчетов на напряжение установлено, что при одинаковых нагрузках, прочность пластины зависит от формы выреза. Таким образом, с приложенной нагрузкой 0,02 Н при использовании восьмиугольного выреза (рис. 1, *а*), максимальное напряжение составило $5{,}9803 \cdot 10^{-6}$ м, а при использовании прямоугольного выреза (рис. 1, *б*), напряжение составило $1{,}0393 \cdot 10^{-5}$ м.



а *б*

Рис. 1. Результаты моделирования напряжения, возникающего в тонких мембранах: *а* – восьмиугольной формы; *б* – квадратной формы

Форма мембраны зависит от особенностей конструкции и технических характеристик МЭМС-датчиков. Как видно из (рис. 1) сглаживание краев мембраны приводит к снижению механических напряжений, возникающих в конструкции чувствительного элемента, что в свою очередь увеличивает ее надежность при использовании в составе МЭМС-датчиков.

Литература

1. Mems membranes with nanoscale holes for analytical applications / Bagolini A. [et al.] // Membranes. – 2021. – Vol. 11. – №. 2. – P. 74.

2. Таратын, И. А. Особенности формирования слоев In2O3 для высокочувствительных газовых сенсоров / И. А. Таратын, О. Г. Реутская // Приборостроение-2020: материалы 13-й Международной научно-технической конференции, 18–20 ноября 2020 года. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 266–267.

УДК 004.8

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Студенты гр. 11305124 Харченко У. Д., Грабина В. С.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Искусственный интеллект (ИИ) революционизирует приборостроение, открывая новые направления и возможности. Вот некоторые из них:

Интеллектуальные сенсоры:

– самокалибровка и самодиагностика: ИИ позволяет сенсорам автоматически калиброваться и выявлять неисправности, снижая затраты на обслуживание и повышая точность измерений;

– адаптивные сенсоры: ИИ позволяет сенсорам адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, сохраняя высокую точность измерений.

Интеллектуальные измерительные приборы:

– прогностическое обслуживание: ИИ позволяет предсказывать время выхода из строя оборудования, что позволяет проводить плановые ремонтные работы, предотвращая внезапные поломки;

– улучшение точности измерений: ИИ может компенсировать погрешности измерительных приборов, используя алгоритмы машинного обучения для повышения точности.

Новые типы приборов:

– устройства с расширенной реальностью (AR) и виртуальной реальностью (VR): ИИ помогает создавать интерактивные интерфейсы для работы с измерительными приборами, улучшая удобство использования и наглядность.

Биомедицинские приборы: ИИ играет ключевую роль в разработке новых диагностических и лечебных приборов, например, систем анализа медицинских изображений.

Выводы:

– обеспечение надежности и безопасности: важно гарантировать надежность и безопасность систем ИИ, используемых в приборостроении;

– защита данных: необходимо обеспечить конфиденциальность и безопасность данных, собираемых приборами с ИИ.

В целом, ИИ открывает огромный потенциал для развития приборостроения, позволяя создавать более точные, надежные, и интеллектуальные приборы, которые способны решать сложные задачи в различных областях.

Литература

1. Петровский, А. С. Применение искусственного интеллекта в приборостроении / А. С. Петровский // Universum: технические науки. – 2024. – Т. 2. – №. 1 (118). – С. 10–14.

2. Использование искусственного интеллекта в создании приборов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fastfine.ru/readyworks/referaty/priborostroenie/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-sozdanii-priborov. – Дата доступа: 22.02.2025.

3. Специфика применения технологий искусственного интеллекта в строительстве. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-primeneniya-tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelstve/viewer. – Дата доступа: 22.02.2025.

4. Специфика применения технологий искусственного интеллекта в строительстве. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by//handle/data/141091/129-136.pdf?sequence=1isAllowed=y. – Дата доступа: 22.02.2025.

УДК 681

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Студент гр. 11304124 Чимбур А. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Часто числовые данные представлены в виде набора значений, полученных в результате расчетов, исследований и экспериментов. Интерполяция – удобный и практичный инструмент для нахождения функций из дискретных наборов значений.

Интерполяция – это нахождение неизвестных промежуточных значений некоторой функции по имеющемуся дискретному набору ее известных значений определенным способом. Часто на основании некоторых наборов чисел требуется построить функцию, на которую могли бы с высокой точностью попадать другие получаемые значения. Такая задача называется аппроксимацией. Интерполяцией называют такую разновидность аппроксимации, при которой кривая построенной функции проходит точно через имеющиеся точки данных [1].

Факторы влияющие на метод интерполяции различны, в них включены такие факторы как точность, монотонность, сложность вычислений и сам характер данных, так же важен объем этих данных.

Существует несколько методов интерполяции: линейная, полиномиальная, ближайшего соседа, многочлен Лагранжа и Чебышева и др.

В приборостроении применяют различные из этих методов интерполяции. Линейный метод подразумевает собой частный случай интерполяционной формулы Лагранжа – многочлена минимальной степени, принимающий значения в заданном наборе точек, что решает поставленные задачи интерполяции. Самым простым является метод ближайшего соседа, однако на практике метод многочленов является проще и эффективнее, так как многочлены легко вычислять, проще

аналитически находить их производные и множество многочленов плотно в пространстве непрерывных функций [2].

Метод многочленов Чебышева является наиболее удобным для приборостроения и микроэлектроники, так как он использует неравномерно распределенные узлы, что уменьшает погрешность вычислений, так же он устойчив к шуму, то есть к ошибкам данных [3].

Важнейшими задачами интерполяции в приборостроении является точность и универсальность к большинству функций. Таким образом метод интерполяции многочленов Чебышева наиболее оптимален в данном направлении, благодаря своей высокой точности, устойчивости к осцилляциям и шуму, а также хорошей сходимости. С ее применением возможно создать более точные, надежные и эффективные приборы и электронные устройства. Это может быть применимо для калибровки датчиков, моделирования сложных процессов, коррекции нелинейностей, которые часто встречаются у электронных компонентов, а также аппроксимации функций фильтров. Несмотря на некоторые ограничения, это прекрасный инструмент для инженеров и ученых, работающих в этих областях.

Литература

1. Берг, Й. Интерполяционные пространства. Введение / Й. Берг, Й. Лефстрем. – М.: Мир, 1980. – 264 с.

2. Ибрагимов И. И. Методы интерполяций функций и некоторые их применения. – М.: Высшая школа, 1971. – С. 52–180.

3. Васильев, Н. Многочлены Чебышева и рекуррентные соотношения / Н. Васильев, А. Зелевинский // Квант. – 1982. – № 1. – С. 12–19.

УДК 681

РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С МЕТАЛЛОМ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Студент гр. 363-2 Шувалов А. В., студентка гр. 363-1 Галиханова М. Р.
Кандидат. техн. наук, доцент Пахмурин Д. О.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

В настоящее время металл с памятью формы достаточно активно применяется в различных областях техники. В частности, он может применяться и в медицине. На базе ТУСУР был разработан комплекс локальной гипертермии «Феникс-2», позволяющий осуществлять лечение опухолевых заболеваний путем нагрева. Он может работать с различными видами нагревателей, и на данном этапе возникла идея разработать нагреватель на базе проволоки из нитинола, обладающего эффектом с памятью формы для сложных областей воздействия. Для работы с таким материалом необходимо рассчитать параметры источника питания (его мощность), основываясь на известных свойствах проволоки из нитинола – ее длине, толщине, составе сплава (процентное содержание никеля и титана), а также необходимом времени и уровне нагрева.

Для расчетов использовались следующие параметры: время нагрева: 1 час.; диаметр проволоки: 0,3 мм; длина проволоки: 20 см; состав сплава нитинола: никель 55 %, титан 45 %; конечная температура проволоки: 400 °С. Температура 400 °С и время нагрева в один час были выбраны потому, что именно при этой температуре происходит закалка нитинола, фиксирующая его форму, причем сам процесс может занять несколько минут или даже несколько часов.

Удельная теплоемкость и плотность нитинола рассчитывались по формулам (1) и (2) [1]:

$$c = n_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot c_2, \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость нитинола; c_1, c_2 – удельная теплоемкость титана и никеля соответственно; n_1, n_2 – процентное соотношение титана и никеля в сплаве соответственно.

$$\rho = n_1 \cdot \rho_1 + n_2 \cdot \rho_2, \quad (2)$$

где ρ – плотность нитинола; ρ_1, ρ_2 – плотность титана и никеля соответственно.

Количество тепла, необходимое для нагрева нитиноловой проволоки до требуемой температуры, зависит от размеров проволоки, ее начальной и конечной температур, а также удельной теплоемкости материала и рассчитывается по формуле (3) [2]:

$$Q = \frac{c\rho\pi D^2 L}{4}(T_2 - T_1), \quad (3)$$

где D – диаметр сечения проволоки; L – длина проволоки; T_1, T_2 – начальная и конечная температуры соответственно.

Для определения необходимой мощности источника питания используется формула (4), связывающая количество тепла, время нагрева и энергию, которую источник должен передать проволоке.

$$P = \frac{Q}{t}, \quad (4)$$

где t – время нагрева проволоки.

Подставив заданные параметры в формулы (1) – (4), получаем: удельная теплоемкость нитинола 485 Дж/(кг·°С); плотность равна 2033 кг/м^3; требуемое количество тепла составляет $3{,}223 \cdot 10^6$ Дж. Таким образом, получается, что для нагрева указанной проволоки в течение часа до температуры 400 °С необходима мощность 896 Вт.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, номер проекта FEWM-2024-0003.

Литература

1. Жигальский, А. А. Технология материалов электронной техники: учебное пособие [Электронный ресурс] / А. А. Жигальский. – Томск: ТУСУР, 2006. – 143 с. – Режим доступа: https://edu.tusur.ru/ publications/554. – Дата доступа: 15.02.2025.

2. Физика. Базовый курс: учебное пособие / А. А. Повзнер, А. Г. Андреева, К. А. Шумихина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – Ч. 2 – 144 с.

УДК 531

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТРУНЫ ПО ЕЕ СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Студент гр. 10305224 Шушунов В. А.
Кандидат. физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Анализ спектральных характеристик струн позволяет изучать свойства материалов, из которых они изготовлены, и оценивать их прочность, упругость и другие механические характеристики. Точное определение параметров струн является фундаментальной задачей в области акустики, также важно для материаловедения. Разработка методов для определения параметров струн открывает новые возможности для создания систем управления музыкальными инструментами, а также для автоматизации процессов настройки и контроля качества звучания. В данный работе описывает вывод алгоритма определения параметров материала струны, таких как модуль Юнга, сила натяжения на основе анализа спектра ее колебаний.

Рассматривается цилиндрическая, однородная по всей длине струна из изотропного материала. При малых колебаниях частоты собственных колебаний струны описываются формулой (формула Меерсона) [1]: $\nu_n = \frac{n}{2l}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$, где n - номер гармоники (n = 1 – основная частота, определяющая высоту звука, n > 1 – обертоны), l – длина струны, T – сила натяжения струны, μ – линейная плотность струны. Линейная плотность связана с плотностью ρ материала струны и площадью поперечного сечения S: $\mu = \frac{m}{l} = \rho S$, $S = \frac{\pi d^2}{4}$, где d – диаметр струны, m – масса струны. Используя эти формулы, можно получить выражение для силы натяжения струны:

$$T = \frac{4l}{n^2} m \nu_n^2. \quad (1)$$

Модуль Юнга E связан с плотность материала и скоростью распространения волны v [1] как $E = \rho v^2$, и для закрепленной с обоих краев струны: $v = 2l\nu_1$, ν_1 – основная частота. Из этих формул имеем:

$$E = \frac{16ml}{\pi d^2}\nu_1. \quad (2)$$

Таким образом, получается следующий пошаговый алгоритм: измерить массу *m*, длину *l*, диаметр *d* струны.

Возбудить колебания струны.

С помощью датчика регистрации колебаний (например, акселерометр, лазерный виброметр), аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и программного обеспечения компьютера, записать сигнал.

Выполнить обработку сигнала: удалить шумы и помехи с помощью фильтров, нормализовать сигнал для удобства дальнейшей обработки, выполнить спектральный анализ сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ). В результате определить собственные частоты колебаний струны.

Рассчитать по формулам (1), (2) силу натяжения и модуль Юнга материала струны.

Представленный алгоритм позволяет определить параметры материала струны на основе анализа спектра ее колебаний. Точность определения параметров материала зависит от точности измерений и качества обработки сигнала. Этот метод может быть использован для исследования свойств различных материалов в различных областях, таких как акустика, материаловедение и другие, а также для контроля качества струн музыкальных инструментов.

Литература

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин. – 5-е изд. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – Т. 3: Электричество. – 656 с.

СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОСФЕРА И МЕНЕДЖМЕНТ СПОРТА

УДК 796.05

MODERN HARDWARE IN ASSESSING SPEED-STRENGTH ABILITIES

Master's student Dang Yitong
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor. Karneichyk V.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Explosive force generated by the fusion of speed and strength is critical in sports that rely on cyclical reactions and high-intensity performance, such as sprinting, jumping and throwing. Winning or losing a sprint depends on the efficiency of explosive force in milliseconds, jumping distance is directly determined by the level of instantaneous release, throwing force range depends on precise control that translates into speed. In this regard, scientific assessment of speed-strength training has become a key link in optimizing competitive performance.

Although traditional methods are valuable, they cannot provide comprehensive and objective data, and often rely heavily on selective assessment and manual measurements. Modern hardware provides accuracy and feedback. Nowadays, hardware devices represented by high-precision force platforms, linear sensors and 3D motion capture, as well as data analysis software, are digitizing sports training. With the integrated use of hardware, coaches can more effectively evaluate athletes' performance in speed-based strength training, detect problems early, adjust plans, and thus improve athletes' competitiveness. Feedback is important in many ways during training. It not only helps correct errors and clarify directions, but also improves skill levels and plays a key motivational role in the entire training cycle. Feedback, as a control interactive mechanism, runs through the entire training process and is a key factor in improving training results and achieving goals.

Force plates or 3D force plate systems are professional equipment used to measure and analyze force supports. The basic principle of force plates is to use a flat plate as a support surface with resistance strain gauges. When the surface is pressed, the strain gauge causes a change in resistance value due to a change in position or compression. The weak process signal generated by these changes is calculated and processed by a computer to obtain an image of the vertical contact stress distribution.

A linear transducer (LPT) is a device used to measure the displacement of an object during linear motion and is widely used in strength training, sports science, and disaster management. In high jump, triple jump, and other sports, it can be used to measure an athlete’s take-off time and airborne time to evaluate their technical movements and explosive power [1].

In team sports such as football and basketball, Timing Gates can be used to measure key metrics such as an athlete’s sprint speed, passing speed, and throwing speed, helping coaches improve team performance.

An accelerometer is a sensor that measures acceleration force, capable of detecting both static forces (such as gravity) and driving forces. Its core technology, based on microelectromechanical devices (MEMS), which enables the production of mechanical and electronic components on a micrometer scale, allows accelerometers to make highly accurate measurements in very small spaces. Motion power analysis systems are a high-tech device that is specifically used for evaluation.

Motion Power Analysis Systems is a high-tech device that is specifically used to evaluate and analyze the mechanical properties of the human body or other objects during motion. It can accurately measure and analyze key biomechanical parameters such as force, speed, acceleration, and power during motion by integrating a variety of sensors and data acquisition technologies.

The integration of cutting-edge technologies such as force plates, linear position sensors, timing gates, accelerometers, isokinetic dynamometers and motion analysis systems has completely changed the way we evaluate and train athletes. These tools provide coaches and athletes with quantitative data, real-time feedback and in-depth performance analysis, allowing them to make informed decisions on training strategies and injury prevention.

References

1. Velocity-based training: From theory to application / J. Weakley [et al.] // Strength and Conditioning Journal. – 2021. – Vol. 43, iss. 2, – P. 31–49.

УДК 796.346.2

IMPACT OF MEMS-SENSORY TENNIS RACKETS ON IMPACT TECHNIQUE ANALYSIS

Student of group 11310122 Goranov I. V., Master of group 51313224 Tan Jiang Yan
Senior Lecturer Liutsko K. S.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Analysis of the best world tennis practice shows that only a well-established long-term system of training a sports reserve ensures the continuity of the training process from beginner athletes to the level of international masters, ensuring stable success and guaranteed replenishment of a stable, high-quality reserve of national teams.

In this regard, the implementation of a project related to the search for and improvement of tennis players' training methods, starting from the initial stages of sports training in doubles and mixed categories, is relevant. The most important condition for enhancing the effect of such a system is cluster interaction and the creation of an interregional network of tennis centers to form a sports reserve in doubles and mixed categories. The use of modern developments, such as Dartfish, PlaySight, the Sony smart tennis sensor, etc. will speed up the development of the process and provide effective methods for training tennis players in doubles and mixed categories [1].

Tennis rackets with MEMS sensors are also called smart rackets. Examples of such MEMS sensors are the Sony smart tennis sensor and the Zepp tennis swing analyzer.



Fig. 1. MEMS sensor in a racket

With the advent of smart rackets, tennis players have been able to analyze their games more deeply. These rackets are equipped with sensors that record data on each hit.

Advantages of smart rackets:

– Collection of data on each hit: sensors record information on the speed, rotation, force of impact and angle of the racket.

– Analysis and progress tracking: players can use the data to analyze their strengths and weaknesses, track their progress, and adjust their technique.

– Integration with mobile apps: special apps allow you to study the collected data in detail, create personalized training plans.

Such rackets help players and coaches build more effective strategic plans and improve their hitting technique. Players can see how their performance changes over time and make the necessary adjustments to achieve better results.

References

1. Yushin, A. V. Improving the system of training tennis players in doubles and mixed categories / A. V. Yushin, A. A. Knyazev, B. N. Naidanov // The role of experimental and innovative activities in the system of developing the system of training of sports reserves: materials of the All-Russian scientific and practical conference. – 2019. – P. 403–408.

УДК 796.323.2

EFFECTIVENESS AND SHOOTING ERRORS IN BASKETBALL

Master's student gr. 7-06-1012-01 Jingye Hu
PhD in Technical Sciences, Associate Prof. Burak V. A.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The evaluation of shooting results is a critical component in basketball technique research, directly tied to the validation of training efficacy and the optimization of game strategies. As the primary means of scoring in basketball, shooting outcomes reflect not only a player's technical proficiency but also their integration into tactical execution and team coordination [1]. Traditionally, shooting result evaluation has relied heavily on the singular metric of shooting percentage. However, with the advent of digital technologies, assessment methodologies have evolved from qualitative observations to multidimensional quantitative analyses [2].

Proper shooting mechanics and effective power transfer are critical for improving accuracy. Below is a detailed breakdown of common mistakes:

1. Insufficient Lower Body Engagement. Many players fail to fully utilize leg power, resulting in disjointed movements and inefficient energy transfer. For example, a delayed or weak push-off from the toes, combined with inadequate hip and knee flexion, disrupts the kinetic chain from the lower to upper body.

2. Lack of Core Activation. Weak core engagement compromises stability during the shot. Players who arch their spine backward mid-shot often lose balance, highlighting the importance of core strength in linking upper and lower body movements.

3. Upper Body Coordination Issues. Poor synchronization between the arms and torso leads to erratic shooting motions. A common flaw is elbow flaring paired with overly aggressive arm movements, which destabilizes the release.

4. Incorrect Finger and Hand Mechanics. Improper finger control negatively impacts ball rotation and trajectory. Shots with insufficient backspin or sideways drift often stem from fingers failing to guide the ball cleanly off the hand.

5. Improper Foot Positioning and Movement. Misaligned feet (e.g., toes pointed outward) or excessive heel lift disrupts balance and power flow. Stable footwork forms the foundation for consistent shooting.

6. Excessive Forward Lean. Overleaning the upper body shifts the center of gravity forward, compromising balance. This often occurs when players reach toward the basket instead of shooting vertically.

7. Tension and Anxiety. Mental strain manifests physically through stiff mechanics. Nervous shooters frequently exhibit robotic motions rather than fluid, natural form.

8. Incorrect Timing of Power Generation. Initiating the shot with the arms instead of the legs breaks the kinetic sequence. Proper shooting requires legs to generate force, which the upper body then channels into the release.

9. Suboptimal Release Point and Arc. A release point too low reduces shot arc, while an excessively high release wastes energy. Finding the «golden ratio» of height and distance is key for efficient shooting.

10. Interference from the Guide Hand. Poor placement of the non-shooting hand (too high/low or uneven pressure) can alter the ball's path. The guide hand should stabilize without any influencing the release.

Effective shooting in basketball combines biomechanical precision with mental relaxation and focus. By addressing these technical and psychological elements, players can systematically improve their accuracy.

References

1. Yang, X. Research on free throw shooting skills in basketball games / X. Yang // BioTechnol. Indian J. – 2014. – Vol. 10. – P. 11800–11805.

2. Smith, J. Technology in Sports Training // Journal of Sports Science. – 2020. – Vol. 38, № 5. – P. 678–685.

УДК 796.01:61

RESEARCH ON THE PREVENTION OF LUMBAR MUSCLE STRAIN IN SHORT JUMP ATHLETES BASED ON FUNCTIONAL TRAINING

Master's student group 51313224 Junru Yang
PhD, Associate Prof. Kovel S. G.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

This study focuses on the high injury rate of the lumbar muscle groups in athletes of sprinting and jumping events, and constructs a comprehensive intervention plan that integrates the optimization of functional movement patterns and the regulation of biomechanical loads. Through sports biomechanics modeling and electromyography analysis, it is found that the low efficiency of power transmission in the lumbar-pelvic segment of the special action chain is the main cause of strain.

Sprinting and long-jumping events place extremely high demands on athletes' physical fitness. Athletes' lumbar regions bear tremendous pressure during daily training and competitions, making them highly susceptible to lumbar muscle group injuries. Lumbar muscle group injuries not only disrupt training and affect athletes' performance in competitions but may also lead to premature retirement from their sports careers due to long-term accumulation of damage. The functional training theory emphasizes simulating real sports scenarios to enhance the overall function of the body, which is highly effective in preventing athlete injuries. Applying this theory to the prevention of lumbar muscle strain in sprinting and long-jumping athletes can provide strong support for their health and long-term development.

Statistics from the International Association of Athletics Federations (IAAF, 2022) show that the annual strain incidence rate among short-distance, hurdle, and jumping athletes is as high as 42,7 %, with injuries to the psoas major muscle and the thoracolumbar fascia complex accounting for 63 % of the total. Although traditional strength training can enhance explosive power, it easily causes the lumbar flexion-rotation coupling load to exceed the standard (>3400 Nm). This contradiction highlights the urgency of establishing a specialized sports protection system.

Research on the dynamic characteristics of special injuries shows that during sprinting, the rapid leg extension and arm swing of athletes generate strong reaction forces that are transmitted to the lumbar region, subjecting it to huge pressure. In this state, the risk of sarcomere misalignment significantly increases, leading to the accumulation of micro-injuries. During long-jumping, incorrect take-off angles and poor landing postures expose the lumbar region to abnormal impact and torsional forces, which can damage the lumbar muscles and tissues.

During daily training, functional training interventions are carried out by adding power chain efficiency training. For sprinting events: The 1080Sprint system is used to implement the «hip-knee-ankle three-joint sequential activation training» to quantify the distribution of extension torque and enhance the anti-rotation stiffness of the trunk. For long-jumping events: A «pre-activation – cushioning» two-stage training is designed. A force-measuring platform is used to provide real-time feedback on landing kinetic parameters, and air-cushion obstacle jumping training is carried out, which can reduce the lumbar impact load by 22,4 % ($p = 0,012$).

Before training and competitions, targeted functional warm-up activities such as dynamic stretching and joint mobilization exercises are carried out to increase the temperature of the lumbar muscles, enhance their flexibility, and make the joints more mobile. After training, sufficient static stretching, especially for the lumbar muscles, such as sitting forward bends and lumbar torsion stretches, is performed to effectively relax the lumbar muscles, relieve muscle fatigue, and reduce the probability of muscle soreness and injury.

The conclusion of this study is that functional training optimizes the lumbar load distribution pattern through neuromuscular remodeling, significantly reducing the risk of lumbar muscle strain. By strengthening core stability, improving muscle strength balance, optimizing movement patterns, and reasonably arranging warm-up and stretching, the risk of lumbar muscle strain in athletes can be significantly reduced, athletic performance can be enhanced, and athletes' physical health can be guaranteed. In future training, the functional training theory should be further promoted and applied based on the individual differences and event characteristics of athletes. Personalized training programs should be developed to safeguard the long-term development of sprinting and long-jumping athletes. It is recommended that an

intelligent protection system be established in the future, integrating real-time monitoring by inertial sensors and personalized load adjustment to achieve precise injury prevention.

References

1. Kibler W. B. Biomechanical analysis of lumbar loading during sprinting // J Sports Sci. – 2021. –39(5). – P. 521–528.

2. IAAF. Global Injury Surveillance Report. 2022.

3. McGill S. Low back disorders: evidence-based prevention and rehabilitation. – Human Kinetics, 2015.

4. Wang Weixing, Li Chunlei Study on the effect of functional training on lumbar spine stability of athletes // Chinese Journal of Sports Medicine. – 2023. – 42(2). – P. 89–95.

УДК 796/799

DEVELOPMENT AND POPULARIZATION OF WUSHU IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Master's student Liu Yan Fei
Candidate of tech. sciences Davidova E. A.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Wushu is a modern sport that evolved from traditional forms of physical culture in China. Wushu is based on fist fighting and fencing techniques, various types of traditional acrobatics, Beijing opera (qingju), breathing exercises and special psychoregulatory exercises.

Sports wushu includes almost all currently existing styles and varieties of this ancient art, since the rules of the competition are designed to allow judges, based on a certain set of parameters, to classify and evaluate on a ten-point scale any of the existing types of wushu. Thus, the division into sports and traditional wushu is conditional, and it is more legitimate to divide wushu into sports and mass, which is a national type of physical culture in the PRC.

Wushu is a complex coordination sport that has a multifaceted effect on the body of the practitioner.

The variety of wushu types makes it an accessible means of physical culture for different age groups and contingents of practitioners. Wushu promotes the development of such qualities as agility, strength, endurance, reaction speed, develops coordination, a sense of balance, and provides the necessary self-defense skills.

An important positive feature is that wushu classes do not require special inventory and equipment and do not impose excessive demands on the place where they are held. In accordance with the International Competition Rules, wushu is divided into the following types: guiding taolu – standard regulated complexes (this section includes: changquan, nanquan, taijiquan, jianshu, taijijian, daoshu, nandaoshu, gunshu, nangunshu, qiangshu); zixuan taolu – arbitrary regulated complexes with mandatory elements (this section includes: changquan, nanquan, taijiquan, jianshu, daoshu, gunshu, qiangshu); chuantun wushu – traditional wushu complexes; duilian – a fight with a predetermined sequence of movements; jitibiaoyan group performances; wushu sanda – free wushu fights on a platform in protective equipment; wushu taiji tuishou – free fights using taijiquan techniques, as well as competitions in shuaijiao (Chinese wrestling, the techniques of which are used in all wushu schools), and duanbing and changbing sanxiang – fencing based on wushu techniques with short and long weapons.

Over the past fifteen years, wushu has been developing rapidly throughout the world. In 1991, the International Wushu Federation (IWUF) was established, recognized by the World Association of Sports Federations (SPORTACCORD) and the International Olympic Committee (IOC). The International Wushu Federation includes 147 countries, the World Championship and the European Championship are held every two years, the World and European Championships in traditional wushu have developed competition rules and a classification program. To determine the level of sports training of those involved, a qualification program and duanwei standards have been created.

In the Republic of Belarus, wushu has been recognized as a sport since 1988, when the first federation of wushu and national Vietnamese martial arts was created. Subsequently, the federation became known as the Belarusian Wushu Federation.

The Belarusian Wushu Federation was accepted into the International Wushu Federation in 1991, and into the European Wushu Federation in 1992. On November 28, 1996, the Belarusian Wushu Federation was recognized by the National Olympic Committee of the country.

Every year, the interest of the country's population in this oriental sport and culture grew. Currently, there are about three thousand people practicing wushu in the country, however, we consider it necessary to further popularize this type of sport in Belarus.

References

1. Types of martial arts [Electronic resource]. – Access mode: https://rsbi.ru/sports/37/. – Access date: 26.02.2025.

2. History [Electronic resource]. – Access mode: https://bywuf.org/about/history/. – Access date: 27.02.2025.

УДК 681

FUNDAMENTAL CONCEPTS OF TEACHING MOTOR ACTIONS AND THE SPECIFICS OF THEIR APPLICATION WHEN WORKING WITH ELDERLY AND OLDER PEOPLE

Master's student of group 51313224 Qiu Tian
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The goal of this paper is to examine the teaching of motor actions to elderly individuals, focusing on addressing the challenges posed by aging. The objectives are:

1. To understand the impact of aging on motor skill acquisition and retention.
2. To propose teaching methods that prioritize safety, engagement, and efficacy.
3. To emphasize the role of motor actions in enhancing physical health and mental well-being in older adults.

Teaching motor actions to the elderly is increasingly important as global life expectancy rises. Motor skill training can help maintain mobility, reduce fall risks, and support independence, thus improving overall quality of life for aging populations.

Definition and Importance of Motor Actions for Older Adults

Motor actions involve voluntary, goal-directed movements controlled by the nervous system. For older adults, maintaining motor skills is essential for daily activities, such as walking, climbing stairs, and carrying objects. Motor actions also play a critical role in fall prevention and improving overall physical fitness.

Age-Related Changes in Motor Skills:

– Physiological Decline: Reduced muscle mass (sarcopenia), slower reaction times, decreased joint flexibility, and reduced bone density.

– Neurological Changes: Slower neural processing and diminished proprioception affect coordination and balance.

– Psychological Factors: Fear of falling, reduced self-confidence, and motivation impact the ability to learn new motor skills.

The stages of motor learning—cognitive, associative, and autonomous—are equally relevant to older adults but require modifications to accommodate slower learning and retention rates.

Age-Specific Characteristics and Teaching Strategies.

Physical Characteristics of Older Adults:

1. Reduced strength and endurance require adjustments in activity intensity.
2. Limited joint mobility demands exercises that improve flexibility gradually.
3. Balance issues necessitate a focus on stability training.

Teaching Strategies:

1. Cognitive Stage:

– Use clear, simple instructions and demonstrations.

– Encourage repetition to build confidence.

2. Associative Stage:

– Provide regular feedback to correct movement patterns.

– Gradually increase task complexity.

3. Autonomous Stage:

– Reinforce consistency in practiced movements.

– Introduce slight variations to maintain engagement.

Psychological Support:

– Address fear of failure by creating a supportive, non-judgmental environment.

– Set achievable goals to build confidence and sustain motivation.

Methodology.

Teaching Approaches for Older Adults:

1. Progressive Exercises: Start with simple movements and increase complexity based on individual capabilities. For example, teaching sit-to-stand transitions before progressing to step-ups.

2. Balance and Stability Training: Use exercises such as standing on one leg, tandem walking, and using balance boards.

3. Functional Movements: Incorporate daily activities like bending, reaching, and walking into training routines.

4. Technology and Tools: Use resistance bands, lightweight dumbbells, and stability balls to enhance engagement and strength.

Practical Steps for Implementation:

– Conduct a pre-assessment to evaluate physical and cognitive abilities.

– Develop personalized plans that consider medical conditions, such as arthritis or osteoporosis.

– Include warm-up and cool-down exercises to reduce injury risks.

Challenges:

– Physical Limitations: Chronic conditions like arthritis, cardiovascular disease, or diabetes may limit participation.

– Cognitive Decline: Conditions like dementia can impair learning and retention of motor skills.

– Motivational Barriers: A lack of confidence or fear of injury may reduce engagement.

Solutions:

– Adapt Exercises: Modify movements to ensure safety and comfort. For example, seated exercises for individuals with limited mobility.

– Incorporate Social Interaction: Group exercises can increase motivation and adherence.

– Use Positive Reinforcement: Praise progress and set short-term, achievable goals.

Conclusion.

Teaching motor actions to older adults is a critical component of promoting independence, preventing falls, and enhancing overall quality of life. By considering age-related physiological and psychological changes, educators and trainers can develop effective and safe teaching methodologies. Future research should focus on integrating emerging technologies, such as virtual reality, to further enhance motor learning for this demographic.

References

1. Hunter, G. R. Sarcopenia and Muscle Function in Aging / G. R. Hunter, J. P. McCarthy, M. M. Bamman. – 2020. – 280 p.

2. Rikli, R. E. Functional Fitness for Older Adults / R. E. Rikli, C. J. Jones. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2013. – 224 p.

3. Schmidt, R. A. Motor Learning and Performance / R. A. Schmidt, T. D. Lee. – 6th ed. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2019. – 528 p.

4. Haywood, K. M. Life Span Motor Development / K. M. Haywood, N. Getchell. – 7th ed. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2021. – 456 p.

5. Sherrington, C. Exercise for Preventing Falls in Older Adults / C. Sherrington [et al.]. – 2019.

УДК 37

FEATURES OF THE TRAINING METHODOLOGY FOR YOUNG SCHOOL FOOTBALL PLAYERS

Undergraduate gr. 51313124 Tang Siqing [1, 2]
PhD, Associate Professor Reutskaya O. G.[1]
[1]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus
[2]Wuhan Institute of Sports, Wuhan, China

With the development of soccer all over the world and the popularization of school soccer, the science of youth soccer training is getting more and more attention. Children in the lower age group (6–12 years old) are in the sensitive period of physical quality development, and their bones, muscles, and nervous system are more plastic, but their cardiorespiratory function, coordination, and attention are not yet mature. Traditional physical training focuses on single quality (e. g. strength, speed), but ignores movement pattern optimization and injury prevention, while functional training emphasizes multi-joint synergy, movement quality and special migration ability, which is more in line with children's physical and mental development.The aim of this study is to explore the soccer-specific physical training program suitable for low-age youth, combined with the concept of functional training, to improve their strength, speed, agility, flexibility and other qualities, optimize the basic movement patterns, reduce the risk of sports injuries, and provide theoretical support for the scientific training of youth soccer.

This paper takes the influence of functional training on the physical quality of 6–7-year-old soccer players as the research object, and realizes the investigation of the research object by analyzing and discussing the changes in the physical quality of the trained players before and after.

In this study, 30 soccer players aged 6–7 years old were selected to study the strength, agility and speed qualities, which were reflected by the 30 m test, standing long jump test and obstacle course running test respectively. After 3 months of physical training, team A improved more than team B after 3 months of traditional soccer training, with the most prominent improvement in agility (Table 1).

Table 1

Group	Pre-test/Post-test	Mean (seconds)	Improve
A team	Pre-test	7,2713	0,4567
	Post-test	6,8146	
B team	Pre-test	7,0833	0,3447
	Post-test	6,7386	

Through the analysis of the data before and after the experiment, targeted physical training has a significant effect on the four qualities of strength, speed, flexibility and agility, especially flexibility and agility, which are far more effective than traditional soccer training. Through the optimization of basic movement patterns, strengthen the body power chain, enhance neuromuscular coordination, improve the balance and stability of the movement, multi-dimensional stimulation of muscle synergy, reduce the risk of local load overload are different from traditional soccer training.

Traditional soccer training, for the quality of strength and speed to improve the quality of the obvious, but for the quality of sensitivity and flexibility of the quality of the effect is not good, its excessive reliance on the repetitive, large load training methods easily lead to the development of flexibility and sensitivity is not enough, so the long-term training is also prone to trigger muscle tension and action compensation. Moreover, the traditional soccer training for children aged 6–7 years old lacks interesting design, which makes it difficult to activate the learning motivation.

By combining the results of this experiment and previous training experience and research, and referring to the views of relevant experts, we believe that in the soccer training for children in the younger age group, we should adopt a fusion training design, step by step, with functional training as the main focus, to establish the movement standards, integrate flexibility training into the game, and set up an obstacle challenge with the use of equipment, to synchronize the development of sensitivity and coordination.

УДК 37

RESEARCH ON THE CHARACTERISTICS, DILEMMAS AND REFORM PATH OF YOUTH FOOTBALL DEVELOPMENT

Undergraduate gr. 51313124 Wang Jiafeng[1, 2]
PhD, Associate Professor Reutskaya O. G.[1]
[1]Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus
[2]Xi'an Sports College, Shaanxi, Chine

China's youth soccer development is faced with many deep-rooted contradictions, the most fundamental of which lies in the systemic flaws of the separation of sports and education and capital-driven short-termism. The systemic flaws in the separation of sports and education have seriously hindered the cultivation and growth of youth soccer talents.

Under the current education and sports system, academics and soccer training have become a "see-saw" that is difficult for young players to balance. School education focuses on academic performance, with promotion as the main goal, which puts students involved in soccer training under tremendous academic pressure. Once they encounter difficulties or make poor progress on the path of soccer development, many students choose to give up soccer because of the academic lag. For example, the junior high school stage, as a critical period of gradually increasing academic pressure, is also the peak period of soccer brain drain, as illustrated by the 70 % elimination rate. This model of separation in sport and education has made it impossible for a large number of talented young people to devote themselves to soccer training, and it is difficult for them to find a sustainable path between academics and soccer, thus resulting in a precipitous loss of talent.

Capital-driven short-termism, on the other hand, has had a serious impact on the long-term stable investment in youth soccer development. During the period of gold-dollar soccer, a large amount of capital poured into the soccer field, but these capitals focused more on short-term results and commercial interests.In order to pursue short-term results in matches, clubs often invested heavily in bringing in adult stars and foreign coaches, while neglecting the construction of the youth training system.When the golden dollar soccer bubble burst, the investment in youth training continued to shrink, and the percentage of youth training of Chinese Super League clubs dropped from 8 % to 4.2 % is a typical example. This short-term profit-seeking behavior makes the youth training lack of stable financial support, infrastructure lagging behind, and the loss of excellent coaches, which seriously affects the quality and scale of the cultivation of young soccer talents. Moreover, the short-termism of capital has also led to the unbalanced distribution of resources for youth training, and some regions and young people with potential are unable to get the training and development opportunities they deserve.

In order to effectively solve the above contradiction and promote the healthy development of China's youth soccer, it is necessary to write the proportion of youth training investment into the Sports Law through legislation, and it is recommended that the proportion be ≥ 8 %. This initiative has multiple important significance.

From the perspective of financial security, stable and sufficient investment in youth training is the foundation for the construction and development of the youth training system. Only by ensuring sufficient financial support can we improve the infrastructure conditions of youth training and build more high-quality soccer fields and training bases, etc.; we can attract and retain excellent soccer coaches, and improve the treatment and training level of coaches; and we can carry out more youth soccer events and exchanges, and provide more opportunities for young players to play and exercise. Taking advanced foreign soccer countries as an example, Germany, Japan and other countries have established a perfect youth training system through stable financial investment and policy support, providing a steady stream of talents for the sustainable development of the soccer cause.

From the perspective of regulating the development of the industry, fixing the percentage of investment in youth training in the form of law can regulate the development order of the soccer industry. Clear legal provisions can restrain the behavior of clubs and related institutions, so that they will pay attention to youth training work and avoid short-term profit-seeking behavior. At the same time, it also provides a clear basis for the supervision of the relevant departments, which is conducive to strengthening the supervision and management of youth training inputs and ensuring that the funds are truly used for the cultivation of young soccer talents.

УДК 796.88; 796.021.26

IMPLEMENTATION OF TECHNICAL MEANS IN THE TRAINING OF WEIGHTLIFTERS

Master student group 5131224 Xia Zihan
Ph. D., Associated Professor Savchenko A. L.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

In the realm of sports science and performance analysis, the utilization of motion trackers in weightlifting has gained significant attention. These devices offer unparalleled insights into athlete performance, injury prevention, and training optimization. Drawing from manufacturer catalogs, this paper delves into the technical means available for integrating motion trackers into weightlifting training regimens.

Motion trackers, often referred to as motion capture systems or wearable sensors, have evolved from their origins in fields like computer graphics and animation to become indispensable tools in sports performance analysis. These systems leverage advanced technologies such as accelerometers, gyroscopes, magnetometers, and more recently, depth sensors and computer vision algorithms, to track and analyze the movements of athletes with high precision.

Technical Means for Motion Tracking in Weightlifting:

1. Inertial Measurement Units (IMUs).
2. Optical Motion Capture Systems.
3. Wearable Sensors and Smart Garments.
4. Depth Sensors and 3D Cameras.
5. Computer Vision Algorithms.

I have developed a training course «Using technical means in the training process».

Target audience: Weightlifters, weightlifting coaches, students majoring in sports science, or individuals interested in analyzing weightlifting training techniques

Course duration: 18 hours (can be adjusted according to actual needs, it is recommended to have at least 12 hours to ensure a more in-depth explanation and practical operation of various technical means)

Course objectives:

1. Enable students to understand the importance and potential application of sports trackers in weightlifting training.

2. Thoroughly grasp the working principles, characteristics, and specific application methods of various motion tracker technologies (inertial measurement units, optical motion capture systems, wearable sensors, depth sensors, computer vision algorithms, etc.) in weightlifting training.

3. Train students to choose appropriate exercise tracker technology based on actual training needs and effectively integrate it into weightlifting training programs.

4. Through practical operation and case analysis, improve students' ability to analyze and interpret sports tracker data, as well as their ability to optimize weightlifting training effects and prevent sports injuries using data.

Course outline:

– Course Introduction (1 hour);
– Overview of Sports Tracker Technology (2 hours);
– Inertial Measurement Unit (IMU) technology (3 hours);
– Optical motion capture system (3 hours);
– Wearable sensors and smart clothing (3 hours);
– Depth sensor and 3D camera (2 hours);
– Computer Vision Algorithm (2 hours);
– Integration with training platforms and software (2 hours);
– Practical Comprehensive Application and Case Discussion (3 hours);
– Course Summary and Outlook (1 hour).

We hope that the proposed course will be useful for athletes, coaches and specialists in the field of weightlifting. The use of technical means will improve athletic performance.

I realized that the application potential of exercise tracker technology in weight training is huge.

УДК 796.034.6

ANALYSIS OF THE OFFENSIVE SKILLS AND TACTICS OF THE TOP FOUR TEAMS IN MEN'S 3X3 BASKETBALL AT THE 2024 PARIS OLYMPICS

Master's student gr. 51313224 Yuan Huanglong
PhD, Associate Professor Scherbakova E. N.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Basketball 3x3 was included for the first time in the XXXII Olympic Games held in Tokyo (Japan) in 2021, and it performed outstandingly at the 2024 Paris Olympics, with the top four teams being the Netherlands, France, Lithuania, and Latvia [1]. Analyzing its offensive techniques and tactics helps to gain a deeper understanding of the development trends and tactical characteristics of three-person basketball, providing references for the training and competition of men's three-person basketball.

Research Objective – To comprehensively analyze the offensive techniques and tactical characteristics of men's three-person basketball at the 2024 Paris Olympics, summarize successful experiences, and propose suggestions for improving the offensive level of men's three-person basketball.

Survey Subjects: The top four teams in men's three-person basketball at the 2024 Paris Olympics, as well as the usage of offensive techniques and tactics by these top four teams during the competition.

We used the following research methods:

Literature method – consult relevant basketball literature and research reports, and understand the research status of three-player basketball offensive skills and tactics.

Video observation method – watch the video of the top four teams game, and observe and record its attacking skills and tactics in detail.

Data analysis method – use professional data analysis software to count and analyze the offensive data of the top four teams, including scoring, shooting percentage, assists, errors, etc.

The following studies will be conducted:

1. Analysis of the Offensive Tactical Systems of the Top Four Teams:

– Offensive Tactics: Observing how the top four teams quickly initiate fast breaks after gaining possession, including the organization of fast breaks, speed of advancement, passing methods, and finishing techniques.

– Positional Offensive Tactics: Analyzing the tactical layout of the top four teams in half-court positional offense, such as selection of cooperation, passing cooperation, and penetration cooperation, as well as the timing and effectiveness of these tactics.

– Service Position and Offensive Tactics Analysis: Studying the positions of the top four teams during service and how to create offensive opportunities through service positioning.

2. Application Analysis of Offensive Techniques of the Top Four Teams:

– Shooting Techniques: Compiling statistics on the shooting accuracy, one-point, two-point shooting percentages, and free throw percentages of the top four teams players, along with breakthrough technique analysis, offensive rebound technique analysis, and assist technique analysis.

– Utilizing the RSR analysis method to analyze specific data related to offensive tactics and techniques.

3. Analysis of the advantages and disadvantages of the offensive tactics of the top four teams:

– Advantages: Summarizing the successful experiences and strengths of the offensive tactics of the top four teams to provide references for men's three-on-three basketball.

– Disadvantages: Analyzing the problems and shortcomings of the offensive tactics of the top four teams to provide references for men's three-on-three basketball.

Therefore, we will collect videos and other data regarding the top four teams, examine the offensive skills and tactics of the Dutch team from match clips, and then conduct an in-depth analysis of the collected data to identify patterns.

References

1. Fiba. – Access mode: https://about.fiba.basketball/en/our-sport. – Date of access: 25.02.2025.

796.011

FUNDAMENTAL CONCEPTS OF TEACHING MOTOR ACTIONS AND THE SPECIFICS OF THEIR APPLICATION IN THROWING

Master's student group 51313124 Zehao Wang
PhD, Associate Prof. Kovel S. G.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Teaching motor actions is necessary in any activity. However, only in the field of physical education is their study the core of training, since here motor activity acts as an object, and as a means, and as a goal of improvement. In physical education, training is specific. The essence of the specificity is that the bulk of new things are learned through mastering various motor actions, which appear in the form of physical exercises. The quality of teaching depends crucially on how exactly the teacher and student understand their tasks. In this regard, the development of goals and objectives of teaching in the system of physical education and sports seems to be an extremely important problem that has not been finally resolved to this day.

It is generally accepted that the goal of training in physical education is the formation of knowledge about the ways, means, methods of physical improvement of a person, vital motor skills and abilities and, on this basis, the skills and abilities of controlling one's body to solve various motor problems in work, defense, everyday life and physical education and sports activities. However, such a general formulation is insufficient for organizing training in various specialized areas of physical education.

In many sports, throwing is a basic and important skill, which has gradually evolved from primitive hunting to the present. It not only occupies a place in track and field, but also is one of the commonly used movements in daily life. This paper will discuss the basic concepts of motion and analyze its application in throwing.

Movement teaching refers to the process in which teachers/coaches help students/athletes understand and master movement techniques through various teaching methods and means in physical education. Successful learning of a motor skill requires repetitive training. Once the skill is mastered, it can be remembered for a long period of time [1]. Normally, motor skills can be divided into two categories: closed motor skills and open motor skills. Open sports skills often change their actions with changes in the external environment when completing the movement, like basketball, volleyball and so on. However, closed motor skills will not be affect by environmental change. In addition, the learning of motor skills usually goes through three stages: generalization stage, differentiation stage and consolidation and automation stage. We learn plenty of the skills they all need to experience this three stages, and then, to be the master.

Next, we will discuss how to use this concept in our daily training. Each of the throws has the following five phases: start, movement or momentum building, throwing or «power» position, delivery and recovery. And the angle, height and speed of release are the three parameters that have influence on the throwing distance. Following this concept, the first and the most significant thing is decomposition teaching. We can break down the throwing motion into the above stages and teach them step by step. And because the most important part in throwing is the final one, we usually use the backward decomposition training method. In addition, the way that teachers demonstrate the correct throwing movement and let students imitate learning are needed. Furthermore, we can use many of AI technology to help us analyze technical errors, such as video feedback. Finally, provide personalized guidance and advice based on the specific circumstances of each student, especially elites.

Movement teaching is an important way to improve students' movement skills and understand movement principles. In throwing, by understanding the basic concepts of movement and applying them to specific teaching practice, students' throwing skills can be effectively improved, and their understanding and participation in sports can be enhanced. Through scientific training methods and personalized teaching strategies, we can maximize the potential of each student and cultivate excellent throwing athletes.

References

1. Luft, A. R. Stages of motor skill learning / A. R. Luft, M. M. Buitrago // Molecular neurobiology. – 2005. – Vol. 32. – P. 205–216.

УДК 621.693

USE OF MICROSENSORS TO MONITOR PLAYERS' HEART RATE AND BREATHING DURING A MATCH

Student of group 11310122 Nazarchuk K.A., Master of group 51313224 Zeng Qiuwei
Senior Lecturer Liutsko K. S.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Using microsensors to monitor players' heart rate and breathing during a match is an important tool for analyzing physiological loads and managing the training process in basketball.

Heart rate (HR) monitoring allows assessing the intensity of the load, the level of fatigue of players, and the internal training load. HR correlates with oxygen consumption and lactate accumulation, which makes it a useful indicator for assessing metabolic demands during a game.

In basketball, where interval training with alternating high- and low-intensity movements predominates, heart rate monitoring helps coaches design more precise training programs that match game conditions.

Various studies show that players' heart rates vary depending on their position on the court, the level of play, and the period of the game. For example, guards show higher heart rates than centers, due to their active role in transitions and defense. International players also show higher heart rates than national players, indicating the increased physical demands of the top level.

Microsensors, such as wireless heart rate monitors (Fig. 1), allow real-time data collection, which helps coaches make tactical decisions, such as using timeouts or substitutions to recover players. However, there are limitations related to natural heart rate variability, environmental influences (temperature, humidity, altitude), and technical aspects, such as the delay in displaying data during short explosive movements.



Fig. 1. Wearable heart rate monitor

For more accurate analysis, it is recommended to use training load models such as the Banister model or the Edwards model, which take into account the time spent in different heart rate zones. These models help to identify changes in training load and player adaptation, which is especially important for preventing overtraining and injuries [1].

Thus, the use of microsensors for monitoring heart rate and breathing in basketball allows you to optimize the training process, taking into account the individual characteristics of players and game requirements, which helps to improve their physical fitness and reduce the risk of injury.

References

1. Berkelmans, D. M. Heart rate monitoring in basketball: applications, player responses, and practical recommendations / D. M. Berkelmans [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2018. – №8 (32). – P 2383–2399.

УДК 796.42

OPTIMIZATION STRATEGIES FOR MOVEMENT PATTERNS IN YOUTH SPRINT TRAINING

Master's Student Zhao Guiyang
PhD, Associate Prof. Kovel S. G.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Sprint is widely used in training of representatives of various sports, as an excellent means of developing human speed capabilities. The high price of every fraction of a second spent on covering the distance obliges us to take any seemingly insignificant aspects of an athlete's training very seriously. Sprint places extremely high demands on a person's physical and mental qualities. A sprinter must have excellent reaction, show a high level of power, and master the most advanced running and acceleration techniques. Therefore, the coach and the athlete must use in practice the results of the latest scientific developments in the field of biomechanics, physiology and other sciences related to the training system in sprint running. Constantly introducing new things into the training process is a necessary, but not always sufficient condition for success. In search of the best ways to achieve the goal, the coach often has to take the path of trials. In this case, the experience of predecessors is of particular importance, allowing one to avoid possible miscalculations, and sometimes the coach himself, using the «well-forgotten old», finds the right path to the intended goal [1].

The scientific optimization of movement patterns has become critical in youth sprint training. Approximately 65 % of Chinese grassroots coaches prioritize immediate results over fundamental skill development, leading to compensatory movements and injury risks (Chinese Athletics Association, 2023). This study proposes an integrated training framework addressing physiological, technical, and psychological challenges in adolescent athletes.

Key challenges and assessment consist in the fact that adolescents exhibit distinct physiological vulnerabilities: quadriceps-hamstrings strength imbalance (3:1 vs ideal 2:1) increases knee stress, while underdeveloped ligaments contribute to 41 % ankle injuries. Technical deficiencies manifest as premature torso elevation (reducing acceleration distance by 1,5–2 m), knee hyperextension (15–20 % force overload), and asymmetric arm swings (8–12 % energy loss). Psychological factors like velocity misperception (80 % trainees overestimating capacity) and noise-delayed reactions (0,1–0,3 s) further complicate training.

Pre-training assessments combine physical tests (Achilles flexibility, hip mobility via Thomas test), technical analysis (smartphone slow-motion video for shoulder-hip symmetry), and psychological profiling (Athlete Concentration Inventory). Wearable sensors ($\leq 2°$ error) and cold water immersion (12–15 °C reducing DOMS by 40–60 %) enhance monitoring and recovery.

The integrated curriculum includes a progressive program that spans three stages:

Foundation (8–12 weeks): Develops ankle stiffness through 20 m elastic runs and corrects arm mechanics via resistance bands (5–8 % bodyweight).

Intensification (12–16 weeks): Optimizes starting block angles (40–50°), employs metronome-guided rhythm runs (≥4,6 steps / sec), and uses visual markers for pace control.

Competition (4–6 weeks): Incorporates randomized start signals (0,5–1,5 s delays) and segmented sprints (30 m + 30 m + 40 m at 95 % – 100 % intensity).

Nutritional support includes carbohydrate loading (8 g/kg) and post-training whey protein (20–30 g). Smart bands (50 Hz sampling) monitor stride parameters, improving technical compliance by 28 %. Dynamic stretching focusing on hip/thoracic mobility complements these measures.

Conclusion. This integrated system reduces injuries by 60 %, improves 100 m times by 0,3–0,5 s/season, and achieves 85 % movement compliance. Future research should optimize personalized strategies across developmental stages while maintaining physiological, technical and psychological balance.

References

1. Ozolin, E. S. Sprint running / E. S. Ozolin. – «Sport» (Athlete's Library) [Electronic resource]. – 2010. – Access mode: https://uzathletics.uz/f/ozolin_sprinterskij_beg.pdf. – Access date: 28.02.2025

УДК 51-77

MATHEMATICAL MODELS IN TENNIS

Student of gr. 51313124 Tang Jie
PhD, associate professor Hundzina M.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Tennis is a technically and psychologically challenging sport. The student is required not only to have physical abilities, reaction speed, but also the ability to concentrate for a long time, as well as maintain an acceptable level of mental stability throughout the game, which can last more than 2 hours. To achieve high results, a trainer can develop a method of targeted training, which makes it possible to acquire the necessary theoretical, technical, tactical, physical and mental conditions. The pedagogical techniques implemented by the coach will be effective for athletes to varying degrees, depending on their level of athletic qualifications, competitive experience, gender, individual characteristics, etc.

Mathematical models use the strict language of mathematics and computer experiment to describe physiological phenomena, which makes it possible to quantify various phenomena arising from model representations.

Modeling is an effective tool for identifying non-obvious consequences. The ability to manipulate model parameters in wide ranges makes it possible to find different modes of system functioning, which, due to the complexity and high degree of nonlinearity of biological systems, are often impossible to predict using verbal schemes. In this sense, a model, if it is complex enough to be realistic, can be a source of new knowledge, sometimes even counterintuitive.

Launch angle is measured against a horizontal line to the court. It is positive if the angle is above the line and negative if below. All other shot parameters remaining equal, the racquet with the higher power potential will hit the ball faster and at a lower launch angle. Less powerful racquets will launch at a higher angle. It is possible the two effects will cancel and the ball would land in the same spot. It is also possible that one effect will be greater than the other — for example the less powerful racquet (lower launch speed) launching at a higher angle and actually hitting farther. That's why it is sometimes confusing when talking about power. But power refers to speed not distance. Fortunately, most of the time, the more powerful racquet will hit both faster and farther, though not necessarily farther.

Balls bouncing off the court will always have topspin. That is true whether the ball landed on the court with backspin or topspin. If it landed with backspin, it will have less topspin after the bounce than if it landed with topspin.

If we volley a ball, it may have an incoming spin of either backspin or topspin.

For examle, we can change the spin of an incoming ball a lot and still not have much to show for it. On the other hand, we can change it just a little, and get a whole lot.

An important feature of tennis is the indirect execution of a striking action. The player performs the striking action not directly with his hand or foot, as in volleyball or football, but with the help of a racket. When choosing a racket, it is necessary to take into account the athlete's playing style, which are directly related to the anthropometric characteristics of his body and the level of physical development and fitness. A lot depends on the weight, balance, size of the racket head, tension of the strings and what they are made of. A well-chosen racket should help the player hide his weaknesses and strengthen his strengths. It is no coincidence that they say that a tennis player should have the arm of a boxer, the legs of a runner, the strength of a weightlifter, the intelligence of a chess player, the courage of a mountaineer, and the nervous system of an astronaut.

УДК 796.386

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF PLAYING TABLE TENNIS FOR THE ELDERLY

Master's Student Qiu Tian
PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The development of physical education methods for the elderly is relevant due to the increase in life expectancy worldwide. Exercising motor skills can help maintain mobility, reduce the risk of falls, and

improve cognitive and emotional well-being, as well as cure depression. Group activities help to get rid of the feeling of social isolation and loneliness. Therefore, it is necessary to organize training sessions for the elderly, both in sports rooms and outdoors.

Physical activity is necessary for the elderly to maintain muscle flexibility, strengthen joints and the cardiovascular system.

In old age, age-related changes in motor skills occur:

– physiological changes manifest themselves as a decrease in muscle mass, decreased joint flexibility and bone density;

– in the field of neurology, reactions slow down, coordination and sense of balance deteriorate.;

– psychological problems arise - fear of falling, decreased self-confidence.

If older people move from a state of lack of exercise and low mobility to the beginning of physical education, an analysis of their health status is necessary. Specifically, it is necessary to study the following aspects:

– check for chronic diseases such as arthritis, cardiovascular disease or diabetes;

– conduct an analysis of cognitive abilities, as, for example, dementia can interfere with learning and maintaining motor skills;

– analyze the presence of motivational barriers, because self-doubt or fear of injury may cause unwillingness to exercise.

For continuous monitoring of the condition during sports in the elderly, it is necessary constantly monitor blood pressure, pulse rate and respiration. To monitor the first two parameters, it is possible to use smart watches with appropriate options [1], and miniature MEMS microphones [2] to control the respiratory rate. The information received must continuously recorded and compared with acceptable values. If the indicated values exceed the norm, the elderly athlete and his coach receive a signal from the playback device indicating a gradual decrease in load.

While playing tennis, a person experiences aerobic activity. This is a load of moderate intensity, in which oxygen acts as the main source of energy during metabolism. Table tennis is a mobile game, but nevertheless, in the absence of medical contraindications. It has a positive effect on the body of an elderly person. Firstly, the blood supply to the muscles improves, endurance increases, and endorphins produced, which causes positive emotions. Secondly, cognitive abilities improve, as rapid decision-making and appropriate motor reaction are required. In addition, table tennis is a collective game. Therefore, a person integrates into a social group. As a result, the circle of communication expands. Physical activity reduces stress levels, that is, it has a positive effect on the psychological state. When playing table tennis, a person can adjust the level of their physical activity according to their well-being.

The specifics of table tennis classes for the elderly is the need to develop an individual warm-up program before the start of the game and a set of exercises after the game, so that there is no sudden transition from stop to movement. Workouts should be regular, preferably on a daily basis.

The warm-up should occur with increasing load. Bending, stretching, and walking must done at an increasing pace. If possible, from the point of view of health, a further increase in the load carried out using dumbbells of increasing weight and special belts with weights. After the end of the workout, it is advisable to perform the warm-up exercises in reverse order. After the end of the training, the elderly should visit the relaxation rooms. A comfortable microclimate, favorable lighting, and an appropriate visual and sound environment can provided there.

References

1. The best smartwatch with blood pressure measurement in 2025. – Access mode: https://www.kp.ru/expert/elektronika/luchshie-umnye-chasy-s-izmereniem-arterialnogo-davleniya /. – Access date: 15.02.25.

2. The history of the microphone: from the first inventions to the present day. Part 3. – Access mode: https://dzen.ru/a/Zdw66ktrLyVveCvF. – Access date: 15.02.25.

УДК 796.3/799

DIGITAL MEASUREMENT SYSTEM FOR ANTHROPOMETRIC PARAMETERS OF YOUNG BASKETBALL PLAYERS

Master's student Yu Hao Yang
PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Important anthropometric parameters for assessing the prospects of young basketball players include the following: height, weight, taking into account the percentage of fat, the size of individual body parts (length of arms, fingers, and so on), lung volume, and the size of the field of vision. An analysis of known devices for measuring the anthropometric parameters of basketball players shows that separate devices unrelated to a common database are used to evaluate each parameter (height, weight, size of body elements, and so on). In order to reduce the time spent on measurements and improve the quality of data processing. It is rational to create a digital measurement system in which measuring instruments connected to the processor unit and the database (Fig. 1).

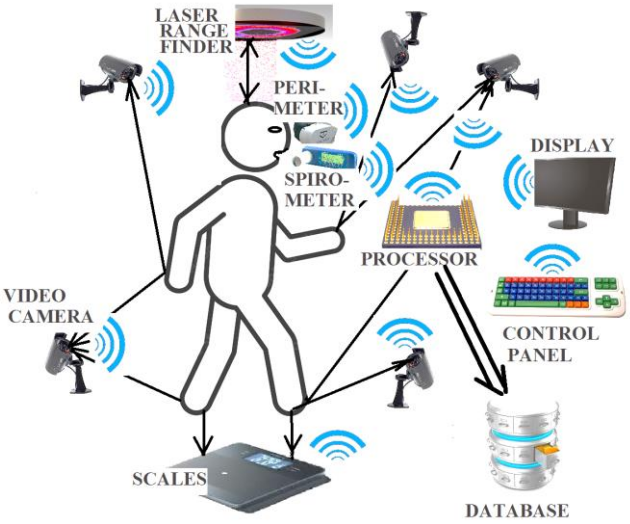


Fig. 1. Digital measurement system for anthropometric parameters of young basketball players

The signals from each measuring device wirelessly transmitted via transmitters to the processor, where they must be processed using special software. The processing results are then sent to databases and, if necessary, to playback devices for study. Structurally, the measuring part of this system can placed in rooms related to training, for example, in a locker room.

УДК 37.091.212: 364.694

MEASURING THE PHYSICAL QUALITIES OF YOUNG BASKETBALL PLAYERS DURING TRAINING

Master's student Yu Hao Yang
PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Devices for measuring strength, endurance, movement speed, and flexibility can combined constructively and from the point of view of software into a common measurement system. At the same time, these devices are quite miniature, they can be mounted on the body, clothes and shoes of a basketball player (microphones, myographic sensors), or on the walls and ceiling of the room and not interfere with the training process (Fig.1).

The measurement of strength parameters of young basketball players can assessed by analyzing myograms, carried out during training according to the readings of myographic sensors mounted on muscles, with the transmission and processing of information in real time. Endurance during training is

suggested to be assessed by changes in pulse rate, respiration and blood pressure according to the readings of a smart watch mounted on the wrist and microphones on clothing mounted in the chest area. Measurements performed in real time. The measurement of speed can estimated by the frequency of contact between the basketball player's feet and the floor with microphones installed in the sole of the shoe, and flexibility using video cameras.



Fig. 1. The measurement system of strength, endurance, movement speed, flexibility of a basketball player during training

The signals from each measuring device wirelessly transmitted to the processor and processed in real time. Information about the basketball player's condition processed during training, promptly analyzed by the coach, also entered into the database. To be able to operate such a system, it is necessary to create the appropriate software.

The athlete's coordination should be assessed separately using stabilometric systems. Information about the results of this survey should also integrated into the general data stream, which also requires software development.

The condition monitoring system during training is especially important for young basketball players, as it is necessary to ensure safety for their health.

УДК 796.028

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗВУКОУСИЛЕНИЯ НА ВЕЛОДРОМЕ МКСК «МИНСК-АРЕНА»

Студент гр. 11902121 Бутько Е. А.
Ст. преподаватель Барановская Д. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные спортивные объекты требуют высококачественных систем звукоусиления, обеспечивающих равномерное покрытие аудиосигналом, высокую разборчивость речи и мощное музыкальное сопровождение. Велодромы, как многофункциональные спортивные комплексы, часто используются не только для соревнований, но и для различных массовых мероприятий, что предъявляет повышенные требования к их акустическим системам.

В настоящий момент велодром МКСК «Минск-арена» предназначен для проведения соревнований по велосипедному спорту, соревнований по хоккею на траве, занятий по теннису, сквошу, бадминтону, а также проведению различных мероприятий. Трибуны «Велодрома» вмещают около 2000 зрителей.

Система звукоусиления объекта включает в себя следующие компоненты: акустические системы озвучивания велотрека (DAS Artec-28W), акустические системы озвучивания зрительских трибун (DAS RF-15.64), звукоусилительное оборудование (QSC CX1102), микшерский пульт (Lyra), а также систему сбора, передачи и обработки звуковых сигналов.

Диапазон воспроизводимых частот для акустических систем озвучивания велотрека 64–22 000 Гц (–10дБ). Диапазон воспроизводимых частот для акустических систем озвучивания зрительских трибун 4 520 000 Гц (–10 дБ).

Актуальность данного проекта обусловлена необходимостью модернизации существующей системы звукоусиления, так как используемое на велодроме оборудование устарело и не соответствует современным требованиям. В связи с развитием технологий и повышением стандартов качества звука возникла необходимость модернизации звукового оборудования, что позволит улучшить его характеристики и соответствовать актуальным требованиям.

Процесс обновления системы звукоусиления проходит в несколько этапов. Сначала проводится анализ существующего оборудования, выявляются его недостатки и формируются требования к новой системе. Затем разрабатывается проект модернизации с учетом акустических характеристик помещения и функциональных потребностей, а также выбираются оптимальные компоненты звукового оборудования. Завершающим этапом является монтаж и настройка новой аппаратуры в соответствии с проектными параметрами.

В ходе исследования будет разработан проект модернизации системы звукоусиления, который предполагает использование следующего оборудования: модульная система линейного массива Kara II – для озвучивания зрительских трибун, акустическая система A 15 Focus – для озвучивания ядра велотрека, звукоусилительное оборудование LA 8. Также с помощью специального компьютерного программного обеспечения L-ACOUSTICS SOUNDVISION будет произведен расчет звуковых параметров велодрома и количество необходимого оборудования.

Литература

1. Барановская, Д. И. Информационное обеспечение систем управления спортивных объектов / Д. И. Барановская, М. А. Петух, М. М. Салтанов. – Минск, 2019. – 185 с.

2. Системы звукоусиления и озвучивания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mediacontract.by/services/sistemy-zvukousileniya-i-ozvucheniya/. – Дата доступа: 04.03.2025.

3. Loudspeakers for Professional Sound System | L-Acoustics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.l-acoustics.com/loudspeakers/. – Дата доступа: 04.03.2025.

УДК 796.61

ТЕНЗОДАТЧИКИ В ТРЕКОВОМ ВЕЛОСПОРТЕ

Студент гр. 11904121 Галабурда Д. Г.
Магистр техн. наук, ст. преподаватель Самохвал П. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Тензометрические датчики играют важную роль в современном велоспорте, обеспечивая точные измерения нагрузки и усилий. Они позволяют спортсменам улучшать технику и эффективность тренировочного процесса. Использование тензодатчиков дает возможность объективного анализа физических параметров спортсмена, что помогает в коррекции тренировочных программ. Развитие данной технологии способствует внедрению инновационных методов контроля за состоянием велосипедиста.

Тензометрические датчики работают на основе изменения сопротивления материала при деформации. Полученные данные передаются на анализирующее устройство, обеспечивая точный контроль усилий в режиме реального времени. Для повышения точности измерений используются мостовые схемы, снижающие влияние внешних факторов, таких как температура и влажность. Современные тензодатчики обладают высокой чувствительностью и способны фиксировать даже незначительные изменения нагрузки.

В велоспорте тензометрические датчики используются для измерения мощности педалирования, анализа баланса нагрузки и предотвращения травм. Они могут быть интегрированы в пе-

дали, шатуны или втулки велосипеда, обеспечивая точные и объективные данные. Такие измерения помогают выявлять асимметрии в нагрузке между ногами спортсмена, что может указывать на необходимость коррекции техники. Кроме того, анализ данных с тензодатчиков позволяет оптимизировать аэродинамическое положение велосипедиста для повышения эффективности движений.

Плюсом использования является: высокая точность, компактность, устойчивость к внешним воздействиям. Минусами являются: необходимость регулярной калибровки, высокая стоимость, чувствительность к повреждениям. Тензометрические датчики помогают снизить риск травм за счет объективного контроля над распределением нагрузки. Однако их эксплуатация требует технического обслуживания и корректировки данных, чтобы избежать погрешностей в измерениях.

Примеры тензометрических датчиков:

– SRM Origin – встроенный в шатуны, измеряет мощность педалирования. Применяется профессиональными велогонщиками для повышения эффективности тренировок.

– Garmin Rally RS200 C – интегрирован в педали, анализирует распределение нагрузки между ногами. Позволяет отслеживать изменения в технике спортсмена и корректировать тренировочные нагрузки.

– AeroPod – измеряет аэродинамическое сопротивление, помогает оптимизировать позу спортсмена. Используется в сочетании с другими измерительными приборами для повышения общей эффективности езды.

Тензометрия стала неотъемлемой частью трекового велоспорта, обеспечивая объективный анализ тренировочного процесса. Ее развитие способствует повышению эффективности спортсменов и внедрению новых технологий в спортивную индустрию. Несмотря на определенные ограничения, такие датчики продолжают находить применение и в других дисциплинах, повышая качество и безопасность спортивных тренировок.

Литература

1. Киселев, В. А. Современные технологии в велоспорте: тренировки и оборудование / В. А. Киселев. – СПб.: Олимп, 2020. – 312 с.

2. Смирнов, И. П. Методы измерения нагрузки в профессиональном велоспорте / И. П. Смирнов. – Новосибирск: СпортТех, 2019. – 198 с.

3. Петров, С. В. Тензометрия в велоспорте: от теории к практике / С. В. Петров. – Казань: Наука и спорт, 2021. – 220 с.

УДК 796.028

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ПАКЕТНОЙ IP ТЕЛЕФОНИИ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ГУ МКСК «МИНСК-АРЕНА»

Студент гр. 11902121 Гриневич А. Д.[1, 2], Зданчук А. В.[1, 2], Кузьмицкий А. И.[1, 2]
[1]Чижовка-Арена, МКСК «Минск-арена», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные многофункциональные комплексы, такие как ГУ «Минск-Арена», требуют внедрения высокоэффективных систем связи для обеспечения бесперебойного взаимодействия между сотрудниками, оперативного управления мероприятиями и повышения качества обслуживания посетителей. Проектирование системы пакетной IP-телефонии для данного объекта является актуальной задачей, направленной на модернизацию коммуникационной инфраструктуры и повышение эффективности работы комплекса. Основные этапы проектирования системы пакетной IP-телефонии: 1. Анализ текущей инфраструктуры и постановка задач: изучение существующей телефонной сети и ее недостатков; определение потребностей в связи для различных подразделений (администрация, служба безопасности, технический персонал, служба организации мероприятий и т.д.); формулирование требований к системе (количество абонентов, качество связи, интеграция с другими системами, возможность масштабирования). 2. Выбор оборудования и программного обеспечения: подбор IP-телефонов, серверов и шлюзов для передачи голосовых данных; выбор программного обеспечения для управления звонками, голосовой почтой и конференц-связью; учет требований по безопасности и защите данных. 3. Проектирование

сети: разработка схемы подключения IP-телефонии к локальной сети (LAN) и интернету; обеспечение достаточной пропускной способности сети для передачи голосовых данных без задержек; настройка Quality of Service (QoS) для приоритизации голосового трафика. 4. Интеграция с другими системами: обеспечение совместимости с системами управления мероприятиями, CRM и другими корпоративными приложениями; настройка автоматических уведомлений и переадресации вызовов.

Тестирование и внедрение: проведение тестового запуска системы для проверки качества связи и функциональности; обучение сотрудников работе с новым оборудованием и программным обеспечением; составление технической документации и инструкций по эксплуатации. Преимущества внедрения системы пакетной IP-телефонии: повышение качества связи (высокое качество голосовой передачи благодаря цифровым технологиям); снижение затрат на связь (использование интернет-каналов позволяет сократить расходы на связь); гибкость и масштабируемость (возможность добавлять новых пользователей и интегрировать дополнительные функции, например, конференц-связь); упрощение управления (централизованное управление всеми абонентами и настройками системы); интеграция с другими системами (возможность объединения телефонии с CRM, электронной почтой и другими корпоративными инструментами).

Проектирование системы пакетной IP-телефонии для ГУ «Минск-Арена» является важным шагом для модернизации коммуникационной инфраструктуры комплекса. Внедрение данной системы позволит повысить эффективность работы сотрудников, улучшить качество обслуживания посетителей и обеспечить бесперебойную связь во время проведения массовых мероприятий.

Литература

1. Основы проектирования IP-телефонии: [Элеткронный ресурс]. – Минск, 2024. – Режим доступа: https://telecom.by. – Дата доступа: 11.03.2025.

2. Технические стандарты и рекомендации по внедрению IP-телефонии: [Электронный ресурс]. – Минск, 2024. – Режим доступа: https://standards.by. – Дата доступа: 01.03.2025.

УДК 338. 796

АНАЛИЗ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ СПОРТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Студент гр. 11904122 Гулевич О. Н.
Кандидат эконом. наук, доцент Карнейчик В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Спортивная организация является открытой системой, поэтому успех ее деятельности во многом зависит от того, насколько будут учтены постоянно меняющейся факторы внешней среды. Анализ динамики этих факторов необходим для стратегического планирования.

Внутренняя среда спортивной организации отражает результат управленческих решений в отношении всех ресурсов. Анализируется уровень издержек, финансовые результаты, структура основных средств, технологический и трудовой потенциал и другие показатели хозяйственной деятельности.

Для анализа внешней и внутренней среды организации широко применяется SWOT-анализ, который позволяет собрать необходимую информацию для определения возможных стратегий. Данный метод позволяет понять, использует ли организация свои преимущества, какие слабые стороны требуют корректировки, в чем заключается конкурентное преимущество, с какими рисками может столкнуться. Данные, полученные в результате анализа, служат базисными элементами при разработке стратегических целей и задач спортивной организации [1].

Для систематизации данных SWOT-анализа существует специальная таблица, позволяющая визуализировать полученные данные сравнительного анализа и является инструментом оценки сильных и слабых сторон спортивной организации, ее основных соперников по конкурентной борьбе на выбранных сегментах рынка [2].

С помощью данного метода был проведен анализ внешней и внутренней среды МКСК «Минск-Арена» (табл. 1).

Таблица 1 – SWOT-анализ МКСК «Минск-арена»

Сильные стороны (S)	**Возможности (O)**
Проведение самых крупных концертных и спортивных мероприятий в Республике Совмещение коммерческих мероприятий и соц. проектов Сотрудничество со спортивными школами Возможность совмещать концертную деятельность и спортивные мероприятия на различных объектах Сильный административный ресурс Укомплектованность современным оборудованием Наличие современный системы контроля, безопасности и мультимедийного обеспечения Рост узнаваемости объекта	Организация крупных коммерческих проектов Рост интереса населения к физкультурно-спортивным занятиям Стабильность финансирования Развитие основных, дополнительных и сопутствующих услуг Создание мобильных приложений Внедрение программы лояльности для потребителей услуг Расширение сотрудничества с организациями Открытие новых возрастных групп
Слабые стороны (W)	**Угрозы (T)**
Большие эксплуатационные затраты Сложный механизм обработки документации Неравномерность загруженности персонала Негибкая ценовая политика Эксплуатация дорогостоящего оборудования с привлечением подрядчиков Наличие морально устаревшего оборудования Отсутствие эффективной программы управления рисками	Рост издержек Уменьшение количества спортивных и концертных мероприятий в связи с санкциями Уменьшение спроса на услуги в связи со снижение покупательской способности населения Изменение нормативно-законодательных требований в сфере оказания физкультурно-спортивных услуг Изменение интересов потребителей

Таким образом, SWOT-анализ может служить основой для дальнейшего стратегического планирования и принятия решений по развитию МКСК Минск-Арены.

Литература

1. SWOT-анализ: основные понятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.e-xecutive.ru/wiki/index.php/. – Дата доступа: 20.11.2024.

2. МКСК «Минск-арена» Анализ деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ppt-online.org/512877. – Дата доступа: 19.11.2024.

УДК 334.796

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ СПОРТИВНОГО КЛУБА

Студент гр. 11902122 Долбик М. А.
Кандидат эконом. наук, доцент Карнейчик В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Стратегический менеджмент в индустрии спорта становится все более актуальным, учитывая рост уровня конкуренции и необходимость адаптации к изменениям на рынке. Современные спортивные клубы сталкиваются с рядом вызовов, таких как: необходимость привлечения и удержания талантливых спортсменов, создание эффективной инфраструктуры, развитие бренда и взаимодействие с фанатами. В этом контексте стратегический менеджмент позволяет клубам не только реагировать на внешние изменения, но и формировать собственные конкурентные преимущества, которые способствуют достижению долгосрочных целей.

Стратегический менеджмент в спортивном клубе представляет собой систематизированный подход к разработке и реализации планов, направленных на достижение устойчивого результата. Этот процесс включает в себя формулирование миссии клуба, постановку стратегических целей, проведение анализа внешней и внутренней среды, разработку стратегии, их реализацию и контроль выполнения [1].

Стратегия достижения финансово-спортивного результата является важной составляющей клубного менеджмента, так как она определяет порядок действий, необходимых для достижения целей, поставленных спортивной организацией. В индустрии спорта финансовые и спортивные результаты взаимосвязаны: хорошее финансовое положение команды способствует достижению спортивных успехов, а высокие спортивные результаты привлекают дополнительные финансовые ресурсы. Поэтому менеджменту необходимо разрабатывать стратегии, которые одновременно учитывают финансовые и спортивные аспекты. Четко спланированная стратегия помогает

не только достичь спортивных результатов, но и обеспечить устойчивое развитие клуба в условиях динамичного рынка. Используя стратегический подход, спортивные клубы способны не только улучшать свои позиции, но и содействовать развитию спорта в целом, укрепляя свою социальную значимость и влияние [2].

Национальная концепция белорусского спортивного менеджмента в основном ориентирована на развитие детского и юношеского спорта. Популяризация физической культуры и спорта через организации по пропаганде здорового жизни и вовлечению населения в занятия спортом способствует увеличению интереса к спорту.

В Республике Беларусь многие спортивные клубы успешно применяют стратегический менеджмент. Одним из ярких примеров является хоккейный клуб «Юность-Минск», который активно разрабатывает и внедряет молодежные программы, инвестирует развитие в СДЮШОР, где тренируются юные хоккеисты, что позволяет подготавливать новых перспективных игроков. Клуб использует современные технологии в тренировочном процессе, что помогает улучшать технику, анализировать тактику игры и добиваться постоянного улучшения спортивных результатов. Повышенное внимание также уделяется маркетингу, так как работа с болельщиками способствует увеличению популярности клуба и привлечению новых партнеров.

Спортивная сфера в современных реалиях достаточно динамична, поэтому стратегия управления должна строится на принципах постоянного учета и контроля, гибкости, готовности адаптироваться к новым условиям.

Литература

1. Горбатенко, Т. Б. Вопросы организации стратегического спортивного менеджмента [Электронный ресурс] / Т. Б. Горбатенко, И. М. Кичигина, А. Лян // Baikal Research Journal. – 2024. – №1. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/ article/n/voprosy-organizatsii-strategicheskogo-sportivnogo-menedzhmenta. – Дата доступа: 09.11.2024.

2. Филиппов, С. С. Менеджмент физической культуры и спорта / С. С. Филиппов. – М.: Юрайт, 2018. – 234 с.

3. Минская «Юность» – самая титулованная хоккейная команда страны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// news.by/ videogallery/ sport/ shumel-kamysh/minskaya-yunost-samaya-titulovannaya-khokkeynaya-komanda-strany?ys clid=m3xjbthdrr847462031. – Дата доступа: 09.11.2024.

УДК 796.339.138

СТРАТЕГИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ БРЕНДОВ И ПРОДУКТОВ ЧЕРЕЗ СПОРТИВНЫЕ СОБЫТИЯ И ВИДЫ СПОРТА

Студент гр. 11904122 Жарикова Е. В.
Кандидат эконом. наук, доцент Карнейчик В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном мире бренды стремятся выделиться в условиях высокой конкуренции и изменчивости потребительских предпочтений. Одним из наиболее эффективных способов достижения к этой цели является использование спортивных событий и видов спорта в качестве платформы для продвижения товаров и услуг. Спорт не только привлекает миллионы зрителей и участников, но и создает уникальную возможность для формирования положительного имиджа, установления эмоциональной связи с аудиторией и увеличения продаж.

Создание бренда – это вид управленческой деятельности, направленный на анализ, планирование, организацию и контроль (в том числе финансовой стороны и качества производимой продукции), где важную роль играет грамотно построенный многопрофильный маркетинг.

Крупные спортивные мероприятия, мирового уровня, такие как Олимпийские игры, чемпионаты мира становятся не только ареной для состязаний, но и мощным маркетинговым инструментом. Бренды, которые правильно используют спортивные события, могут значительно повысить свою узнаваемость и лояльность со стороны потребителей. Однако, для того чтобы стратегия продвижения была успешной, необходимо учитывать множество факторов, таких как целевую аудиторию, специфику спорта, культурные особенности региона и другие аспекты.

Яркими примерами продвижения своих продуктов через спортивные события служат такие известные мировые бренды как: Nike, использует Олимпийские игры как платформу для повышения узнаваемости бренда; Coca-Cola, является спонсором Чемпионатов мира по футболу; Red Bull известен своим уникальным подходом к продвижению продукции через экстремальные виды спорта. Изученные примеры успешных рекламных кампаний и спонсорских активностей подтвердили эффективность подобных стратегий в повышении узнаваемости бренда, укреплении его репутации и формировании лояльности потребителей. Связь между брендами и спортивными событиями также позволяет компаниям создавать эмоциональные связи с аудиторией, что в свою очередь способствует увеличению продаж и укреплению рыночных позиций.

Однако успешная реализация стратегий продвижения требует глубокого понимания специфики целевой аудитории, культурных особенностей и актуальных трендов в мире спорта. Необходимо учитывать также возможные риски, связанные с имиджем спортсменов и организацией спортивных мероприятий.

Стратегия продвижения брендов и продуктов через спортивные события и виды спорта представляет собой мощный инструмент для достижения маркетинговых и бизнес-целей. Спорт, как универсальный язык, объединяет людей и создает уникальные возможности для взаимодействия с целевой аудиторией.

Таким образом, интеграция бренда в спортивную среду должна быть продумана и построена на основе тщательного анализа, креативного подхода и постоянной адаптации к изменениям в предпочтениях потребителей. Этот подход может значительно укрепить рыночные позиции бренда и обеспечить устойчивый рост в долгосрочной перспективе.

Литература

1. Гуськов, С. И. Спорт и маркетинг. – М.: Варгиус [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vdocuments.site/-oe-8-foe-oe.html. – Дата доступа: 19.10.2024.

2. Шааф, Ф. Спортивный маркетинг: теперь это не просто игра…/ Шааф Ф. – М.: Информ. – изд. дом Филин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://search.rsl.ru/ru/record/01000564991. – Дата доступа: 28.10.2024.

УДК 796.028

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ФИЗКУЛЬТУРНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО И СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО ПО АДРЕСУ: Г. МИНСК, УЛ. БУРДЕЙНОГО, 2-3 РЦОП «СТАЙКИ»

Студент гр. 11902120 Забродский А. А.
Ст. преподаватель Барановская Д. И., Катибникова В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные физкультурно-оздоровительные и спортивные комплексы, такие как РЦОП «Стайки», требуют внедрения эффективных систем видеонаблюдения для обеспечения безопасности, контроля за соблюдением правил эксплуатации помещений и предотвращения чрезвычайных ситуаций. Проектирование системы видеонаблюдения для объекта, расположенного по адресу: г. Минск, ул. Бурдейного, 2–3, является актуальной задачей, направленной на повышение уровня безопасности и оптимизацию управления объектом.

Основные этапы проектирования системы видеонаблюдения:

– анализ объекта и постановка задач;

– выбор оборудования;

– проектирование системы;

– интеграция с другими системами безопасности.

Преимущества внедрения системы видеонаблюдения:

– повышение уровня безопасности: предотвращение краж, вандализма и других правонарушений;

– контроль за соблюдением правил эксплуатации помещений: мониторинг использования спортивного инвентаря и оборудования;

– оптимизация управления объектом: возможность удаленного контроля за состоянием помещений и территорий;

– снижение затрат на охрану: автоматизация процессов наблюдения позволяет сократить количество персонала, необходимого для контроля;

– сбор доказательной базы: запись видео может использоваться для расследования инцидентов.

Современные технологии позволяют значительно снизить риски несанкционированного доступа, что особенно важно в условиях массовых мероприятий. Автоматизация процессов контроля доступа позволяет сократить затраты на охрану и управление, а также повысить эффективность работы персонала.

Проектирование системы видеонаблюдения для РЦОП «Стайки» является необходимым шагом для обеспечения безопасности, повышения эффективности управления объектом и создания комфортных условий для посетителей. Внедрение современных технологий видеонаблюдения позволит не только предотвратить потенциальные угрозы, но и оптимизировать процессы эксплуатации спортивного комплекса.

Литература

1. Основные принципы проектирования систем видеонаблюдения : [Электронный ресурс]. – Минск, 2024. – Режим доступа: https://securitysystems.by. – Дата доступа: 11.03.2025.

2. Технические нормативные правовые акты (ТНПА) в области безопасности : [Электронный ресурс]. – Минск, 2024. – Режим доступа: https://tnpa.by. – Дата доступа: 11.03.2025.

УДК 796.89

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕНЗОДАТЧИКОВ В ТАЭКВОНДО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

Студент гр. 11904121 Зиневич Г. А.
Кандидат пед. наук, доцент Солонец А. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

На сегодняшний день технологии активно применяются в спорте, в особенности в таэквондо. Одно из самых перспективных направлений, набирающих популярность, является применение тензодатчиков. Эти высокоточные приборы способны фиксировать деформацию и степень напряжения материалов. В таком виде спорта как таэквондо эти датчики способствуют улучшению тренировочного процесса и анализа техники выполнения движений спортсмена [1].

В таэквондо, физическая нагрузка изменится в зависимости от интенсивности тренировки и уровня подготовки соперника, и очень важно точно отслеживать распределение нагрузки на различные группы мышц. Знания о нагрузке позволяют тренерам оптимизировать тренировочный процесс, предотвращая чрезмерную усталость и получение травм. Использование тензометрических датчиков очень актуально в условиях интенсивных тренировок, когда спортсмены не замечают, что перегружают определенные группы мышц. Это позволяет наглядно отслеживать, какие мышцы подвергаются наибольшей нагрузке, и своевременно корректировать тренировочный процесс.

Кроме того, тензодатчики способны сыграть ключевую роль в анализе техники выполнения ударов и движений. Каждый элемент таэквондо требует высокой точности, скорости и координации. Благодаря этим устройствам можно получить детализированную информацию о том, как именно спортсмен выполняет различные элементы – от базовых ударов ногами до сложных комбинаций. Такие данные помогают выявить как сильные, так и слабые стороны таэквондиста, что способствует более целенаправленной работе над совершенствованием его навыков. Например, анализируя силу, скорость и точность выполнения конкретного удара, тренеры могут дать рекомендации по его оптимизации. Это может включать корректировку техники или предложения по улучшению физической подготовки, чтобы повысить эффективность выполнения движений.

Стоит подчеркнуть, что применение тензодатчиков открывает возможности для персонализации тренировочного процесса. Каждый таэквондист обладает своими уникальными особенностями, и подход к подготовке должен это учитывать. С помощью данных, полученных от таких устройств, тренеры могут глубже изучить индивидуальные характеристики спортсменов,

включая их физические возможности, текущий уровень мастерства и даже психологические аспекты [3]. Например, один атлет может демонстрировать высокую устойчивость к интенсивным нагрузкам, тогда как другому потребуется больше времени для восстановления. Это позволяет разрабатывать индивидуальные программы тренировок, которые будут максимально эффективны для каждого таэквондиста, помогая ему раскрыть свой потенциал.

В заключение, применение тензодатчиков в таэквондо открывает новые возможности для тренеров и спортсменов. Эти устройства не только позволяют отслеживать нагрузку и анализировать технику выполнения ударов, но и способствуют созданию персонализированных тренировочных программ. В условиях высокой конкуренции на спортивной арене использование таких технологий может стать решающим фактором успеха, помогая таэквондистам достигать новых вершин и улучшать свои показатели. Таким образом, будущее таэквондо неразрывно связано с внедрением передовых технологий, которые позволят спортсменам раскрыть свой потенциал и добиться максимальных результатов.

Литература

1. Ковалев, А. Г. Технологии в спорте: современные подходы и методы / А. Г. Ковалев, П. Н. Сидоров. – Минск: БГУ, 2020. – 125 с.

2. Баранов, В. И. Спортивная биомеханика: учебное пособие / В. И. Баранов. – Минск: БГПУ, 2018. – 415 с.

3. Смирнов, Е. Ю. Инновационные технологии в тренировочном процессе спортсменов / Е. Ю. Смирнов. – Минск: Наука и техника, 2022. – 213 с.

УДК 796.89

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНЫХ И КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ТАЭКВОНДИСТОВ

Студент гр. 11904121 Зиневич Г. А.
Кандидат пед. наук, доцент Солонец А. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Тренажер для развития скоростных и координационных способностей (ТРСК) предназначен для изучения и отработки комбинаций, а также техник ударов. Устройство способствует совершенствованию навыков спортсмена, улучшая скорость и координацию, а также способствовать улучшению готовности к соревнованиям.

ТРСК применяется для подготовки спортсменов разного уровня подготовки. Тренажер применяется в спортивных залах и секциях, где проводятся занятия по таэквондо. Он также эффективен в индивидуальных тренировках, помогая улучшать скоростные и координационные способности.

Устройство позволяет отрабатывать удары без риска причинить вред партнеру по тренировке. В особенности это важно для начинающих таэквондистов, которые еще не приобрели достаточного опыта и могут случайно травмировать своего партнера при выполнении движения во время тренировки.

Помимо этого, данный тренажер помогает повысить уровень готовности к соревнованиям, обеспечивая более эффективные и целенаправленные тренировки. Он позволяет лучше контролировать свои движения и силу захвата, что способствует успешным выступлениям [1].

В результате проектирования была разработана конструкция тренажера для развития скоростных и координационных способностей таэквондистов (рис. 1).

Тренажер был разработан с использованием актуаторов в качестве движущегося механизма манекенов. Добавление актуаторов в качестве движущегося элемента позволяет создавать максимально приближенный к реальности условия тренировки, так как движение манекенов может изменятся в зависимости от тренировочного плана. Это позволяет улучшить координацию, скорость и реакцию спортсмена, а также повысить эффективность тренировки.

Так же в тренажере используется биологическая обратная связь. Биологическая обратная связь – это технология, которая позволяет контролировать и корректировать работу мышц и су-

ставов спортсмена в режиме реального времени. Она основана на использовании датчиков, которые измеряют физиологические показатели организма, такие как электрическая активность мышц, частота сердечных сокращений и другие [2].

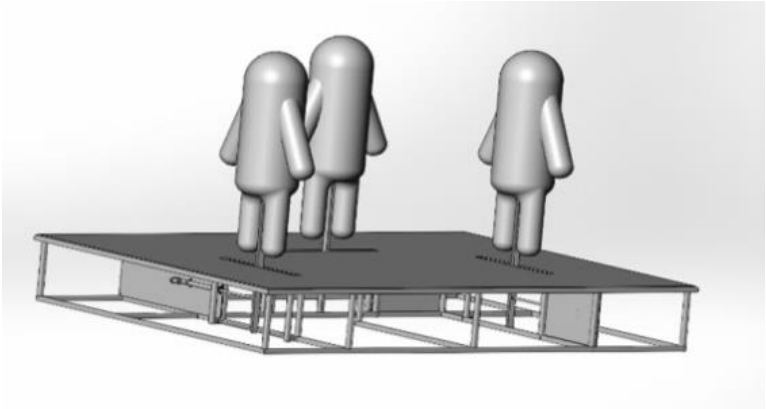


Рис. 1. Тренажера для развития скоростных и координационных способностей таэквондистов

Использование биологической обратной связи позволяет тренеру вносить коррективы в технику выполнения упражнений. Это помогает избежать травм и повысить результативность тренировки.

Литература

1. Использование тренировочных средств в единоборствах для формирования специальных качеств у студентов технических вузов. Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности / В. Н. Мурзинков [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – 164 с.

2. Петров, Н. Я. Характеристика и методы воспитания физических качеств в процессе самоподготовки студентов / Н. Я. Петров. – Минск: БГУИР, 1997. – 209 с.

УДК 796.346

ИНТЕРАКТИВНАЯ ТРЕНИРОВОЧНАЯ СТЕНКА ДЛЯ БОЛЬШОГО ТЕННИСА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ООО «АЛЬФАСПОРТ»

Студент гр. 11904121 Зуй К. Д.
Магистр техн. наук, ст. преподаватель Самохвал П. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современный профессиональный большой теннис – это не только невероятная скорость и мощь, но и постоянная гонка за совершенством. Успех в этом виде спорта напрямую зависит от кропотливой работы над техникой, физической подготовкой и, конечно же, использования самых передовых технологий. Растущая конкуренция, где каждый миллиметр и каждая сотая секунды имеют значение, подталкивает к разработке инновационных тренировочных инструментов, которые бы максимально эффективно помогали спортсменам оттачивать мастерство. Одним из таких перспективных направлений является создание интерактивной тренировочной стенки для большого тенниса, выполненной из высокотехнологичных композитных материалов.

В отличие от традиционных тренировочных стенок, интерактивная модель открывает новые возможности для индивидуальных тренировок. В первую очередь, она решает проблему ограниченности стандартных тренировочных снарядов. Надувные стенки, такие как «ЭйсВол», хоть и доступны по цене и легко транспортируются, часто страдают от недостаточной жесткости и непредсказуемости отскока мяча. Тренажеры типа Pitch Rebounder, предлагающие регулировку угла отскока, ограничены в разнообразии траекторий и не всегда имитируют поведение мяча на настоящем корте. Стационарные тренировочные стенки, хоть и более надежны, часто оказываются громоздкими и немобильными, занимая значительное пространство и ограничивая выбор места для тренировок. Интерактивная стенка, напротив, предназначена для преодоления этих недостатков. Использование композитных материалов (например, углеродного волокна, стекловолокна или кевлара в сочетании с высокопрочными полимерами) позволяет создать конструкцию,

одновременно легкую, прочную и долговечную, устойчивую к погодным воздействиям и механическим повреждениям. Интерактивные элементы могут включать в себя датчики скорости и угла полета мяча, систему обратной связи для визуализации траектории и параметров удара на дисплее, а также программное обеспечение для анализа техники и разработки индивидуальных тренировочных программ. Более того, геометрия интерактивной стенки может быть специально спроектирована для создания максимально реалистичного отскока мяча. Использование изогнутых поверхностей, с различным радиусом кривизны в разных зонах, позволяет имитировать отскок от различных типов покрытий кортов (грунт, трава, хард), учитывая влияние различных факторов, таких как сила удара, точка контакта и вращение мяча. Это позволяет теннисисту отрабатывать удары с различными эффектами (топспин, слайс, флэт), адаптируясь к разным игровым ситуациям и стилям противостояния. В интерактивную стенку можно также интегрировать систему автоматического подачи мячей, что позволит теннисисту тренироваться без помощи партнера, что особенно ценно при самостоятельных тренировках. Кроме того, интерактивная система может включать в себя виртуального противника, который будет моделировать различные стили игры и тактики соперников. Это позволит теннисисту развивать тактическое мышление и адаптироваться к различным игровым сценариям.

Основная часть теннисной стенки будет изготавливается из полимербетона. Полимербетон отвечает самым высоким требованиям с точки зрения долговечности и износостойкости. Этот материал обеспечивает более высокую прочность, что позволяет изготавливать компоненты с более тонкими стенками и, следовательно, с меньшим весом. Решающим преимуществом является абсолютно гладкая и непористая поверхность, которая остается неизменной на протяжении многих десятилетий [1].

Литература

1. Maillith. Polymerbeton [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.maillith.de/de/polymerbeton/, свободный. – Дата доступа: 20.02.2025.

УДК 796.346

ТЕНЗОДАТЧИКИ В БОЛЬШОМ ТЕННИСЕ

Студент гр. 11904121 Зуй К. Д.
Магистр техн. наук, ст. преподаватель Самохвал П. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Актуальность исследования обусловлена тем, что использование современных технологий приводит к повышению эффективности тренировочного процесса и судейства в большом теннисе. Тензометрические датчики работают на основе измерения механических деформаций материалов при воздействии внешних сил. Они позволяют спортсменам и тренерам анализировать движения, улучшать технику и снижать риск травм.

Тензодатчики могут использоваться для измерения натяжения струн ракетки, что помогает игрокам поддерживать оптимальные характеристики удара. Встроенные датчики позволяют игрокам или тренерам оперативно отслеживать изменения и корректировать натяжение при необходимости [1].

Встроенные в ракетку тензодатчики, позволяют измерять силу удара, скорость движения ракетки и направление приложения силы. Это особенно полезно для анализа техники спортсмена, выявления ошибок в движениях и оптимизации игрового стиля [2].

При каждом ударе ракетка испытывает значительные нагрузки и вибрации, которые могут повлиять на контроль мяча. Тензодатчики помогают измерять силу воздействия мяча, распределение нагрузки по ракетке и возникающие вибрации. Это может быть полезно для подбора индивидуальных параметров ракетки или разработки новых моделей с улучшенными характеристиками [3].

Обувь, оснащенная встроенными тензодатчиками, позволяет анализировать распределение давления ноги на поверхность корта, оценивать баланс, скорость и плавность движений. Это помогает корректировать технику бега, снижать риск травм и повышать маневренность игрока [4].

Сбор данных о нагрузках на руки, ноги и тело игрока позволяет тренерам разрабатывать более

эффективные тренировочные программы. Анализируя данные с тензодатчиков, можно выявлять перегрузки в определенных группах мышц и корректировать интенсивность тренировок, чтобы предотвратить переутомление и травмы [5].

Тензодатчики могут использоваться для мониторинга нагрузки на мышцы во время игры и тренировок. Полученные данные помогут врачам и физиотерапевтам разрабатывать программы восстановления, предотвращать перегрузку суставов и мышц, а также давать индивидуальные рекомендации по технике ударов и движений [6].

Тензодатчики могут применяться в судейских системах для более точного определения моментов касания мяча с поверхностью корта или ракеткой. Это может улучшить точность судейских решений, особенно в спорных моментах. Также такие датчики могут быть интегрированы в системы видеоанализа для детального разбора матчей.

Применение тензодатчиков в большом теннисе открывает новые возможности для улучшения тренировок, повышения точности судейства и профилактики травм. Развитие технологий в этой сфере способствует более глубокому анализу техники игры и созданию персональных рекомендаций для спортсменов.

Литература

1. Кросс, Р. Физика тенниса / Р. Кросс, К. Линдси. – Berlin: Springer, 2014. – 322 с.

2. Эллиотт, Б. Биомеханика тенниса / Б. Эллиотт, М. Рид, М. Креспо // ITF Coaching and Sport Science Review. – 2009. – Т. 16, № 49. – С. 8–10.

3. Броуди, Х. Физика и технологии тенниса / Х. Броуди. – Racquet Tech Publishing, 2002. – 289 с.

4. Нигг, Б. М. Биомеханика мышечно-скелетной системы / Б. М. Нигг, В. Херцог. – Chichester: Wiley, 2007. – 672 с.

5. Рид, М. Освоение навыков в теннисе: исследования и современные практики / М. Рид, М. Креспо, Б. Лэй, Дж. Берри // Journal of Science and Medicine in Sport. – 2007. – Т. 10, № 1. – С. 1–10.

6. Киблер, В. Б. Травмы в теннисе: профилактика, диагностика и лечение / В. Б. Киблер. – Berlin: Springer, 2009. – 276 с.

УДК 796.028

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СУДЕЙСТВА В РОЛЛЕРСПОРТЕ

Студент гр. 11902121 Ильютик А. С.[1]
Ст. преподаватель Барановская Д. И.[1], Катибникова В. А.[1], Кузьмицкий А. И.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]МКСК «Минск-арена», Минск, Беларусь

Современное развитие спортивных технологий направлено на повышение точности и эффективности судейства, что играет важную роль в обеспечении справедливых результатов соревнований. В роллерспорте, как в динамичной и технически сложной дисциплине, существует необходимость внедрения инновационных систем для автоматизированного сбора, обработки и анализа данных о ходе соревнований. Одним из важнейших аспектов является проектирование мобильной системы судейства, которая позволяет повысить оперативность и точность фиксации результатов.

В этом контексте мобильная система судейства представляет собой эффективный инструмент для управления процессом оценки спортивных результатов. Такая система позволяет фиксировать ключевые моменты соревнований, анализировать динамику выступлений и формировать объективную картину итогов на основе данных, полученных в режиме реального времени. Оценка эффективности мобильной системы судейства должна включать применение специализированных методов и технологий, таких как видеосъемка с высоким разрешением, транспондеры, датчики движения и синхронизация временных меток. Эти инструменты способствуют снижению вероятности ошибок и повышению достоверности результатов соревнований.

Для мобильной системы судейства было подобрано необходимое оборудование различных производителей с учетом требований к функциональности: камеры фотофиниша, транспондерной системы, счетчиков кругов, табло (рис. 1).

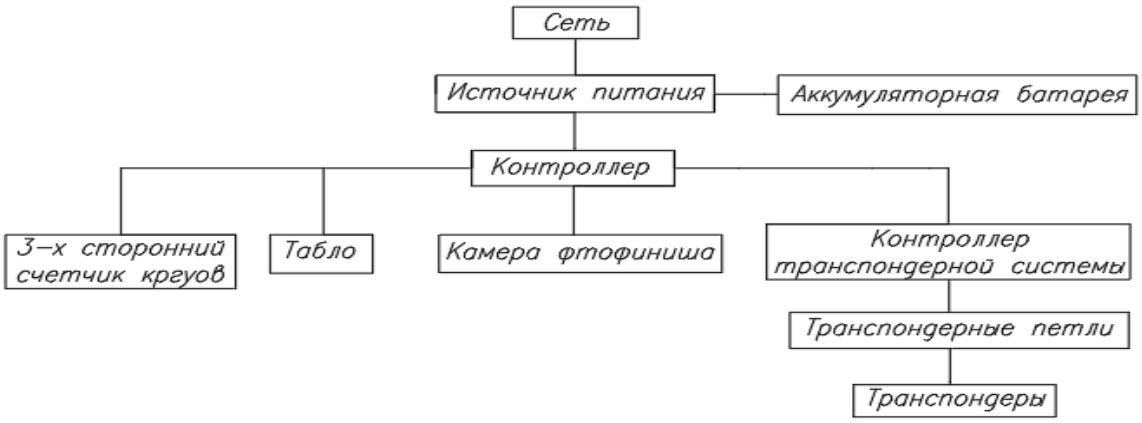


Рис. 1. Схема подключения оборудования

Кроме того, при разработке мобильной системы судейства рассчитывались параметры энергопотребления, исходя из технических характеристик, оборудование, представляющее собой мобильную систему судейства, в сумме потребляет электроэнергии на $P_{сум}$ = 1202,5 Вт. Разработанная мобильная система судейства позволяет проводить большое количество спортивных мероприятий на различных трассах.

УДК 771.796

ЗНАЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРИЙ НА КРУПНЫХ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ

Магистрант Катибникова В. А.
Кандидат эконом. наук, доцент Карнейчик В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Создание лаборатории на базе крупных спортивных объектов является социально значимым проектом, который несет в себе отдаленный экономический эффект, связанный с разработкой инновационных технологий в спортивной сфере, улучшением подготовки спортсменов и, соответственно, результативности их выступлений на соревнования разного уровня, что в свою очередь повышает рейтинг страны в мировом пространстве.

Подготовка спортсменов высокого класса требует не только наличия залов, оборудования, профессиональных тренеров, но и условий для контроля за процессом подготовки, отклонений в физическом состоянии и коррекции техники двигательных действий.

Исследования, проводимые на базе лабораторий, позволяют:

– анализировать работу спортсмена в динамике;

– более точно фиксировать результаты подготовки спортсменов и детально корректировать тренировочный процесс;

– выявлять резервы роста и раскрывать потенциал спортсмена;

– проводить мониторинг физического и психического состояния спортсмена;

– объективно оценивать техническую подготовленность спортсменов;

– проводить отбор на разном уровне подготовки;

– проводить научные исследования в области спортивной подготовки в сотрудничестве с учреждениями высшего образования и научно-исследовательскими институтами;

– готовить научные кадры и повышать квалификацию тренерского состава в сфере физической культуры и спорта совместно с учреждениями образования;

– способствовать разработке инновационных технологии на основании получаемых данных;

– предоставлять расширенный спектр дополнительных услуг на платной основе, для повышения финансовой стабильности объекта.

Создание лаборатории непосредственно на базе спортивного сооружения позволяет объединять научную теорию с практикой, теоретические и эмпирические исследования, а проектирование в рамках конкретной спортивной специализации повысит эффективность ее работы.

Центральное место в проведении исследований по разным научным направлениям в спортивной сфере занимает Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр спорта». Кроме того, в Республике Беларусь функционирует ряд лабораторий со спортивной направленностью: учебно-исследовательская лаборатория функциональной диагностики и восстановительных технологий, научно-образовательный кластер «Интеллектуальные технологии в спорте», спортивная лаборатория «Sportlab» и др. По всей стране располагаются 17 учреждений спортивной медицины, которые, кроме диагностики, реализуют научную деятельность на основе собранных данных [1].

Согласно проведенному исследованию, количество лабораторий спортивной диагностики не соразмерно количеству спортивных сооружений и, не в полной мере удовлетворяет научную потребность в проведении исследований спортивной направленности.

В связи с этим, необходимо рассмотреть возможность открытия лаборатории спортивной диагностики на базе МКСК «Минск-арена» для обеспечения исследовательской деятельности в области зимних видов спорта, в частности, конькобежного спорта.

Данный выбор расположения лаборатории обусловлен возможностью проведения исследований двигательных действий спортсменов во время соревновательного и тренировочного процессов без нюансов в логистическом вопросе.

Литература

1. Учреждения спортивной медицины: [сайт]. – Минск, 2023–2025. – Режим доступа: https://www.medsport.by/uchrezhdeniya-sportivnoy-meditsiny. – Дата доступа: 28.02.2025.

УДК 659.111

РЫНОК СПОРТИВНЫХ КАДРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Студент гр. 11904122 Корзан И. Д.
Кандидат эконом. наук, доцент Карнейчик В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наличие квалифицированных кадров является важнейшим условием эффективной работы сферы нематериального производства. Рынок спортивных кадров формируется под воздействием спроса и предложения. К основным факторам, влияющих на формирование спроса на квалифицированные кадры в сфере физической культуры и спорта, относятся прежде всего уровень развития спортивной инфраструктуры и интересы, потребности населения в данной области. Анализ статистических данных показал устойчивый рост этих двух показателей в Республике Беларусь (рис. 1 и 2) [1].

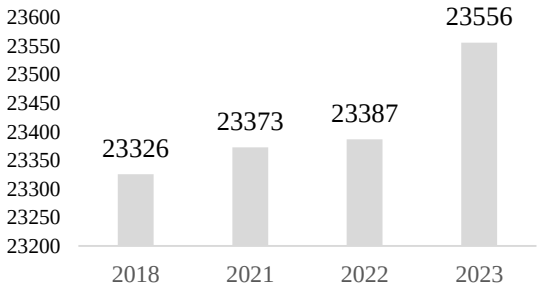


Рис. 1. Количество спортивных сооружений в Республике Беларусь

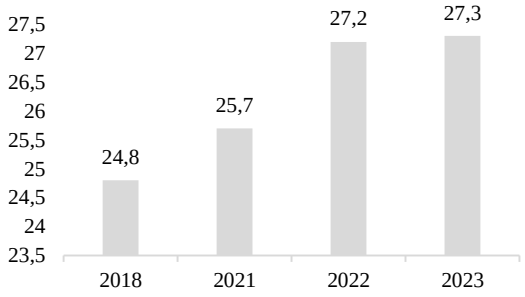


Рис. 2. Численность лиц занимающихся физ. культурой и спортом, в % к общей численностью населения

Динамика роста спортивных сооружений и растущий интерес населения к занятиям физической культурой и спортом прямо пропорциональны увеличению потребности в квалифицированных специалистах. По данным 2023 года, количество работников, занятых в сфере физической культуры и спорта в Республике Беларусь, составляло более 40 тыс. человек [2].

В ходе исследования были изучены и выявлены следующие проблемы на рынке спортивных услуг: дефицит квалифицированных кадров, особенно в малых городах; растущий спрос на узких специалистов в рассматриваемой сфере, например, по спортивному маркетингу и спортивной психологии; отток кадров из физкультурно-спортивной отрасли, что сдерживает дальнейшее ее развитие.

Можно выделить основные причины такого состояния вопроса: 1) повышение требований к компетенциям и квалификации специалистов путем утверждения обязательных условий к работе тренерско-педагогических кадров, в том числе наличия специального образования; 2) недостаточная интеграция в международном сообществе; 3) ограниченные возможности финансирования спортивных программ; 4) слабая связь теоретической подготовки и практическими навыками; 5) быстро меняющиеся условия работы, связанные с возникновением новых технологий, влияющих на потребности населения.

В связи с выше сказанным, можно выделит следующие направления развития рынка физкультурно-спортивных кадров Республики Беларусь: 1) повышение эффективности системы подготовки специалистов, способных обеспечить конкурентоспособность как на внутреннем, так и внешнем рынке. Сюда относится совершенствование образовательных программ, как на этапе получения общего высшего образования, так и на этапах углубленного образования, подготовки научных кадров и дальнейшего повышения квалификации с учетом международного опыта; 2) удержание сотрудников, путем создания благоприятных условий труда, возможности профессионального роста, внедрения инновационных технологий и методик в работу.

Для полноценной реализации потенциала физической культуры и спорта необходим комплексный подход, включающий подготовку кадров и эффективное управление ресурсами.

Литература

1. Статистический ежегодник Республики Беларусь / гл. ред. И. В. Медведева. – Минск, 2024. – С. 150.
2. Горбатенко И. – Режим доступа: https://www.sb.by. – Дата доступа: 10.02.2025.

УДК 796.96

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКОВ В ХОККЕЕ

Студент гр. 11904121 Корзун А. В.
Магистр техн. наук, ст. преподаватель Самохвал П. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Применение датчиков в хоккее необходимо для обеспечения конкурентоспособности, снижения травматизма и анализа выступлений. Применение датчиков в хоккее обеспечивает конкурентное преимущество, т. к. предоставляет необходимую информацию о результатах контрольных показателей, это способствует составлению индивидуальных тренировок, что повышает эффективность спортсмена на льду. Использование датчиков снижает уровень травматизма, т. к. датчики устанавливаются на экипировку и отслеживают данные о движениях, скорости, ударах и силе ударов, при анализе этих параметров тренеру несложно выявить признаки переутомления спортсмена, что уменьшает получение травмы во время тренировок. При использовании датчиков можно анализировать данные по травмоопасным ситуациям и разрабатывать меры по их предотвращению. В хоккее датчики часто применяют для анализа выступлений. Посмотрев на цифры, спортсмены и тренеры могут объективно оценить игру. Это необходимо для дальнейших тренировок, оптимизации нагрузки.

Наиболее часто датчики у хоккеистов закрепляются на форму и устанавливаются на шайбу, коньки и шлем. Как только хоккеист выходит на лед, в систему моментально приходит следующая информация: пройденное расстояние, время нахождения игрока на льду, карта движения игрока с шайбой и без, места единоборств и бросков, максимальная и средняя скорость игрока,

ускорения и торможения, скоростные диапазоны и время нахождения в них, дистанция, пройденная шайбой, при пасах, владение шайбой, процент точных передач, пересечения синих линий и их типы и время в зоне атаки. После окончания матча информация передается тренеру по общей физической подготовке. Он составляет анализ, и на основе полученных данных составляются восстановительные занятия для каждого игрока. Каждому хоккеисту выдается определенное задание на восстановление, которое зависит от времени нахождения на площадке и от общей дистанции, пройденной хоккеистом [1].

При установке датчика на коньки система постоянно отслеживает и записывает движения коньков, шаги, повороты и ускорение – для каждой ноги, передавая данные на онлайн-сервер [2].

Установка датчиков на шлем или «умный» шлем предназначены для мониторинга здоровья игрока, анализа движений, связи с тренерами получения данных о физических качествах хоккеиста. Это помогает тренерам и медицинскому персоналу быстро реагировать на возможные травмы и обеспечивать безопасность игроков.

Осуществление связи и тактических инструкций возможны со встроенными коммуникационными средствами в умных шлемах, обеспечивающих более эффективное взаимодействие между игроками и тренерами. Помимо биометрических параметров, есть возможность узнать информацию о физических качествах хоккеиста, выявлять сильные и слабые стороны и составить индивидуальные тренировочные программы.

Носимые технологии могут помочь тренерам планировать свои ежедневные, еженедельные и ежемесячные графики, чтобы результаты тренировок и игр соответствовали правильной дозе объема и интенсивности.

Использование датчиков в хоккее представляет собой необходимость, особенно в современном спорте, где каждая деталь играет решающую роль. использование их не только повышает эффективность игры, но и обеспечивает безопасность спортсменов.

Литература

1. В КХЛ появились «умные» шайбы и формы с чипами. Такого нет даже в НХЛ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://m.sport.business-gazeta.ru/article/244190. – Дата доступа: 13.02.2025.

2. Датчики Scorched Ice для коньков похожи на носимых хоккейных тренеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sciencetoday.ru/gadgets/personal-gadgets/datchiki-scorched-ice-dlya-konkov-pokhozhina-nosimykh-khokkejnykh-trenerov. – Дата доступа: 13.02.2025.

УДК 796.691

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ КАТАНИЯ НА РОЛИКОВЫХ КОНЬКАХ

Студент гр. 11904121 Корзун А. В.
Кандидат пед. наук, доцент Солонец А. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Роликобежный спорт сочетает в себе элементы конькобежного спорта и роликового катания. Этот спорт отличается от конькобежного тем, что соревнования проходят не на льду, а на асфальтной дороге с использованием роликовых коньков.

В процессе тренировок спортсмены развивают такие физические качества как выносливость, силу, гибкость, координацию и скорость, что крайне важно для роликобежного спорта. Выносливость необходима для поддержания высокой эффективности во время соревнований, что способствует правильному и безопасному выполнению сложных трюков. Сила нужна спортсмену для разгона, остановки и маневрирования на роликовых коньках. Гибкость обеспечивает безопасность при выполнении нестандартных движений. Координация способствует поддержанию равновесия и выполнению сложно-координационных элементов. Скорость обеспечивает способность быстро реагировать окружающие изменения, предотвращая возможные травмы.

Помимо физической подготовки спортсмены тренируют технику катания на роликовых коньках на специально выделенных площадках – роллердромах. В данный момент времени не существует специализированных роликовых тренажеров, поэтому возможно применение модернизированных хоккейные тренажеров такие как: Power Skater, слайдборд Rocketshot, Treadmill.

В качестве прототипа роликового тренажера выбран Treadmill или хоккейная беговая дорожка, так как данный тренажер максимально подходит для отработки движения на роликовых коньках. Модернизация заключается в замене полотна и добавления возможности изменения не только угла подъема, но и возможности изменения угла спуска.

Тренажер предназначен для развития техники бега на роликовых коньках. Состоит из несущей конструкции, беговой поверхности, валов, подшипников, электродвигателя, ременной передачи, подъемника, перекладины и опорной поверхности. Хоккейном тренажере Treadmill беговое полотно изготовлено из синтетического льда, в роликовом – из поливинилхлорида, который обладает высоким скользящими свойствами.

В тренажере используются четыре вала: три ведомых и один ведущий. Вал крепится к полому стержню, на котором располагается беговая поверхность, также на вал крепится подшипник, предназначенный для закрепления и обеспечения свободного вращения вала.

Вал изготовлен из материала Сталь45Г, сталь является углеродистой, высокого качества. В материал добавлен марганец для улучшения механических свойств. Сталь 45Г имеет высокую прочность и хорошо обрабатывается, что обеспечивает надежность и безопасность детали.

Тренажер для обучения и совершенствования техники катания на роликовых коньках имеет техническое требование – климатическое исполнение УХЛ4. Конструкция с климатическим исполнением УХЛ4 предназначена для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом. Предназначено для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями. Верхнее рабочее значение температуры при эксплуатации тренажера +35 °С, нижнее – +1 °С. Пределы относительной влажности от 60 % до 80 %.

При помощи системы автоматизированного проектирования SolidWorks, были произведены исследования подъемника на напряжения, запас прочности и перемещения.

При проектировании тренажера были произведены расчеты диаметра приводного вала, долговечности подшипников качения и момента силы завинчивания болтов.

Таким образом, разрабатываемый тренажер является отличным подспорьем для начинающих спортсменов и для тех, кто хочет отработать технику движения с изменяющимися условиями.

УДК 796.022

БОРЦОВСКИЕ ТРЕНАЖЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАГРУЗКИ

Студент гр. 11904121 Оганисян Р. С., студентка гр. 11311123 Полозок Л. П.,
магистрант Гамзатов Ф. З.
Кандидат техн. наук, доцент Закерничный В. И., кандидат биол. наук, доцент Мурзинков В. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время наблюдается интенсивное использование технических устройств при занятиях спортом, что объясняется возрастающим уровнем конкуренции в различных видах спорта с одной стороны и необходимостью получения в более короткие сроки результативных достижений в соревнованиях с другой. Технические устройства и тренажеры также широко используются для реабилитации и восстановления спортсменов, при занятиях физической культурой, а также, при проведении лечебных занятий.

В единоборствах цель применения всех видов тренажерных устройств сводится, в конечном счете, к одному – все они должны создавать максимально полную имитацию варьируемых нагрузок, аналогичных возникающим в ходе тренировок и спортивных состязаний.

Исследования и опыт эксплуатации спортивных тренажеров показывают, что в обычных механических тренажерах инерционные силы искажают показатели сопротивления, особенно при высоких скоростях, т. е. данные тренажеры могут использоваться должным образом только при медленных и простых прогнозируемых движениях [1].

В то же время биомеханика движений тренирующегося, особенно в единоборствах, имеет свою сложную специфику, которая заключается в том, что постоянно возникают быстротечные изменения векторов скорости и усилий, создаваемых спортсменами. Это влияет на разработку

и особенности проектирования специальных тренажерных устройств для имитации техники выполнения активных действий в единоборствах [2].

Для решения этих задач разрабатываются спортивные тренажеры, в которых в качестве нагрузочных устройств применяются гидравлические системы с использованием как традиционных жидкостей, так и коллоидных растворов ферромагнетиков, способных изменять под воздействием магнитного поля некоторые свои свойства, в частности вязкость [3]. На сохранение положительных качеств гидравлических нагрузочных узлов спортивных тренажеров и устранение конструктивных и эксплуатационных недостатков некоторых схем тренажеров, уменьшающих эффективность их применения, и была направлена наша работа.

За основу для разработки борцовского тренажера с альтернативной гидравлической системой нагрузки была взята конструкция борцовского тренажера с гидравлическим нагрузочным узлом с использованием магнитной жидкости [3].

Причина исследований и последующей разработки тренажера (рис. 1), использующего иной способ гидравлической нагрузки заключается в том, что применение борцовских тренажеров с нагрузочными узлами с магнитной жидкостью является технически сложным, что непосредственно влияет на эффективность применения борцовского тренажера, кроме того, большая инерционность системы и значительная неоднородная вязкость жидкости по объему нагрузочного узла не позволяют равномерно и быстро регулировать нагрузку(сопротивление) на рычаге манекена во время выполнения тренировочных занятий.

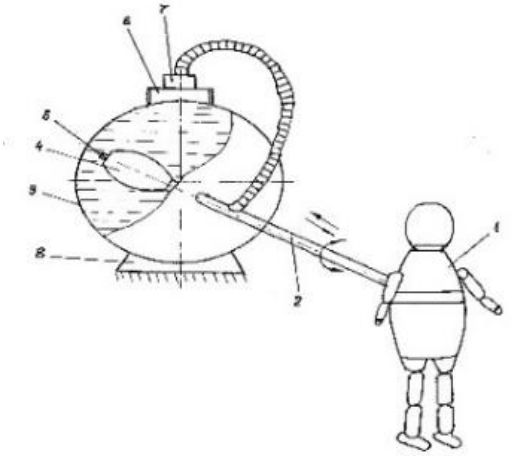


Рис. 1. Борцовский тренажер

Перечисленные недостатки устраняются тем, что, во внешняя сфера *3* предлагаемого борцовского тренажера, заполняется обычной (не магнитной) жидкостью. Расположенная внутри пустотелая эластичная фигура *4* может изменять свою геометрическую форму под воздействием повышающегося (понижающегося) избыточного давления в ней, что создает возможность плавно регулировать нагрузку на эластичном рычаге *2*, соединенном с манекеном, а плавное регулирование давления в фигуре *4* обеспечивается при помощи компрессорной станции *6* с микропроцессорным узлом управления *7*, обеспечивающим создание заданного программой избыточного давления в фигуре *4*.

При применении микропроцессорного узла управления *7* достигается повышение эффективности использования борцовского тренажера, плавности регулирования нагрузки на эластичном штоке *2* и повышение интенсивности использования силового тренажера.

Литература

1 Петров, Н. Я. Характеристика и методы воспитания физических качеств в процессе самоподготовки студентов / Н. Я. Петров. – Минск: БГУИР, 2009. – 209 с.

2. Патент BY 86U, 2000 МПК A63 B 23/00.

3. Патент BY 13469U, 2024 МПК A 63B 21/008; A 63B 23/12.

УДК 796.81

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕНЗОДАТЧИКОВ В ВОЛЬНОЙ И ГРЕКО-РИМСКОЙ БОРЬБЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

Студент гр. 11904121 Оганисян Р. С.
Магистр техн. наук, ст. преподаватель Самохвал П. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В последние годы мы наблюдаем активное внедрение технологий в различные сферы спорта, и борьба не является исключением. Одним из наиболее перспективных направлений, которое приобретает популярность, является использование тензодатчиков – высокоточных устройств, способных измерять напряжение и деформацию материалов. В рамках вольной и греко-римской борьбы эти датчики могут значительно улучшить как тренировочный процесс, так и анализ техники выполнения спортивных движений спортсменами [1].

В борьбе, где физическая нагрузка варьируется в зависимости от интенсивности тренировок и уровня соперников, важно отслеживать, как именно распределяется нагрузка на различные группы мышц. Это позволяет тренерам адаптировать тренировочные нагрузки, предотвращая переутомление и травмы [2]. Например, если данные показывают, что определенные мышцы перегружены, тренер может изменить программу тренировок, чтобы снизить риск травмы. Это особенно актуально в условиях интенсивных тренировок, когда спортсмены могут не осознавать, что перегружают определенные группы мышц. Каждый спортсмен уникален, и подходы к тренировкам должны отражать это разнообразие. Данные, полученные от тензодатчиков, могут помочь тренерам лучше понять индивидуальные особенности каждого борца, включая их физические способности, уровень подготовки и даже психологические аспекты. Таким образом, тренеры могут разрабатывать персонализированные планы тренировок, которые будут максимально эффективны для каждого спортсмена.

Кроме того, тензодатчики могут сыграть ключевую роль в анализе техники выполнения приемов. Каждый элемент борьбы требует высокой точности и координации движений. С помощью тензодатчиков можно получить детализированные данные о том, как именно спортсмен выполняет различные техники – от захватов до бросков. Эти данные позволяют выявить сильные и слабые стороны каждого борца, что способствует более целенаправленной работе над улучшением навыков. Например, анализируя силу и скорость выполнения определенного приема, тренеры могут предложить рекомендации по его оптимизации. Это может включать изменения в технике, а также рекомендации по физической подготовке.

В сочетании с другими современными технологиями, такими как видеоанализ движений, тензодатчики могут значительно повысить уровень подготовки борцов. Например, используя видеозапись совместно с данными тензодатчиков, тренеры могут более точно анализировать, как изменения в технике выполнения приемов влияют на результаты [3]. Это позволяет не только улучшать индивидуальные навыки борцов, но и оптимизировать командные стратегии.

В заключение, использование тензодатчиков в вольной и греко-римской борьбе открывает новые горизонты для тренеров и спортсменов. Эти устройства не только помогают в мониторинге нагрузки и анализе техники, но и способствуют индивидуализации тренировочного процесса. В условиях высокой конкуренции на спортивной арене, применение таких технологий может стать ключевым фактором успеха, позволяя борцам достигать новых высот и улучшать свои результаты.

Литература

1. Ковалев, А. Г. Технологии в спорте: современные подходы и методы / А. Г. Ковалев, П. Н. Сидоров. – Минск: БГУ, 2020. – 125 с.

2. Баранов, В. И. Спортивная биомеханика: учебное пособие / В. И. Баранов. – Минск : БГПУ, 2018. – 415 с.

3. Смирнов, Е. Ю. Инновационные технологии в тренировочном процессе спортсменов / Е. Ю. Смирнов. – Минск: Наука и техника, 2022. – 213 с.

УДК 796.81

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ БРОСКА В БОРЬБЕ

Студент гр. 11904121 Оганисян Р. С.
Магистр техн. наук, ст. преподаватель Самохвал П. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Тренажер для совершенствования техники броска в борьбе (ТББ) предназначен для отработки приемов и техник борьбы, включая удушающие захваты. Он помогает спортсменам совершенствовать навыки, улучшать контроль и силу, а также повышать уровень подготовки к соревнованиям. ТББ используется для тренировок спортсменов разного уровня подготовленности. Данный тренажер применяется в спортивных залах и секциях, где проводятся занятия по борьбе. Также ТББ может быть использован в индивидуальных тренировках для улучшения техники и контроля над силой захвата.

Тренажер позволяет спортсменам отрабатывать приемы без риска причинить вред партнеру по тренировке. Это особенно важно для начинающих борцов, которые еще не имеют достаточного опыта и могут случайно причинить травму своему оппоненту во время тренировки.

Кроме того, тренажер способствует повышению уровня подготовки к соревнованиям, так как позволяет спортсменам тренироваться более эффективно и целенаправленно. Он помогает улучшить контроль над своими движениями и силой захвата, что может привести к более успешным выступлениям на соревнованиях [1].

В результате проектирования была разработана конструкция тренажера для совершенствования техники броска в борьбе (рис. 1).

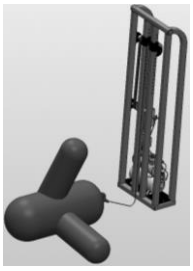


Рис. 1. Тренажер для совершенствования техники броска в борьбе

За основу был взят тренажер Suples Choke Dummy. На основании проведенного анализа конструкции и условий тренировки в качестве модернизации выбранного прототипа, было добавление электромотора в качестве нагрузки вместо использования резины. Эта модернизация позволяет дозировать нагрузку с помощью пульта управления и использовать биологическую обратную связь.

Биологическая обратная связь – это технология, которая позволяет контролировать и корректировать работу мышц и суставов спортсмена в режиме реального времени. Она основана на использовании датчиков, которые измеряют физиологические показатели организма, такие как электрическая активность мышц, частота сердечных сокращений и другие [2].

Добавление электромотора в качестве нагрузки позволяет создать более реалистичные условия тренировки, так как сопротивление мотора может изменяться в зависимости от потребностей спортсмена. Это помогает улучшить координацию, силу и выносливость спортсмена, а также повысить эффективность тренировки.

Использование биологической обратной связи позволяет тренеру видеть в реальном времени, как работают мышцы и суставы спортсмена, и вносить коррективы в технику выполнения упражнений. Это помогает избежать травм и повысить результативность тренировки.

Литература

1. Использование тренировочных средств в единоборствах для формирования специальных качеств у студентов технических вузов. Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности / В. Н. Мурзинков [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – 164 с.

2. Петров, Н. Я. Характеристика и методы воспитания физических качеств в процессе самоподготовки студентов. / Н. Я. Петров. – Минск: БГУИР, 1997. – 209 с.

УДК 796.028

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛУСТАЦИОНАРНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ТРАНСПУНКТА СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА НА 5000 ЗРИТЕЛЕЙ

Студент гр. 11902122 Павленко А. В.[1]
Ст. преподаватель Барановская Д. И.[1], преподаватель Катибникова В. А.[1], Кузьмицкий А. И.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]МКСК «Минск-арена», Минск, Беларусь

Ни одно спортивное мероприятие высокого уровня, ни одно состязание профессиональных спортсменов не проводится без участия телевидения. В то же время и телевидение очень многим обязано спорту как зрелищу. Такие события, как Чемпионат мира по футболу и Олимпийские игры, становятся явлениями массовой культуры и затрагивают жизнь многих людей. С тех пор, как телевидение начало транслировать спортивные передачи, его влияние на развитие спорта огромно [1].

Одним из важнейших телевизионных объектов в многофункциональном комплексе является полустационарный телевизионный транспункт (ПСТТП). Полустационарные телевизионные транспункты играют ключевую роль в современном телевещании, обеспечивая возможность гибкой и эффективной передачи сигналов в различных условиях [2].

ПСТТП (полустационарный телевизионный транспункт) – это устройство или система, которая обеспечивает коммутацию и передачу сигналов при проведении телевизионной трансляции проводимых мероприятий.

ПСТТП предназначен для подключения передвижной телевизионной станции (ПТС) к коммутационной инфраструктуре сооружения (рис. 1).

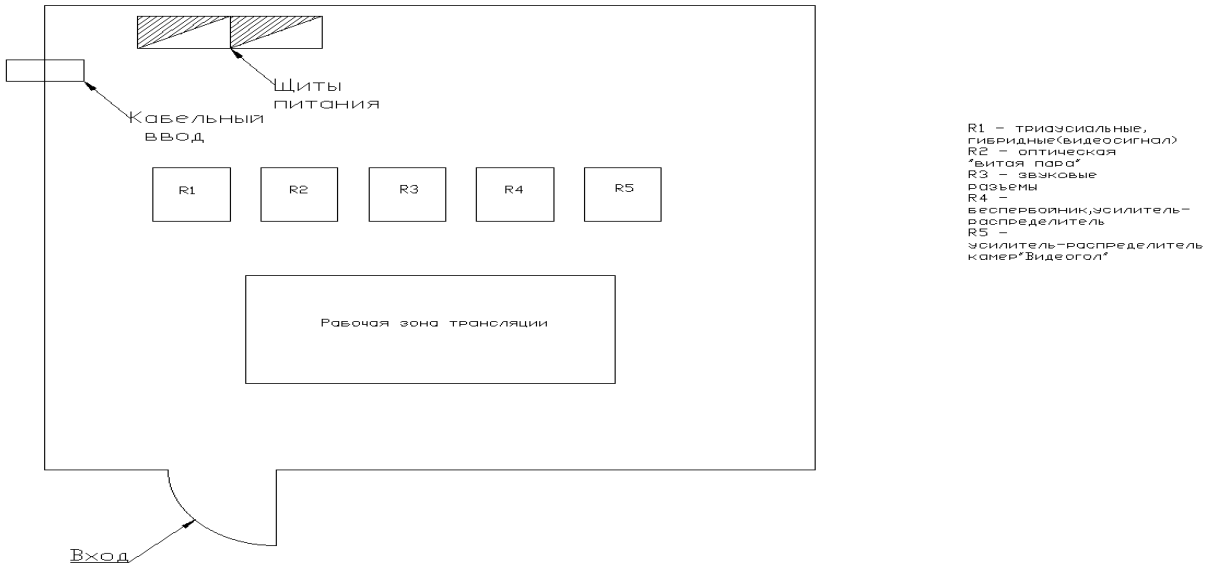


Рис. 1. План-схема помещения ПСТТП

Разработанная система ПСТТП обеспечит возможность передачи следующих типов сигналов, необходимых для проведения трансляции: аналоговые и цифровые; видео и аудиосигналы; сигналов управления камерами на арене; сигналами данных и служебной связи.

Литература

1. Виды спорта и их техническое обеспечение: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-60 01 01 «Техническое обеспечение эксплуатации спортивных объектов», 1-60 02 01 «Техническое обеспечение спортивных технологий» и 1-60 02 02 «Проектирование и производство спортивной техники» / В. Е. Васюк. – Минск: БНТУ, 2015. – 192 с.

2. Барановская, Д. И. Информационное обеспечение систем управления спортивных объектов / Д. И. Барановская, М. А. Петух, М. М. Салтанов. – Минск: Мин. обр. РБ БНТУ, 2019. – 185 с.

УДК 796.92.093.642

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СТРЕЛКОВОЙ ПОДГОТОВКИ БИАТЛОНИСТОВ

Студент гр. 31302320 Смольский А. А.
Кандидат техн. наук, доцент Савченко А. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Высокая результативность соревнований в современном биатлоне зависит не только от скорости на дистанции, но и от точности стрельбы и экономии времени при подготовке и осуществлении стрельбы. Эти факторы имеют решающее значение для дальнейших исследований возможностей повышения спортивной результативности в биатлоне.

Биатлонист на огневом рубеже испытывает как физическую усталость, так и психологический стресс из-за недостатка времени и высокого чувства ответственности за результат. Кроме того, он находится под влиянием внешних условий, затрудняющих стрельбу: ветер, осадки. Поэтому требуется вводить в тренировочный процесс упражнения, способствующие стабильному положению тела при стрельбе, как стоя, так и лежа.

В стрелковую подготовку начинающих биатлонистов рекомендуется включать технические средства объемом до 40 %, а для биатлонистов высокой категории – в объеме до 25 % от общего времени стрельбы. Поэтому является актуальной задачей разработка технических средств для тренировки спортсменов, в том числе для стрелковых тренировок биатлонистов.

За основу было взято устройство для тренировки стрелков [1]. Стрелок осуществляет прицеливания стоя или лежа на качающейся платформе. За счет использования в тренировочном процессе движущейся платформы осуществляется повышение координационных способностей и статической устойчивости у стрелка. Т. е. многократно повторенное упражнение в созданных условиях искусственной управляющей среды приводит к мышечному запоминанию тренирующимся стабильной и правильной изготовки, которая является естественной именно для него и позволяет добиться устойчивости конструкции стрелок-оружие, для осуществления качественного прицеливания и производства результативного выстрела.

Также для тренировой стрелков используют подвесные качающиеся платформы, который раскачивают вручную или с помощью электромагнитов. Такие устройства популярны, благодаря простоте конструкции, но малоэффективны из-за ограниченных возможностей.

Платформа для размещения стрелка имеет размер 2000×1540, что соответствует размеру коврика для стрельбы лежа, и выполнена из фанеры с покрытием из пенополиуретана. Платформа по углам с помощью уголков установлена на четыре привода, каждый из которых имеет в составе мотор-редуктор, кривошип, который тягами соединен с траверсой. Такая конструкция позволяет получить как боковое смещение платформы для имитации ветровой нагрузки, так и наклоны для тренировки статической устойчивости стрелка. Между траверсой и платформой находится карданный шарнир. Мотор-редукторы установлены на раме, сваренной из прямоугольных труб.

На раме находится электрический разъем, посредством которого приводы подключаются к схеме управления.

Положение элементов приводов измеряется резистивными датчиками угла поворота. Это позволяет задавать различные программы качания платформы для имитации различных условий и режимов тренировки и выдерживать правильное исполнение этих программ.

В процессе тренировки движущаяся платформа совершает постоянно меняющиеся относительно вертикальной и горизонтальной оси колебания. Платформа двигается под различными углами, достаточно медленно, чтобы стрелок успевал держать оружие в области прицеливания, но без рывков и, в тоже время, без остановки. Стрелок вынужден постоянно удерживать оружие с помощью мышц, которые при обычной тренировке находятся в статике или выключены, либо включаются в удержание оружия, когда стрелок чувствует, что ему не хватает устойчивости оружия.

Литература

1. Патент № 2665247 РФ МПК A63B 22/14. Устройство для тренировки стрелков: № 2017133209, заявл. 22.09.2017, опубл. 24.05.2018/ Долгих С. М., Игнатенко А. В., Малышко А. В. – 12 с.

УДК 796.028

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ГУ «МКСК «МИНСК-АРЕНА»

Студент гр. 11902121 Ткачев П. В.
Ст. преподаватель Барановская Д. И., Катибникова В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современных условиях эксплуатации спортивных комплексов важным аспектом является повышение энергоэффективности, надежности и экологической безопасности инженерных систем. Одной из ключевых систем, влияющих на комфортное функционирование объектов, является система холодоснабжения. МКСК «Минск-Арена» – крупнейший многофункциональный спортивно-культурный комплекс, в котором система холодоснабжения играет важную роль в обеспечении оптимального микроклимата для ледовой арены, технических помещений и систем кондиционирования воздуха.

В МКСК «Минск-арена» имеются два холодильных центра: один – для охлаждения воздуха в системах кондиционирования зданий арены и конькобежного стадиона, второй – для технологической системы приготовления льда на ледовых площадках арены и конькобежного стадиона.

Холодильная станция для систем кондиционирования суммарной холодильной мощностью 6,0 МВт размещена в здании арены и укомплектована 3 промышленными установками фирмы GEA-GRASSO. Благодаря ее работе происходит охлаждение циркулирующей воды в системе холодоснабжения кондиционеров до +5 °С. Холодильная станция для технологической системы приготовления льда суммарной холодильной мощностью 4,3 МВт находится в здании конькобежного стадиона и укомплектована 4 промышленными установками (1 резервная), оснащенными винтовыми компрессорами Bitzer HSK-8571-140. Она обеспечивает циркуляцию и охлаждение жидкости до –18 °С (40 %-ная смесь воды и этиленгликоля) в контуре холодоснабжения ледовых полей.

Для облегчения технического обслуживания и обеспечения запасными деталями в обеих холодильных станциях выбраны одинаковые модели холодильных компрессоров одного производителя как для формирования льда, так и для кондиционирования воздуха. Хладагент, используемый в холодильных машинах, – фреон R-507.

Система холодоснабжения МКСК «Минск-арена» включает в себя следующие основные компоненты: компрессоры Bitzer HSK-8571-140, резервуары холодной воды из углеродистой стали, воздушные конденсаторы Thermokey JKH-2890 и Thermokey VXC-S288, насосы KSB – Etabloc.

Необходимость модернизации системы холодоснабжения обусловлена рядом факторов, среди которых можно выделить физический износ оборудования, увеличение эксплуатационных затрат и потребность в повышении энергоэффективности.

В ходе выполнения дипломного проекта будет осуществлена модернизации системы холодоснабжения, которая предполагает замену существующих элементов на следующее оборудование: компрессоры BITZER HSK-8591-180, частотные преобразователи Danfoss VLT HVAC Drive, резервуары холодной воды, изготовленные из нержавеющей стали, насосы KSB MegaBloc 125-250, конденсаторные установки Альфа-Ловаль.

Литература

1. Системы холодоснабжения и кондиционирования воздуха на спортивных объектах [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ais.by/story/3682. – Дата доступа: 05.03.2025.

УДК 796.028

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СТАНЦИИ НА 8 ВИДЕОКАМЕР

Студент гр. 11902122 Червяков В. А.
Ст. преподаватель Барановская Д. И., преподаватель Катибникова В. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Передвижная телевизионная станция (ПТС) представляет собой комплект оборудования, установленного на автомобиле, предназначенный для проведения трансляций на выездных мероприятиях, таких как освещение новостей или спортивных событий. Мобильные ПТС играют

ключевую роль в трансляции крупных событий, таких как спортивные мероприятия, концерты и новостные репортажи. Ни одно крупное спортивное мероприятие, которое требуется транслировать по кабельному телевидению, по сети интернет, не сможет обойтись без системы ПТС.

Система ПТС состоит из следующих компонентов: 1) телевизионные камеры; 2) камерные каналы; 3) микрофоны и аудиооборудования; 4) режиссерский пульт; 5) мониторы и экраны; 6) передатчики и коммуникационное оборудование; 7) графическое оборудование; 8) коммуникационные устройства; 9) система записи и хранения данных; 10) аудиомикшер; 11) видеомикшер; 12) видеомагнитафоны; 13) компьютерные системы; 14) кабели и соединители.

Система передвижной телевизионной станции (ПТС) включает в себя сбор видеоинформации с камер, сбор аудиоинформации с микрофонов, обработку и редактирование видео и аудио, передачу сигнала через передатчики и коммуникационное оборудование, мониторинг и контроль качества изображения и звука на мониторах и экранах.

Видеосигнал в мобильной ПТС проходит через несколько этапов [2]. Видеосигнал начинается с камер. Они устанавливаются на штативах или могут быть закреплены на специальных креплениях. Дальше сигналы от всех камер идут в видеомикшер, там сигналы обрабатываются и смешиваются. Видеомикшер переключается между разными камерами, добавляет эффекты и настраивает параметры изображения. Затем сигнал передается в видеопроцессор для дальнейшей обработки. Обработанный видеосигнал передается на устройства для записи и трансляции, а именно в видеомагнитофоны или передатчики. Это дает возможность записывать видео и транслировать его в реальном времени (рис. 1).

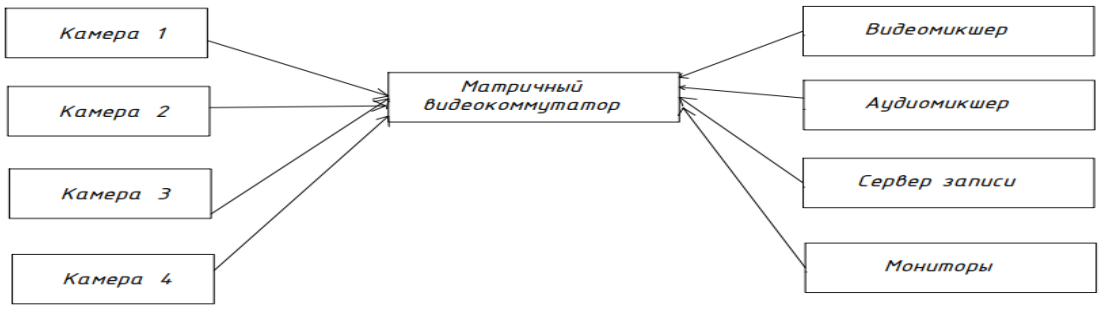


Рис. 1. Схема коммутации камер

Разработанная нами система ПТС на 8 камер позволит усовершенствовать трансляцию спортивных мероприятий и обеспечит необходимую мобильность.

Литература

1. Проектирование мобильной ПТС на 8 камер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.openrepository.ru/article?id=82340. – Дата доступа: 02.10.2024.

2. Технология построения современных ПТС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dnk.ru/events/185203/. – Дата доступа: 28.10.2024.

УДК 625.85.002.237

ПРИМЕНЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ СПОРТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Студент гр. 11904122 Чернявский В. В.
Кандидат эконом. наук, доцент Карнейчик В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Благодаря постоянному прогрессу науки и техники интеллектуальная трансформация спортивного оборудования стала одной из важных тенденций в спортивной индустрии. Согласно исследованиям, объем мирового рынка тренажерного оборудования для «умных» домов в 2023 году оценивается в 2 890,4 млн долларов США и, как ожидается, вырастет в среднем на 4,0 % с 2024 по 2030 год [1].

Управление тренировочным процессом переходит в эру данных и персонализации. В настоящее время популярность приобретают датчики, устанавливаемые в спортивном оборудовании. Так, в тренажерах для силовых тренировок внутри штанги помещают датчик, который измеряет величину давления, оказываемого спортсменом на штангу. Спортивные браслеты WHOOP 4.0 и smart представляют собой комбинацию датчиков измерения ускорения, биологического сопротивления и частоты сердечных сокращений PPG, которые отслеживают основные физиологические параметры. Датчик наклона может обеспечить точное географическое местоположение, что, например, позволяет лыжникам совершать техничные повороты по касательной [2].

Несмотря на очевидные преимущества, есть некоторые ограничения в применении рассматриваемых инноваций. Окружающая среда легко влияет на точность измерений, обработка и анализ данных из нескольких источников сопряжены с трудностями. Существует определенный временной разрыв между данными, датчик работает с задержкой, часы не синхронизированы, а данные перегружены [3]. Стоимость датчика также является фактором, ограничивающим его популярность.

Оптимизация сенсорных технологий особенно важна при создании интеллектуального спортивного оборудования. Точность и стабильность работы датчика является основой повышения интеллектуальных характеристик спортоборудования. Поэтому существует необходимость внедрения технологии слияния нескольких датчиков для объединения различных типов сенсорных данных, чтобы уменьшить количество ошибок и погрешностей, вызванных одним датчиком, а также стандартизировать протоколы передачи информации для обеспечения кросс-платформенного обмена данными. Модульная конструкция также позволяет снизить затраты. Например, умная скакалка Xiaomi оснащена сменным модулем датчика Холла, что снижает затраты на техническое обслуживание на 60 % [4].

Технологическая интеграция не только расширила функциональные границы традиционного оборудования, но и породила новый тип обучающей модели взаимодействия человека и компьютера. Будущие исследования должны быть сосредоточены на глубокой интеграции гибких датчиков и алгоритмов искусственного интеллекта, чтобы способствовать эволюции спортивного оборудования до персонализированных терминалов управления тренировочным процессом.

Литература

1. Smart Home Gym Equipment Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, By Distribution Channel (Online, Offline), By Region, And Segment Forecasts, 2024–2030 [Электронный ресурс] / Grand View Research. – 2023. – Режим доступа: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-home-gym-equipment-market-report. – Дата доступа: 01.03.2025.

2. Xiaomi Sustainability Report 2023 [Электронный ресурс] / Xiaomi. – 2023. – Режим доступа: https://www.mi.com/ global/ about/sustainability/. – Дата доступа: 01.03.2025.

3. Cheng guo fa bu [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://mp.weixin.qq.com/s__biz=MzIwNjE5NTE1NQ==&mid=2247498898&idx=1&sn=72a05d72a27527c0e31eef25ecb0198d&scene. – Дата доступа: 01.03.2025.

4. Qing jiao chuan gan qi zai ge zhong jian shen qi cai shang de ying yong] [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: https://www.zclink.com/news/news. – Дата доступа: 01.03.2025.

УДК 796.92

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ КЛАССИЧЕСКОГО ЛЫЖНОГО ХОДА

Студент гр. 11904121 Чикун А. Д.
Магистр техн. наук, ст. преподаватель Самохвал П. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Лыжные гонки – это циклический зимний вид спорта, который включает в себя соревнования по времени, где участники преодолевают заранее определенные дистанции на подготовленных снежных трассах, используя беговые лыжи и лыжные палки.

Лыжные гонки делятся на две основные техники – классический стиль и коньковый стиль. Классический стиль предполагает движение вдоль заранее подготовленных лыжных трасс, где

лыжники передвигаются в параллельных бороздах. коньковый стиль используется на более широких трассах, где лыжники могут развивать большую скорость, используя боковой толчок, что придает гонкам динамичность и зрелищность [1].

При исследовании аналогов тренажеров для отработки лыжной техники, был выбран для основы создания тренажера, тренажер SkiMill. Данный тренажер имеет достаточно преимуществ, для создания нового концепта тренажера.

Модернизация выбранного тренажера будет происходить путем добавления новых составляющих элементов, таких как: каретка, в количестве 2-ух штук и направляющих, по которым будет двигаться каретка (рис. 1).



Рис. 1. Тренажер для совершенствования техники классического лыжного хода

Тренажер предназначен для отработки, совершенствования и обучения классической техники лыжного хода. Данный тренажер состоит из несущей конструкции, валов, бегового полотна, направляющих, перемещающийся каретки и электромагнита.

Технические характеристики конструкции тренажера: габаритные размеры изделия, м ±10 % − не более 1×2×0,5; масса изделия, кг ±10 % − не более 100; климатическое исполнение – УХЛ 3; степень защиты конструкции – IP44; срок эксплуатации изделия, лет – не менее 5; нагрузка на каркас, Н – не более 1000; установка – на ровную поверхность 1,5×2,5 м.

Климатическое исполнение конструкции – УХЛ 3. Что обозначает: УХЛ – объединение умеренного и холодного макроклиматических районов, 3 – эксплуатация в крытых помещениях без регулирования температурных условий с естественной вентиляцией.

Конструкция имеет степень защиты IP44. Где: 4 – оборудование защищено от проникновения внешних твердых предметов диаметром ≥ 1 мм; 4 – оборудование защищено от вредного воздействия в результате сплошного обрызгивания. Оборудование со степенью защиты IP44 может использоваться в обычных сухих помещениях с осаждением частиц даже на недоступных плоскостях и/или в местах, подвергающихся воздействию дождя и струй.

Данная модернизация помогает улучшить технику выполнения движения попеременного лыжного хода классическим стилем, что позволит повысить уровень физической и тактической подготовки спортсменов.

Литература

1. Лыжные гонки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.sport–wiki.org/vidy–sporta/lyzhnye–gonki/. – Дата доступа: 22.09.2024.

2. ГОСТ 15150–69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды – М.: Стандартинформ, 2010. – С. 2–24.

УДК 796.92

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФОТОГРАММЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЛЫЖНОМ СПОРТЕ

Студент гр. 11904121 Чикун А. Д.
Кандидат пед. наук, доцент Солонец А. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Объектом биомеханического контроля служит моторика человека, т. е. двигательные (физические) качества и их проявления. Это означает, что в итоге биомеханического контроля мы получаем сведения:

– о технике двигательных действий и тактике двигательной деятельности;

– о выносливости, силе, быстроте, ловкости и гибкости, должный уровень которых является необходимым условием высокого технико-тактического мастерства.

Биомеханическими характеристиками называются показатели, используемые для количественного описания и анализа двигательной деятельности. Все биомеханические характеристики делятся на кинематические, динамические и энергетические [1].

Одним из методов биомеханического контроля является метод фотограмметрии. Фотограмметрия представляет собой метод измерения объектов и их движений, основанный на анализе изображений [2]. В лыжном спорте фотограмметрия является полезным инструментом, при помощи данного метода можно:

– анализировать технику движения лыжника. При помощи анализа движений лыжника на видео и применения фотограмметрии можно измерить углы, скорости и траектории движения. Это позволяет тренерам и спортсменам выявить области, требующие проработки;

– оценить нагрузку на тело лыжника. Фотограмметрия важна в оценке нагрузок, которые испытывает тело спортсмена во время катания на лыжах. Это особенно важно с точки зрения техники и предотвращения травматизма;

– проводить сравнительный анализ. Сравнение движений различных лыжников с использованием фотограмметрии помогает выявить различия в технике и выделить наилучшие практики;

– проводить моделирование движений. Путем анализа данных, полученных с помощью фотограмметрии, можно создавать трехмерные модели движений лыжников. Это обеспечивает более детальное изучение динамики движений и их влияния на эффективность катания;

– создавать тренажеры и разрабатывать уникальные методики обучения. На основе анализа фотограмметрических данных можно разрабатывать тренажеры и обучающие программы, которые помогут спортсменам помогут спортсменам проработать технику движения и исправить ошибки в технике.

Процесс фотограмметрии включает в себя съемку движений лыжника с нескольких точек при помощи камер. Затем при помощи специальное программное обеспечение, такого как Kinovea и Adobe Photoshop.

Применение фотограмметрии в лыжном спорте имеет множество преимуществ. Во-первых, она помогает тренерам и спортсменам получить объективные данные о технике движения и выявить возможные ошибки, что позволяет корректировать тренировочные программы для максимальной эффективности. Во-вторых, фотограмметрия обеспечивает возможность осуществления детального анализа движений лыжников, что полезно как для улучшения техники, так и для предотвращения травматизма.

Благодаря фотограмметрии в лыжном спорте тренеры могут проводить более точный анализ техники лыжников, корректировать и оптимизировать их движения с целью достижения оптимальной производительности и безопасности.

Литература

1. Сотский, Н. Б. Биомеханика: учебник для студентов учреждений высшего образования по специальностям физической культуры, спорта и туризма / Н. Б. Сотский. – Минск: РИВШ, 2023. – 214 с.

2. Фотограмметрия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотограмметрия. – Дата доступа: 03.03.2024.

УДК 796.021.26

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВЕТОДИОДНЫХ ЭКРАНОВ

Студент гр. 11902122 Шиманович А. В.
Ст. преподаватель Барановская Д. И.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Светодиодные экраны помогают создавать оригинальные визуальные эффекты, которые особенно востребованы во время проведения концертов, зрелищных перформансов.

В отличие от других технологий, которые сегодня используются в рекламном бизнесе для отображения информации, светодиодные экраны позволяют: совмещать динамические и статические образы; использовать анимацию, видео и графику в разработке рекламы; качественно передавать информацию любого характера; настраивать экран под любой тип освещения; быстро

настраивать и менять контент по желанию заказчиков; демонстрировать рекламу в круглосуточном режиме; размещать рекламу по индивидуальному графику.

Была спроектирована стационарная система светодиодных экранов для проведения спортивных и концертных мероприятий в велодроме. При выборе экрана мы учитывали следующие основные характеристики: шаг пикселя, пиковая яркость, угол обзора, потребляемая мощность, разрешение экрана, частота кадра, количество цветовых оттенков. Применили модули для LED-панелей на основе SMD светодиодов. Это обеспечит более качественное изображение на близком расстоянии благодаря маленькому шагу пикселя. Благодаря таким габаритам, создаются светодиодные модули с шагом пикселя 0,9–5 мм [1].

Выбранный видеофайл декодируется видеоконтроллером, затем преобразуется в цифровой поток, подающийся на микросхемы драйверов постоянного тока, которые, в свою очередь обеспечивают пропускание электрического тока через светодиод, что и вызывает излучение в определенном спектре [2].

Принципиальная схема подключения системы светодиодных экранов представлена на рис 1.

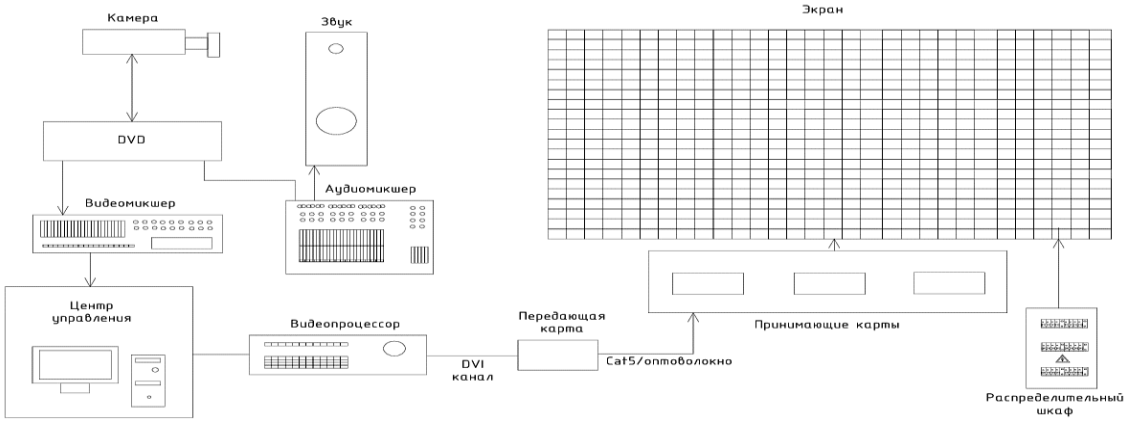


Рис. 1. Схема подключения экранов

Внутри кабинета так же может быть установлено дополнительное оборудование: вентиляторы принудительного воздухообмена, нагревательные элементы, температурные реле для вентиляторов и нагревателя, кнопки принудительного отключения электропитания, дополнительные карты системы управления для контроля за параметрами внутри кабинета [3].

Литература

1. Светодиодная панель CleverMic P 3.91 SMD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unitsolutions.ru/svetodiodnye-ekrany. – Дата доступа: 18.11.2024.

2. Современные светодиодные экраны: Характеристики, технологии, критерии выбора – Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.screens.ru/ru/2011/12.html. – Дата доступа: 18.11.2024.

3. Средства коммуникации в светодиодных экранах: интерфейсные и силовые кабели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://svetodiodnyiekran.ru/oborudovanije/kommunikacia.html. – Дата доступа: 18.11.2024.

УДК 334.021+796

ЭТАПЫ СЕГМЕНТАЦИИ СПОРТИВНОГО РЫНКА

Студент гр. 11902122 Шиманович А. В.
Кандидат эконом. наук, доцент Карнейчик В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Спортивный маркетинг представляет собой составную часть общего маркетинга, имеющего свои специфические черты и особенности. В частности, в поле зрения спортивного маркетинга попадают такие особые объекты и отношения, как болельщики, спонсоры, купля – продажа спортсменов, массовый спорт, спортивный бизнес, здоровый образ жизни и многое другое.

Понимание маркетинга в спорте и процессов, происходящих в его глубинах, требует определения самых важных маркетинговых категорий, возникающих на линии «спортивный продукт –

покупатель», а именно: 1) спортивный производитель; 2) спортивный потребитель; 3) спортивный рынок; 4) спортивный продукт. Основная задача маркетинга – преобразовать потенциального покупателя в действующего потребителя. Результирующим показателем эффективности реализации потребительского поведения в условиях рынка, выступает принятие решения о покупке продукта.

Первостепенным для производителя является понимание мотивов его потенциальных клиентов. В спортивной аудитории происходит поиск целевого рынка. Важная задача определить, на каком участке рынка организация будет работать и вести борьбу с конкурентами. Такой выбор подразумевает разбиение рынка на части, в которые входят потребители со сходными мотивами и поведением. Сегмент рынка включает всю совокупность потребителей, одинаково реагирующих на один и тот же набор побудительных стимулов.

Преимущества сегментации заключаются в следующем: нацеливает на изучение конкретного рынка, позволяет понять интересы и особенности потребителей, создать ниши на рынке, усилить конкурентные преимущества, удержать потребителя.

В классическом варианте сегментация вкачает следующие этапы: условную сегментацию, таргетинг, позиционирование (рис. 1) [1].



Рис. 1. Этапы сегментации [1]

При оценке и выборе сегментов рынка необходимо учитывать не только общую привлекательность сегмента, но и цели организации, а также ресурсы, которыми она располагает.

Ни один спортивный продукт нельзя реализовать во всех целевых сегментах рынка. Чаще существуют отношения: один продукт для одного целевого сегмента рынка. Спортивный продукт имеет больше одного целевого сегмента рынка, либо один целевой сегмент имеет потребность в более чем одном спортивном продукте [2].

В целом, сегментация является основной базой для разработки эффективных маркетинговых программ, обеспечивает поддержку стратегии, помогает оценивать работу.

Литература

1. Бич, Д. Маркетинг спорта / Д. Бич, С. Чедвик – М.: Альпина Паблишерз, 2010. – С. 193–195.
2. Томич, М. Маркетинг в спорте. Рынок и спортивные продукты / М. Томич. – М., 2002. – 224 с.

УДК 621

ANALYSIS OF MOBILE APP ARCHITECTURE FOR MONITORING PROGRESS AND STATISTICS OF TENNIS PLAYERS

Master of Pedagogical Sciences Chen Shilang, student Romashko E.
PhD., Associated Professor Pantsialeyeu K., D.Sc., Professor Gusev O.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Tennis is one of the most popular sports in the world, requiring players to have a high level of physical fitness, technical skill, and strategic thinking.

In modern sports, the use of technology for analysis and performance improvement is becoming increasingly important. Coaches and players need precise and convenient tools to track key metrics such as shot count, serve accuracy, ball speed, court movement, and other parameters [1].

To achieve the goal of the work, it is necessary to solve the following tasks:

– analyze existing solutions and technologies for tennis statistics tracking;

– define requirements for the functionality and architecture of the application.

Currently, the market offers numerous applications and devices designed for tennis game analysis. However, most of them have limited functionality or require expensive equipment. The Thesis examines some of the most popular mobile applications (PlaySight App; SwingVision App; TennisKeeper App; Zepp Tennis App and Zepp Tennis Sensor) [2–5], their functionality and architecture.

All these applications comprise a complex, multi-tiered system that integrates hardware components, software, and cloud technologies to deliver tennis match analysis functionality. The architecture is designed with scalability, performance, and usability in mind, enabling the system to operate efficiently both on local courts and in large tennis academies.

The architecture of TennisKeeper represents a simple yet effective system for collecting and analyzing tennis match statistics. Unlike SwingVision and PlaySight, which utilize advanced technologies for automatic data collection, TennisKeeper relies on manual input, making it more accessible to a wide range of users. Due to its simplicity and ease of use, TennisKeeper has become a popular tool for tennis players who want to track their results and progress. However, for deeper analysis and professional use, applications like SwingVision and PlaySight remain more preferable.

Unlike SwingVision and PlaySight, which use cameras and sensors for automatic data collection, TennisKeeper depends on manual input. This makes it less accurate but more accessible for users who do not have access to specialized equipment.

SwingVision and PlaySight offer more advanced features such as 3D-visualization, ball trajectory analysis, and multi-camera recording. In contrast, TennisKeeper focuses on basic statistics and their visualization, making it more suitable for amateurs and beginner players who wish to track their match statistics without complex equipment. SwingVision and PlaySight are geared toward more advanced users and professional clubs.

Zepp Tennis uses a sensor for automatic data collection, making it more accurate and convenient. However, it falls behind PlaySight in terms of automation since PlaySight uses cameras and computer vision for more detailed analysis. Zepp Tennis offers features like 3D-visualization and stroke technique analysis, which makes it more advanced than TennisKeeper but less functional than PlaySight, which provides multi-camera recording and extended reports. Zepp Tennis also requires the purchase of a sensor, which may be a barrier for some users.

The analysis shows that despite the availability of various solutions for tracking tennis statistics, there is a need for a more accessible and functional application. Developing a new solution that combines the advantages of existing technologies and eliminates their drawbacks is a relevant task.

References

1. Jensen, M. M. Running with technology: Where are we heading? / M. M. Jensen, F. Mueller // In Proceedings of the 26th Australian Computer-Human Interaction Conference on Designing Futures: The Future of Design, Sydney, NSW, Australia, 2–5 December 2014. – P. 527–530.

2. PlaySight [Electronic resource]. – Access mode: https://playsight.com/tennis-match-analytics.

3. SwingVision [Electronic resource]. – Access mode: https://swing.vision/#how-accurate-is-swingvisions-shot-tracking.

4. The Concurrent Validity of Mobile Application for Tracking Tennis Performance / Zlatan Bilić, Vedran Dukarić, Sara Šanjug, Petar Barbaros and Damir Knjaz // Appl. Sci. – 2023. – № 13(10), 6195. https://doi.org/10.3390/app13106195.

5. Zepp Tennis Sensor Review [Electronic resource]. – Access mode: http://tennis-technology.com/zepp-tennis-sensor-review.

УДК 621

DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR TENNIS STATISTICS ANALYSIS

Master of Pedagogical Sciences Chen Shilang, student Borbat M.
Ph.D., Associated Professor Pantsialeyeu K., Ph.D., Associated Professor Svistun A.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The goal of this study is to develop a mobile application for tracking and analyzing tennis player statistics to enhance training quality and improve game performance. To achieve the goal of the work, it is necessary to solve the following tasks: develop algorithms for data collection and analysis, including integration with external devices (such as racket sensors or smartwatches).

The coaching control application must provide coaches with a convenient and functional tool for managing the training process of their trainees. It should include the ability to create and edit individual training programs for each player, taking into account their skill level, goals, and physical capabilities. The coach must have access to statistics and analytics on exercise performance, including progress in technique, physical fitness, and tactical skills [1]. It is important that the application allows tracking training attendance, recording test results and practice match outcomes, as well as providing feedback to players through built-in messages or comments.

Moreover, the application should support integration with video analysis, so that the coach can upload and review match or training recordings, marking key moments for improvement. For convenience, real-time data synchronization is necessary, enabling the coach to make changes to programs and monitor player progress remotely. The interface must be intuitive, with quick access to main functions such as scheduling training, viewing statistics, and communicating with players. Data security is also an important requirement: the application must ensure the confidentiality of information and protect users personal data.

To create an effective application, it is necessary to consider mobile platforms (iOS and Android), integration with smart watches, automatic data collection using sensors, and manual data entry if necessary. Cloud technologies for storing and synchronizing data, as well as machine learning and statistical methods for analyzing game statistics, are also important. A user-friendly and personalized interface makes the application accessible to both professionals and amateurs.

Python has been chosen as the primary language for developing the application due to its versatility, simplicity, and powerful ecosystem that is ideal for tasks related to data analysis, machine learning, and user interface creation [2].

For ease of development, the application is divided into functional modules:

1. player.py – Initialization and personalization;
2. training_programs.py – Training programs;
3. data_capture.py – Automatic data collection;
4. data_analysis.py – Detailed statistics analysis;
5. realtime_mode.py – Real-time mode;
6. progress_history.py – Progress history;
7. fitness_integration.py – Fitness tracker integration;
8. remote_access.py – Remote access and collaboration;
9. cloud_storage.py – Cloud data storage;
10. security.py – Security level;
11. main.py – Main module for application launch.

References

1. Skill acquisition in tennis: Research and current practice / achar Reid, Miguel Crespo, Brendan Lay, Jason Berry // Journal of Science and Medicine in Sport. – 2007. – Vol. 10, Iss. 1. – P. 1–10.

2. Takahashi, H. Performance analysis in tennis since 2000: A systematic review focused on the methods of data collection / S. Okamura, S. Murakami // International Journal of Racket Sports Science. – 2022. – № 4(2). – P. 40–55.

СЕКЦИЯ 7. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.75.8

MAIN PROVISIONS AND PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF BIG DATA SCIENCE

Graduate student Dong Min
PhD, docent Saukova Y.
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Big data is an inevitable product of the development of information technology and a new stage in the process of informatization. In 1980, futurist Alfred Toffler first proposed the term «big data» in his book The Third Wave, praising big data as «the climax of the third wave». Big data also has a profound impact on the development of instrument manufacturing. In the production process, big data is used to analyze historical production data, optimize production processes, arrange production plans reasonably, and improve production efficiency. In addition, sensors are used to collect various parameter data in the production process for real-time analysis and quality control. After the instrument is delivered, big data enables remote monitoring and fault diagnosis, timely detection and resolution of problems, reduced maintenance costs, and improved equipment reliability and availability. In the process of rapid development, various countries are also constantly improving the use of big data. For example, the EU's General Data Protection Regulation (GDPR) came into effect in 2018 [1], which applies to organizations that process personal data within the EU and non-EU organizations that provide goods or services to EU residents. It emphasizes the principles of data minimization and transparency, and grants data subjects multiple rights such as the right to access and the right to correct. Some organizations are also required to designate data protection officers. Violations will face huge fines. The United States has implemented the California Consumer Privacy Act (CCPA) since 2020 California Consumer Privacy Act (CCPA). Access method: Federal Register, targeting companies of certain sizes. Consumers have rights such as the right to know and the right to delete, and companies cannot discriminate against consumers for exercising their privacy rights. The prerequisite for the development of big data science is first of all to have a technical foundation. High-performance computing capabilities can process massive amounts of data. Cloud computing provides elastic computing resources to reduce the cost of big data processing. Secondly, talent reserves are needed. Compound talents who understand both instrument manufacturing and big data technology are needed to be responsible for data collection, analysis, and application. Engineers master the construction and maintenance technology of big data platforms to ensure the stable operation of the system. Finally, the most important thing is data resources. The Internet, the Internet of Things, etc. generate massive amounts of data, which provide materials for big data analysis.

The development of big data science is the result of the joint action of technological innovation, talent gathering and data resource accumulation. In the future, with the continuous advancement of technology, the continuous emergence of talents, the in-depth mining of data resources and the increasing improvement of laws and regulations, big data science will definitely play a key role in the development of instrument manufacturing.

References

1. General Data Protection Regulation (GDPR). – Access mode: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=legissum:310401_2. – Date of access: 25.02.2025

УДК 004.057.2

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТОВ ISO СЕРИИ 9000 В БЕЛАРУСИ

Студент группы 11305123 Володкович В. И.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Международные стандарты ISO серии 9000, были разработаны техническим комитетом ISO/TC 175 и приняты более чем в 190 странах мира и используются предприятиями не зависимо от размера или сферы деятельности. Используемый миллионами организаций стандарт

ISO 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования» в июне 2021 г. прошел процедуру пересмотра. Как и все стандарты ISO, ISO 9001 подвергается систематическому пересмотру каждый пять лет на актуальность. Это важно для обеспечения стандарта потребностям пользователей. При этом подкомитет, отвечающий за стандарт, SC 2 «Системы качества», который работает в рамках технического комитета ISO/TC «Управление качеством и обеспечение качества», провел ряд мероприятий, включая обсуждения с членами комитета и опрос пользователей ISO 9001–2015. В результате никаких измерений не потребовалось, и последняя версия ISO 9001 так же ценность для тех, кто внедряет стандарт, так и последнем обновлении в 2015 г. [1]

Специальная рабочая группа в рамках комитета будет продолжать оценивать и контролировать любые возможные изменения рынка или другие измерения, которые могут повлиять на стандарт, и предлагать пересмотр, когда потребуется.

В Беларуси действует СТБ ISO 9001–2015, идентичный стандарту ISO 9001–2015. Данный стандарт является одним из трех стандартов, разработанных ISO/TC 175:

– ISO 9000 «Системы менеджмента качества. Фундаментальные основы и терминология», представляет необходимую основу для надлежащего понимания и внедрения стандартов ISO серии 9000;

– ISO 9001 «Системы менеджмента качества. Требования», направлен в основном на достижение доверия к продукции и услугам, предоставляемым организацией, тем самым, на повышение удовлетворенности потребителя;

– ISO 9004 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества», охватывают более широких круг вопросов, которые могут привести к улучшению общей пригодности организации.

На соответствие стандарту СТБ ISO 9001–2015 в республике сертифицировано более пяти тысяч систем менеджмента качества. Популяризация стандартов ISO создало явление, при котором все больше компаний хотят пройти сертификацию, но не все хотят соблюдать требования, считая, что сертификат сам по себе решит проблемы. Иногда возникают проблемы с внедрением стандартов ISO. Чаще всего встречаются следующие [2]:

– непрофессиональная подготовка к сертификации;

– неправильная интерпретация требования;

– ошибки в составление документации по системе качества;

– излишнее внимание к системе документооборота и попытки описать и стандартизовать все без исключения;

– руководство не прилагает усилий к функционированию системы менеджмента качества,

– персонал не участвовал в разработке, внедрении и др.

Литература

1. ИСО сообщает о проверке актуальности ISO 9001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gosstandart.gov.by/iso-9001. – Дата доступа: 25.02.2025.

2. Причины низкой эффективности внедрения стандартов ISO 9000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://quality.eup.ru/GOST/cause.htm. – Дата доступа: 06.10.2024.

УДК 621.791

МОДУЛЬ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Гуринович А. А.[1], д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.[2]
[1]ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В докладе обоснована концепция модуля экспертной системы компьютерной поддержки принятия решений координатором проектов в проектно-ориентированной организации. Координатор проектов периодически сталкивается с ситуацией дестабилизации ритма выполнения потока проектов, реализуемых организацией. Основной источник дестабилизации ритма – нечеткое формулирование требований и неизбежное уточнение их заказчиком в процессе проектирования

и сдачи проекта, и, следовательно, неизбежная доработка проекта после первичной приемки заказчиком. Последствия такой ситуации – временные потери и нерациональное использование ресурсов, что сказывается на результативности и эффективности СМК организации и результатах деятельности в целом. Координатор проектов, анализируя сложившуюся ситуацию, вынужден принимать решения в пользу того или иного проекта.

В докладе предложена концепция модуля экспертной системы поддержки принятия решений координатором проектов. Назначение модуля – оценки степени предпочтительности альтернативных вариантов решений в отношении перемещения ресурсов в пользу того или иного проекта в ситуации дестабилизации ритма (последовательные проекты стали параллельными).

Основная проблема подобного рода экспертных систем – невысокая степень доверия к экспертным оценкам, которые делает координатор в процессе коммуникации с экспертной системой. Проблема усугубляется тем, что решается задача многокритериального выбора, т. е. экспертная система по запросу координатора дает интегральную оценку уровня предпочтительности каждого из предложенных альтернативных вариантов решения по комплексу параметров с различной степенью значимости.

Для интегральной оценки степени предпочтительности каждого из предложенных альтернативных вариантов решения рационально применить квалиметрическую модель типа:

$$U(x_1, x_2, \ldots, x_n) = k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 + \ldots k_n \cdot x_n \quad (1)$$

где $U(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – интегральная оценка степени предпочтительности альтернативных вариантов решения, k_i – коэффициенты влияния факторов (в порядке убывания), x_i – числовые значения уровня значимости проявления i-го фактора, $0 \le x_i \le 1$, n – количество факторов.

Задача оценивания таким образом разделяется на две частные задачи: 1) методика и алгоритм оценивания k_i; 2) методика и алгоритм оценивания x_i.

Для решения первой задачи в докладе рассмотрен алгоритм оценивания коэффициентов влияния факторов k_i, основанного на методе альтернатив. Алгоритм включает семь последовательных шагов, для каждого из которых определена последовательность действий и инструментарий сбора, обработки и анализа данных опроса экспертов – разработчиков экспертной системы.

Для решения второй задачи в докладе рассмотрен алгоритм оценивания уровня значимости x_i альтернативных вариантов проявления каждого i-го фактора, которые формируются и задаются координатором. Рассмотрено полное множество количественного представления вариантов проявления факторов: в качественной (количественной) шкале, в дискретном (непрерывном) виде.

В конечном итоге, модуль экспертной системы, после диалога с координатором, рассчитывает интегральный уровень предпочтительности для каждого j-ого альтернативного решения по формуле (1). После чего координатор производит выбор того или иного варианта компонента проектируемого объекта, руководствуясь расчетом и другими соображениями.

Литература

1. Концепция экспертной системы поддержки принятия решений при проектировании компонентов сложных технических объектов / П. С. Серенков [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. научн. трудов / ОИМ НАН Беларуси. – 2024. – Вып. 13. – С. 367–370.

УДК 621.791

МЕХАНИЗМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Гуринович А. А.[1], д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.[2]
[1]ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В докладе затрагивается один из ключевых вопросов организационного проектирования систем менеджмента – проектирование организационно-технической составляющей коммуникаций в проектно-риентированной организации.

Установлено, что реорганизация системы коммуникаций предполагает введение в сложившуюся систему процессных и иерархических коммуникаций дополнительного звена – структуры,

реализующей горизонтальную связь между параллельными проектами (процессами). Назначение такой структуры – координация работы проектов в случае сбоя запланированного производственного ритма (повторной доработки проекта). Структурное подразделение или лицо (далее координатор проектов) анализируя, сложившуюся ситуацию, вынужден принимать решение на основании неполного массива информации, что вызывает риск принятия некорректных решений. Таким образом идентифицирована задача, относящаяся к категории некорректных.

Усугубляет проблему механизм анализа текущей ситуации и принятия решения – экспертное оценивание. Известно, что главным недостатком информации, получаемой экспертным путем, является ее субъективность.

Комплексное исследование процесса экспертного оценивания альтернатив позволило идентифицировать два основных источника потерь достоверности традиционно применяемых методов экспертного оценивания, которые значительно снижают результативность деятельности координатора проектов, вызывая, соответственно, неприемлемо большой риск принятия некорректных решений [1]: несогласованности мнений экспертов, некорректная обработка экспертных оценок без учета возможностей шкал измерений.

В то же время координатор проектов, используя подходы классической квалиметрии, оперирует оценками в порядковых шкалах, как правило, формируя модель интегральной оценки предпочтительности того или иного проекта, типа:

$$Y = C_1x_1 + C_2x_2 + \ldots + C_nx_n, \quad (1)$$

где C_i – коэффициенты весомости (определяются экспертно в шкале порядка), x_i – значения оценок факторов проектов, учитываемых при принятии решений о предпочтительности (также определяются экспертно в шкале порядка).

Очевидно, что выражение (1) нарушает все каноны корректности оперирования экспертными оценками, внося «методическую погрешность» в результат Y, причем значение этой погрешности непредсказуемо. Риск непредсказуемой потри достоверности интегральной оценки предпочтительности Y, очевидно, велик и неопределен.

В докладе обснован комплекс методов экспертного оценивания, который корректно может быть использован на всех этапах жизненного цикла продукции проектно-ориентированной организации и включает базовые методы (метод альтернатив и метод «покоординатного спуска») и специальные методы (комплексный метод экспертного оценивания на этапе разработки объекта инноваций как специфическая комбинация метода альтернатив и метода «покоординатного спуска» и др.) [1].

Для обеспечения необходимого уровня результативности работы координатора проектов, снижения рисков некорректного принятия решений, применение указанного комплекса методов является безальтернативным.

Литература

1. Экспертные методы разработки инновационных технологий производства литого инструмента. Часть 2. Выбор приоритетной технологии / П.С. Серенков и др. // Вестник машиностроения. – М.: Изд-во «Инновационное Машиностроение». – 2023. – Т.102, № 4. – С. 338–343.

УДК 658.562

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ И ИСКЛЮЧЕНИЯ ИЗ ЕДИНОГО РЕЕСТРА ООС ЕАЭС ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ (ЦЕНТРОВ), ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ РАБОТЫ ПО ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ПРОДУКЦИИ ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ ЕАЭС (ТС) ТР ТС 018/2011

Магистрант гр. 7-06-0716-01 Дербенев В. В.
Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Система оценки соответствия в рамках ЕАЭС играет ключевую роль в обеспечении качества продукции, соответствующей установленным техническим регламентам. В частности,

ТР ТС 018/2011 определяет требования к безопасности колесных транспортных средств в области машиностроения.

Предлагаются следующие дополнительные критерии:

1. Техническая оснащенность: наличие собственного (не арендованного) оборудования, соответствующего требованиям технического регламента и стандартов, включенной в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь.

2. Квалификация персонала: стажировка в аккредитованной испытательной лаборатории, в область аккредитации которой включен ТР ТС 018/2011, ГОСТ 33670–2015, ГОСТ 33987–2016, СТБ 914–99 (ИСО 7591:1982), Правила ООН, обязательное прохождение регулярного технического обучения и аттестации сотрудников лабораторий.

3. Участие в проверке квалификации и (или) межлабораторных сличениях, отличных от проверки квалификации - важный и актуальный инструмент для реализации лабораториями требований ГОСТ ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 17025, IDT) «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий», в части выполнения условий по признанию результатов испытаний.

В соответствии с политикой ILAC P9:01 удовлетворительное участие в ПК/МЛС является одним из инструментов мониторинга достоверности результатов испытаний с помощью которого лаборатория может продемонстрировать техническую компетентность во время оценки со стороны органа по аккредитации.

Участие в проверках квалификации у провайдеров, аккредитованными БГЦА на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 (ISO/IEC 17043:2010, IDT) «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации» (до окончания переходного периода 31.05.2026), ISO/IEC 17043:2023 «Оценка соответствия. Общие требования к компетентности провайдеров проверки квалификации» либо органами по аккредитации, являющимися подписантами Соглашения ILAC MRA для провайдеров проверки квалификации, заявителями или органами по аккредитации, не являющимися подписантами Соглашения ILAC MRA для провайдеров проверки квалификации.

4. Наличие собственных/арендных испытательных площадок, зарегистрированных в соответствии с законодательством Республики Беларусь, границы которых четко обозначены в публичной кадастровой карте.

5. Выполнение требований СТБ 8015-2016 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Испытательное оборудование. Общие требования к аттестации», в части аттестации испытательного и вспомогательного оборудования, используемых в оценке соответствия требований ТР ТС 018/2011.

6. Наличие у органа по оценке соответствия дополнительных методических рекомендация (инструкций) к методам: ГОСТ 33670-2015, ГОСТ 33987-2016, СТБ 914-99 (ИСО 7591:1982), Правила ООН.

7. Соблюдение международных стандартов: соответствие требованиям ISO/IEC 17025 и другим актуальным стандартам.

8. Прозрачность и отчетность: Предоставление ежеквартальных отчетов о выдаче протоколов испытаний, свидетельств о безопасности конструкции транспортного средства.

Исключение из реестра должно осуществляться при:

– неоднократных нарушениях требований технических регламентов;

– неудовлетворительных результатах участия в проверке квалификации;

– непредоставления материалов по оценке соответствия, запрошенных органом по аккредитации в установленные сроки

Реализация предложенных критериев позволит повысить качество оценки соответствия, укрепить доверие к системе ООС ЕАЭС и обеспечить безопасность продукции на рынке.

Литература

1. Технический регламент ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств».

2. ГОСТ 33670–2015 «Автомобильные транспортные средства единичные. Методы экспертизы и испытаний для проведения оценки соответствия».

3. ГОСТ 33987–2016 «Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы определения».

4. СТБ 914-99 (ИСО 7591:1982) «Знаки регистрационные и знак отличительный транспортных средств. Типы и основные размеры, технические требования, методы испытаний».

5. ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 17025, IDT) «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

6. ПЛ СМ 7.15–2024 «Политика в отношении участия аккредитованных лабораторий в проверке квалификации и (или) межлабораторных сличений, отличных от проверки квалификации».

7. ILAC P9:01/2024 «Политика ILAC по проверкам квалификации и/или межлабораторным сличениям, отличным от проверки квалификации».

8. ГОСТ ISO/IEC 17043–2013 (ISO/IEC 17043:2010, IDT) «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации».

9. ISO/IEC 17043:2023 «Оценка соответствия. Общие требования к компетентности провайдеров проверки квалификации».

10. СТБ 8015–2016 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Испытательное оборудование. Общие требования к аттестации».

УДК 658.562

РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ АККРЕДИТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Магистрант гр. 7-06-0716-01 Дербенев В. В.
Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аккредитация – официальное признание органом по аккредитации компетентности юридического лица Республики Беларусь либо иностранного юридического лица в выполнении работ по оценке соответствия в определенной области аккредитации.

Разработка путей совершенствования системы аккредитации испытательных лабораторий – это важный процесс, направленный на повышение качества, объективности и эффективности оценки компетентности лабораторий.

Совершенствование системы аккредитации испытательных лабораторий требует комплексного подхода, включающего модернизацию стандартов, внедрение цифровых технологий, повышение квалификации специалистов и укрепление международного сотрудничества.

Ниже представлены основные направления для совершенствования системы аккредитации:

1) анализ существующей системы аккредитации: проведение аудита текущей системы аккредитации для выявления слабых мест, бюрократических барьеров и несоответствий международным стандартам; изучение опыта других стран и международных организаций (например, ILAC, EA, APAC) для внедрения лучших мировых практик; сбор информации от лабораторий, экспертов по аккредитации, технических экспертов по аккредитации и заинтересованных сторон;

2) внедрение современных стандартов: активное использование международных стандартов, таких как ISO/IEC 17029:2019, которые устанавливают общие принципы и требования к органам по валидации и верификации; разработка национальных стандартов, адаптированных к местным условиям, но соответствующих международным требованиям; внедрение стандартов для новых областей, таких как биотехнологии, атомная энергетика, нанотехнологии и цифровые испытания;

3) цифровизация процессов аккредитации: внедрение цифровых платформ для автоматизации процессов аккредитации и мониторинга деятельности лабораторий; использование искусственного интеллекта и анализа данных для автоматизации проверки документов и отчетов;

4) повышение квалификации экспертов по аккредитации и сотрудников лабораторий: организация регулярных тренингов и семинаров для экспертов по аккредитации; внедрение системы сертификации экспертов, участвующих в аудитах;

5) упрощение процедур аккредитации: сокращение бюрократических процедур и сроков рассмотрения заявок; внедрение рискориентированного подхода, при котором частота проверок зависит от уровня доверия к лаборатории; разработка четких и прозрачных критериев оценки;

6) международное признание: участие в международных соглашениях о взаимном признании аккредитации (например, ILAC MRA, Международный форум по аккредитации Халяль); проведение сравнительного анализа национальной системы аккредитации с международными требованиями; привлечение международных экспертов для оценки и сертификации национальных органов по аккредитации;

7) контроль качества и мониторинг: внедрение системы регулярного мониторинга деятельности аккредитованных лабораторий; проведение внеплановых проверок в случае выявления нарушений или жалоб;

8) повышение прозрачности и доверия: публикация отчетов о результатах аккредитации и аудитов; создание механизмов обратной связи для лабораторий и заинтересованных сторон; информирование общественности о важности аккредитации и ее роли в обеспечении качества продукции и услуг.

Литература

1. ISO/IEC 17029:2019 Оценка соответствия. Общие принципы и требования к органам по валидации и верификации.

2. Закон Республики Беларусь от 24.10.2016 №437-З «Об оценке соответствия техническим требованиям и аккредитации органов по оценке соответствия».

3. Рекомендации ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) по аккредитации испытательных лабораторий.

4. Иванов, А. А. Современные подходы к аккредитации испытательных лабораторий / А. А. Иванов, В. В. Петров // Вестник метрологии. – 2021. – № 4(12). – 30 С.

УДК 621.31/.36

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ И УХОДА СПОРТИВНЫХ ПЛОЩАДОК. БЕЗОПАСНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЙ

Дубейко С. В., Коробко Ю. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном мире активный и здоровый образ жизни становится неотъемлемой частью существования. Этот образ жизни тесно связан со спортом и включает в себя, помимо прочего, правильное питание. Спорт оказывает комплексное положительное воздействие на организм, улучшая не только физическое, но и психическое состояние. Во время физических упражнений мышцы посылают в мозг огромное количество нервных импульсов, активизируя нервную систему, внутренние органы, повышая работоспособность и даря чувство энергии и бодрости.

Однако, занятие спортом сопряжено с риском получения травм, что является практически неизбежной составляющей спортивной деятельности из-за повышенной физической нагрузки. Тренировочный процесс представляет собой сложную систему, требующую глубокого понимания и индивидуального подхода к каждому спортсмену для минимизации рисков. Поэтому травмы рассматриваются как неотъемлемая часть спорта.

Наиболее распространенные спортивные травмы – это повреждения суставов, ушибы, переломы костей. В контактных видах спорта высок риск травм головы. Именно травмы головы несут наиболее серьезные последствия для здоровья спортсмена [1].

Выбор покрытия для спортивных площадок напрямую влияет на тяжесть травм, получаемых спортсменами. Это обусловлено тем, что различные материалы обладают разными свойствами поглощения энергии удара. При падениях качественное покрытие способно существенно снизить силу удара, тем самым минимизируя риск получения травм. Разница в ударопоглощающих свойствах различных покрытий может быть значительной, и это необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации спортивных сооружений [2–5].

В связи с этим, основной критерий выбора и регулярного контроля состояния спортивного покрытия должен быть именно его способность поглощать энергию удара. Некачественное или изношенное покрытие может значительно повысить вероятность получения серьезных травм.

Для оценки эффективности спортивного покрытия и минимизации риска тяжелых травм, особенно травм головы, широко применяется метод испытания на удар. Этот метод основан на из-

мерении ускорения при ударе: испытательный модуль падает на покрытие с разных высот, а акселерометр регистрирует показания ускорения при каждом ударе. Полученные данные обрабатываются, и на их основе оцениваются ударопоглощающие свойства покрытия.

Однако, эффективность покрытия зависит не только от самого материала, но и от его основания (подосновы). Поэтому контроль качества включает в себя также исследование характеристик подосновы, в частности, ее прочности и деформируемости. Эти параметры тесно связаны с коэффициентом уплотнения грунта, что подчеркивает важность учета всех составляющих при оценке безопасности спортивной площадки. Комплексный подход, включающий в себя как тестирование самого покрытия, так и анализ свойств его основания, что позволяет более точно оценить его способность снижать риск травматизма.

Обеспечение безопасности спортсменов на спортивных площадках требует не только первоначального качественного обустройства, но и регулярного контроля состояния покрытий. Постоянное взаимодействие спортсменов со спортивным инвентарем и поверхностью площадки приводит к ее износу. Это проявляется в уплотнении грунта, появлении разрывов и истирании поверхностного слоя покрытия. Такие процессы неизбежно ведут к снижению ударопоглощающих свойств покрытия, что, в свою очередь, повышает риск травматизма.

Поэтому периодический контроль состояния спортивных покрытий – это не просто рекомендация, а необходимая мера для поддержания безопасности. График контроля должен устанавливаться с учетом интенсивности использования площадки и типа покрытия. Систематические осмотры позволят своевременно выявлять участки износа, оценивать степень снижения ударопоглощающих свойств и планировать ремонтные работы или замену покрытия. Затягивание сроков проведения контрольных мероприятий может привести к серьезным последствиям, вплоть до тяжелых травм спортсменов. Поэтому регулярный контроль является неотъемлемой частью безопасной эксплуатации спортивных объектов. Необходимо разработать четкие критерии оценки состояния покрытия и алгоритм действий при выявлении несоответствий нормам безопасности [6–8].

Современные спортивные площадки все чаще подвергаются интенсивной эксплуатации, что приводит к ускоренному износу покрытий. Многофункциональность площадок, используемых для проведения различных мероприятий, от спортивных соревнований до массовых праздников, значительно увеличивает нагрузку на покрытие. Это особенно актуально для общественных пространств, парков и недорогих площадок для отдыха, которые часто страдают от недостатка надлежащего ухода и, как следствие, быстрого износа.

Даже высококачественные покрытия на профессиональных стадионах сталкиваются с проблемами. Современные тенденции в архитектуре, включающие создание стадионов большой вместимости, создают специфическую микросреду, которая ускоряет износ покрытия. К этому добавляется увеличение нагрузки из-за проведения различных мероприятий, как спортивных, так и неспортивных. В итоге, проблема износа спортивных покрытий становится все более актуальной и требует разработки новых методов профилактики и ремонта, а также более внимательного подхода к проектированию и эксплуатации спортивных объектов.

Качество спортивного покрытия напрямую влияет на безопасность и эффективность тренировок. Плохое покрытие может снизить спортивные результаты и существенно повысить риск травм. Поэтому материал покрытия должен быть безопасным и соответствовать требованиям, специфичным для каждого вида спорта. Выбор подходящего покрытия – это сложная задача, требующая учета множества факторов, включая тип спорта, интенсивность нагрузок и климатические условия. Только правильный подход к проектированию и эксплуатации спортивных площадок может обеспечить оптимальные условия для тренировок и соревнований, минимизируя риск получения травм [9].

Для всесторонней оценки безопасности спортивных площадок и минимизации риска травм головы, особенно в контексте ранее представленной информации, рекомендуется проводить комплексный периодический контроль двух ключевых показателей. Первый показатель – коэффициент уплотнения грунта, который отражает состояние основания покрытия. Его измерение позволяет оценить стабильность и несущую способность подосновы, что существенно влияет на амортизирующие свойства всего покрытия. Второй показатель – критерий повреждения головы.

Этот критерий рассчитывается на основе данных об ускорении, измеряемых при проведении испытаний на удар. Чем ниже значение критерий повреждения головы, тем лучше покрытие поглощает энергию удара, тем самым снижая риск серьезных травм головы. Совместный анализ этих двух показателей – коэффициента уплотнения грунта и критерия повреждения головы – предоставляет более полную картину состояния спортивной площадки и позволяет более эффективно оценивать ее безопасность и принимать обоснованные решения по обслуживанию и ремонту, предупреждая возникновение рисков. Такой комплексный подход обеспечивает более точный контроль и позволяет более эффективно минимизировать риск травм.

Литература

1. Association of artificial turf and concussion in competitive contact sports: a systematic review and meta-analysis / O'Leary F. [et al.] // BMJ open sport & exercise medicine. – 2020. – Vol. 6. – №. 1. – P. e000695.

2. Meyers, M. C. Incidence, mechanisms, and severity of game-related college football injuries on FieldTurf versus natural grass: a 3-year prospective study / M. C. Meyers // The American journal of sports medicine. – 2010. – Vol. 38. – №. 4. – P. 687–697.

3. Meyers, M. C. Incidence, mechanisms, and severity of game-related high school football injuries across artificial turf systems of various infill weights / M. C. Meyers //Orthopaedic journal of sports medicine. – 2019. – Vol. 7. – №. 3. – P. 2325967119832878.

4. Orchard, J. Is there a relationship between ground and climatic conditions and injuries in football? / J. Orchard //Sports medicine. – 2002. – Vol. 32. – P. 419-432.

5. Perceived links between playing surfaces and injury: A worldwide study of elite association football players / Mears A. C. [et al.] //Sports medicine-open. – 2018. – Vol. 4. – P. 1–11.

6. Caple, M. Spatial analysis of the mechanical behaviour of natural turf sports pitches / M. Caple, I. James, M. Bartlett // Sports Engineering. – 2012. – Vol. 15. – P. 143–157.

7. A review of turfgrass sports field variability and its implications on athlete–surface interactions / Straw C. M. [et al.] // Agronomy Journal. – 2020. – Vol. 112. – №. 4. – P. 2401–2417.

8. Within-field variability of turfgrass surface properties and athlete performance: modeling their relationship using GPS and GIS technologies / Straw C. M. [et al.] // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology. – 2020. – Vol. 234. – №. 2. – P. 170–175.

9. Does variability within natural turfgrass sports fields influence ground-derived injuries? / Straw C. M. [et al.] // European journal of sport science. – 2018. – Vol. 18. – №. 6. – P. 893–902.

УДК 621.31/.36

УЧЕТ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КРИТИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ ПАДЕНИЯ

Дубейко С. В., Коробко Ю. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Значительная часть жизни детей проходит на детских игровых площадках. Там ребенок может приобрести и развить навыки различного плана. Проводя время на игровых площадках, ребенок развивается физически и приобретает социальные навыки.

Детская игровая площадка – специально оборудованная территория, предназначенная для игры детей, включающая в себя соответствующие оборудование и покрытие. Как следует из определения игровые площадки состоят из оборудования и покрытия. К оборудованию и покрытию детских площадок предъявляют определенные требования, для обеспечения безлопастного времяпровождения детей на игровых площадках. Обеспечение безопасного времяпровождения детей на игровых площадках достигается через соблюдения нормативной базы Республики Беларусь. В Республике Беларусь действует технический регламент ТР ЕАЭС 042/2017 «О безопасности оборудования для детских игровых площадок».

На детских игровых площадках может быть реализовано различное оборудования (горки, качели, карусели и т. д.), но неизменным остается покрытие игровых площадок [1]. Рассмотрим покрытие детских игровых площадок подробнее.

Исходя из всего перечня требований, которые предъявляются к покрытиям их условно можно разделить на 2 группы: требования к материалам из которого производится покрытие (гигиенические, химические, показатели, относящиеся к пожарной безопасности и др.) и требования к конечному продукту (физико-механические показатели).

Материалы, применяемые для изготовления покрытий и соотношения этих материалов в конечном продукте различно – из-за множества переменных остановимся на основные требования, предъявляемые к показателям конечного продукта. Покрытие не должно иметь опасные острые или выступающие части, а его конструкция должна исключать места защемления. В зависимости от вида покрытия варьируется его толщина. Под всем оборудованием с высотой свободного падения более 600 мм и /или под оборудованием с принудительным движением пользователя (например, качели, горки, спуски, канатные дорожки, карусели и т. д.) должно быть предусмотрено ударопоглощающее покрытие по всей зоне приземления. Одно из основополагающих требований, которое должно соблюдаться – критическая высота падения, применяемого ударопоглощающего покрытия должна быть не менее высоты свободного падения оборудования. Выполнение этого требования помогает минимизировать ущерб, получаемый ребенком при возможном падении (соударении ребенка с игровым покрытием) [2].

Критическая высота падения – максимальная высота свободного падения, при которой покрытие игровой площадки обеспечивает необходимый уровень демпфирования удара. Метод определения критической высоты падения основан на определении поглощения удара покрытием путем измерения ускорения при ударе. Испытуемое покрытие подвергают ударам моделью головы (сбрасывание осуществляется безынерционно без первоначального ускорения) с закрепленным на ней измерительным оборудованием (акселерометр) с различных высот падения. Сигналы, подаваемые акселерометром(ами) от модели головы во время каждого удара обрабатывают для определения степени тяжести повреждения на основании измеренной энергии удара, установленной в качестве критерия повреждения головы HIC, а также измерения возникающего пикового ускорения gmax. От полученных результатов устанавливается критическая высота падения: высота падения, соответствующая значению HIC = 1000 и значению g_{max} = 200g [3].

Применяя метод определения критической высоты падения мы тем самым моделируем ситуацию падения ребенка с игрового оборудования с последующим его приземлением на голов. Испытательный модуль представляет собой голову ребенка (полусферу (модель головы)), которая осуществляет падение на землю (неупругий удар).

Оборудование, используемое при определении критической высоты падения, имеет несколько составных частей: модель головы, оснащенную одним или несколькими акселерометрами, блок преобразования сигналов, пусковое устройство модели головы, устройство для высоты свободного падения, систему передачи сигналов и оборудование для измерения сигналов. Основной элемент с помощью которого производится измерение – модель головы. Согласно международному стандарту физиологических показателей детей размер окружности головы у детей различается в зависимости от возраста и пола (таблицы 1 и 2) [4].

Таблица 1 – Центильная таблица окружности головы (см) по возрасту (мальчики)

Возраст: месяц	ЦЕНТИЛИ				
	3	15	50	85	97
0:0	32,1	33,1	34,5	35,8	36,9
0:11	43,4	44,4	45,8	47,1	48,2
1:0	43,6	44,7	46,1	47,4	48,5
1:11	45,6	46,7	48,1	49,5	50,7
2:0	45,7	46,8	48,3	49,7	50,8
2:11	46,7	47,9	49,4	50,8	52,0
3:0	46,8	48,0	49,5	50,9	52,1
3:11	47,4	48,6	50,2	51,7	52,9
4:0	47,5	48,7	50,2	51,7	53,0
4:11	47,9	49,2	50,7	52,3	53,5
5:0	47,9	49,2	50,7	52,3	53,5

Таблица 2– Центильная таблица окружности головы (см) по возрасту (девочки)

Возраст: месяц	ЦЕНТИЛИ				
	3	15	50	85	97
0:0	31,7	32,7	33,9	35,1	36,1
0:11	42,0	43,2	44,6	46,0	47,1
1:0	42,3	43,5	44,9	46,3	47,5
1:11	44,4	45,6	47,0	48,5	49,7
2:0	44,6	45,7	47,2	48,6	49,8
2:11	45,8	47,0	48,4	49,9	51,1
3:0	45,9	47,0	48,5	50,0	51,2
3:11	46,6	47,8	49,3	50,7	51,9
4:0	46,7	47,9	49,3	50,8	52,0
4:11	47,2	48,4	49,9	51,4	52,6
5:0	47,2	48,4	49,9	51,4	52,6

К модели головы предъявляться определенные требования: должна иметь диаметр (160 ±5) мм и массу (4,6 ±0,05) кг, с максимально допустимым отклонением от полусферической поверхности ударной части – 0,5 мм. Исходя из этих параметров вопрос в достоверности получаемой информации применительно к безопасности эксплуатации детских площадок для детей различных возрастных категорий. Ведь согласно международному стандарту физиологических показателей детей размер окружности головы у детей различается в зависимости от возраста и пола. Следовательно, и масса головы и у детей разнится. И теперь результаты, получаемые при испытаниях на определения критической высоты падения, распространяются только на группу детей, имеющих массу головы (4,6 ±0,05) кг. А для остальной группы детей результаты будут иметь погрешность, которая будет увеличиваться/уменьшаться по мере отхождении/приближения массы головы ребенка к номинальному значению модели головы (4,6 ±0,05) кг.

Для решения данной проблемы предлагается несколько путей решения, основанные на разработке или внесении модификаций в применяемом оборудовании при определении критической высоты падения. Пути решения связаны с ограничением возрастной группы детей допускаемой до определенных игровых площадок, путем использования нескольких моделей головы имеющих различную массу в зависимости от возраста ребенка или путем разработки съемных накладок для модели головы, которые бы при использовании в сборе с моделью головы воспроизводили определенную величину массы. Каждый из предложенных вариантов имеет свои положительные и отрицательные стороны. Первый вариант сопряжен с большими непрестанными затратами на производство данного комплекса оборудования, но достаточно легкий в исполнении. Легкость заключается в наличие уже готового исходного шаблона, который будет нуждается только в изменении его массы. Второй же вариант понесет лишь единовременные большие затраты на этапе разработки, но в дальнейшем при производстве готового продукта стоимость будет меньше.

Литература

1. ТР ТС 042/2017 «О безопасности оборудования для детских игровых площадок»

2. ГОСТ 34614.1-2019 (EN 1176-1:2017) «Оборудование и покрытия игровых площадок. Часть 1. Общие требования безопасности и методы испытаний»

3. Caple, M. Spatial analysis of the mechanical behaviour of natural turf sports pitches / M. Caple, I. James, M. Bartlett // Sports Engineering. – 2012. – Vol. 15. – P. 143–157.

4. ГОСТ 34615-2019 (EN 1177:2018+AC:2019) «Покрытия ударопоглощающие игровых площадок. Определение критической высоты падения».

5. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/tools/child-growth-standards/standards/head-circumference-for-age. – Дата доступа: 19.02.2025.

УДК 665.58

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТОВ GMP В КОСМЕТИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Магистрант гр. 61331024 Жук Т. А.
Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В последние десятилетия, наряду с фармакологией, бурное развитие получило производство парфюмерно-косметических (в дальнейшем – косметических) продуктов. В 2023 году объем мирового рынка косметики оценивался в 426,4 миллиарда долларов США [1].

Наша страна также традиционно развивает производство косметической продукции. Так в 2021 году Беларусь экспортировала косметическую продукцию на сумму 78,6 миллиона долларов США, что превышает доходы от экспорта традиционных товаров, таких как картофель (67,7 миллиона долларов) и льняные ткани (63,2 миллиона долларов). С 2010 по 2021 годы совокупный доход от экспорта косметики составил около 560 миллионов долларов. В 2022 году импорт косметической продукции в Беларусь увеличился на 5 %, при этом 69 % этого объема поступило из России.

Рост конкуренции на рынке косметических товаров и услуг требует от предприятий по их производству поиска инновационных технологий производства, современных методов его организации и управления.

Обязательным условием активной работы предприятий на этом рынке является наличие документированной системы менеджмента качества. В нашей стране косметические предприятия традиционно создают системы менеджмента качества на основе стандартов серии ISO 9000, что способствует унификации подходов по рациональной организации производства, его методологическому обеспечению и системе подготовки персонала. Однако эти универсальные стандарты не учитывают специфику производства косметической продукции и слабо гармонизированы с требованиями зарубежных партнеров, что затрудняет ее экспорт. Поэтому для успешного выхода на международные рынки производителям необходимо дополнять их отраслевыми требованиями и адаптировать документацию с учетом действующих международных стандартов [2].

Нормативное регулирование косметики зародилось в США, сыгравших ключевую роль в формировании надлежащей производственной практики (GMP). В 1906 году в США был принят «Закон о чистых продуктах и лекарствах». В 1938 году появился Федеральный закон о пищевых продуктах, лекарствах и косметике, впервые выделивший производство косметики в самостоятельное направление производства, фиксирующий специфические требования к этой продукции и обязавший производителей доказывать безопасность товаров. В начале 60-х годов 20 века были разработаны первые стандарты GMP для фармацевтики. Впоследствии стандарты GMP вошли в Международную фармакопею ВОЗ и официально используются более чем в 100 странах [3]. Их требования в определенной степени распространяются и на косметическую продукцию. В частности, стандарт ISO 22716:2007 устанавливает принципы GMP для косметической отрасли и направлен на:

– обеспечение безопасности и контроля качества, включая проверку токсичности ингредиентов, поскольку длительное использование некоторых веществ может негативно сказаться на здоровье;

– контроль микробиологического загрязнения, что может привести к изменению свойств продукта и создавать потенциальную угрозу для потребителей;

– соблюдение надлежащих условий на всех этапах производства.

Международный опыт показывает, что внедрение системы менеджмента качества на основе принципов GMP, закрепленных в стандарте ISO 22716:2007, дает компаниям значительные преимущества, такие как облегчение выхода на международные рынки, повышение доверия потребителей и гарантии качества продукции.

Литература

1. Кирейшин, А. Сколько Беларусь зарабатывает на экспорте косметики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://myfin.by/article/rynki/skolko-belarus-zarabatyvaet-na-eksporte-kosmetiki.

2. ICONTEC. Сертификация ISO 22716: Надлежащая производственная практика для производства косметики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.icontec.org/eval_conformidad/ certificacioniso-22716-buenas-practicas-de-manufactura-para-laproduccion-de-cosmeticos/.

3. Characterization and Comparison of quality management systems for cosmetic products in the world / Redondo G. L. M. [et al.] // International Journal of Drug Regulatory Affairs. – 2021. – Vol. 9. – №. 3. – P. 47–56.

УДК 658.26

КОМПЕТЕНЦИИ КЛЮЧЕВОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ВНЕДРЕНИИ В ОРГАНИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Студент группы 11305121 Захаренкова Е. М.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время перспективной задачей является внедрение и сертификация на предприятиях страны системы менеджмента бережливого производства. Однако, бережливое производство эффективно только тогда, когда персонал организации понимает суть концепции, владеет инструментами и техниками и выступает в роли одного из источников повышения эффективности деятельности организации.

В настоящее время в нашей стране действует стандарт СТБ ISO 18404-2018 [1], устанавливающий требования к компетентности ключевого персонала при внедрении в организации концепции бережливого производства. В соответствии с требованиями данного стандарта организация должна:

– определять, поддерживать и управлять соответствующей численностью персонала и распоряжениями по персоналу на соответствующих уровнях компетентности;

– определять необходимые компетентности для персонала, которые должны соответствовать минимальным компетенциям, содержащимся в стандарте;

– поддерживать компетенции своего персонала на соответствующем уровне;

– обеспечивать осведомленность персонала о значимости и важности ее деятельности и о вкладе в достижение целей этой деятельности.

Ключевой персонал организации должен демонстрировать достижение определенных компетенций и целей, активно поддерживать свои навыки и компетенции, активно поддерживать персональные записи о подготовке, навыках, компетенции и опыте.

СТБ ISO 18404-2018 определяет три уровня компетентности персонала, к которым относятся зеленые пояса и практикующие специалисты в области бережливого производства; черные пояса и лидеры в области бережливого производства; мастерский черный пояс и эксперт в области бережливого производства.

Зеленые пояса и практикующие эксперты в области бережливого производства должны подготовить и представить портфель свидетельств опыта работы, которые лежат в основе пересмотра статуса черным поясом или мастерским черным поясом, как правило, каждый год.

Портфель свидетельств опыта работы черных поясов и лидеров в области бережливого производства каждый год должны пересматриваться внутри организации и каждые три года уполномоченным лицом. Мастерские черные пояса и эксперты в области бережливого производства готовят портфель свидетельств опыта работы и, как правило, пересматриваются каждые три года уполномоченным лицом.

Компетентность организации должна пересматриваться каждые три года соответствующим уполномоченным лицом. Пересмотр компетентности внутри организации рекомендуется проводить чаще.

Несмотря на то, что реализация системы менеджмента бережливого производства в настоящее время является приоритетной для страны задачей, вопросы, связанные с оценкой компетентности организации и ее персонала не урегулированы на государственном уровне, поскольку отсутствуют уполномоченные органы по сертификации персонала бережливого производства, не определена процедура оценки профессиональной компетентности, не установлены требования к портфелю опыта работы и др.

Литература

1. СТБ ISO 18404-2018 Количественные методы в улучшении процессов «Шесть сигм». Компетенции ключевого персонала при внедрении в организации «Шесть сигм» и «Лин». – Минск: БелГИСС, 2018. – 76 с.

УДК 53.089.6

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТАНОВКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ДОРОЖНЫХ КУРВИМЕТРОВ

Магистрант Ильинчик Д. Д.
Кандидат техн. наук, доцент Соколовский С. С.
Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения необходимой метрологической прослеживаемости результатов измерений, получаемых с использованием дорожных курвиметров, в РУП «БелГИМ» создана автоматизированная эталонная установка, подлежащая аттестации. Данная установка позволяет воспроизводить необходимые опорное значения расстояний, с которыми должны сопоставляется результаты измерений калибруемых курвиметров, путем задания определенного числа оборотов входящего в состав установки эталонного измерительного колеса регламентируемого диаметра. В результате проведения анализа данной установки были выделены следующие основные источники погрешности: погрешность энкодера; погрешность диаметра измерительного колеса установки, отклонение от цилиндричности и радиальное биение его рабочей поверхности. Для измерения параметров измерительного колеса было принято решение использовать координатно- измерительную машину PRISMO® ultra. Основные погрешности установки определяются следующим образом.

Систематическую составляющую погрешности установки Δ_{os_i} в i-ой точке диапазона измерения вычисляют по формуле:

$$\Delta_{os_i} = \sqrt{\Delta_{1_i}^2 + \Delta_{2_i}^2}, \quad (1)$$

где Δ_{1_i} – погрешность из-за неточности изготовления диаметра измерительного колеса в i-ой точке диапазона измерения, мм; Δ_{2_i} – погрешность позиционирования в i-ой точке диапазона измерения, определяемая неточностью энкодера, мм.

Погрешность из-за неточности изготовления диаметра ведущего колеса Δ_{1_i} вычисляют, исходя из зависимости:

$$\Delta_{1_i} = \pi \cdot \Delta D \cdot n_i, \quad (2)$$

где ΔD – измеренное отклонение диаметра ведущего колеса, мм; n_i – число оборотов ведущего колеса в i-ой точке диапазона измерения.

Погрешность позиционирования Δ_{2_i} , мм, вычисляют по формуле

$$\Delta_{2_i} = \Delta_{поз} \cdot n_i, \quad (3)$$

где $\Delta_{поз}$ – погрешность позиционирования на одном обороте, мм.

УДК 658.562

МОДЕЛЬ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА НЕКОРРЕКТНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Магистрант гр. 7-06-0716-01 Качанова Ю. И.
Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В докладе обоснована модель бизнес-процесса надзорной деятельности, проводимой государственной Инспекцией Госстандарта по Минской области и г. Минску, в пищевой отрасли. Основная цель моделирования – минимизация рисков некорректного принятия решений в процессе проверок. Приведены результаты анализа влияния факторов, приводящих к ошибкам в принятии

решений, а также нормативной базы и процедур контроля. Особое внимание уделено разработке механизмов, техник, приемов для минимизации рисков некорректного принятия решений и повышения эффективности надзорной деятельности.

В докладе рассмотрен и представлен процессный подход надзорной деятельности пищевой продукции, он предполагает организацию работы надзорных органов на основе последовательных и взаимосвязанных бизнес-процессов. Это способствует повышению эффективности контроля и управления, улучшению качества проверок и снижению рисков нарушения норм и правил. В рамках процессного подхода выделяются несколько ключевых этапов:

– идентификация и классификация процессов надзорной деятельности;

– обучение и развитие персонала, как основного ресурса надзорной деятельности;

– контроль и мониторинг процессов надзорной деятельности;

– обратная связь и улучшение процессов;

– минимизация рисков некорректного принятия решений.

В основу моделирования процесса надзорной деятельности положена методология функционального моделирования бизнес-процессов IDEF0. Методология позволяет визуализировать бизнес-процессы для целей их комплексного, глубокого анализа. Обосновано, что в надзорной деятельности методология IDEF0 может эффективно использоваться для улучшения контроля, управления и оптимизации процессов надзора. В докладе отражены основные аспекты применения методологии IDEF0 для моделирования процессов надзорной деятельности:

1. Определение целей, задач и границ модели. Первым шагом является определение целей моделирования и границ системы. Границы системы определяют, какие процессы будут включены в модель для достижения поставленной цели.

2. Создание IDEF0-диаграмм модели. A-0 диаграмма – начальная диаграмма, которая описывает систему менеджмента процесса в целом и основные функции процесса в соответствии с требованиями СТБ ISO 9001-2015. A321, A322 и т. д. – конечные дочерние диаграммы, представляющие поток дочерних функций, которые детализируют линейные процессы надзорной деятельности.

3. Определение входов, выходов, управлений и механизмов каждой функции модели:

– входы: данные или материалы, необходимые для выполнения функции (например, образцы продукции, нормативные документы);

– выходы: результаты выполнения функции (например, акты проверки, сертификаты качества).

– управления: правила, стандарты и инструкции, которые регулируют выполнение функции (например, нормативные акты, процедуры контроля);

– механизмы: ресурсы, используемые для выполнения функции (например, лаборатории, специалисты, оборудование).

4. Определение взаимодействий и взаимосвязей функций модели, реализуемых посредством входов, выходов, управлений и механизмов.

5. Анализ и совершенствование как отдельных функций, так и всей сети процессов.

Продемонстрировано, как на основе функциональной модели IDEF0 обеспечивается единое понимание процессов среди всех участников надзорной деятельности, как провести анализ процессов на соответствие требованиям ТНПА, выявить узкие места, оценить результативности системы менеджмента надзорной деятельности.

Литература

1. Серенков, П. С. Формирование рациональной организационной структуры с помощью комплексного процессного подхода / П. С. Серенков, В. В.Назаренко, О. И.Ромбальская // Методы менеджмента качества. – М., 2015. – № 7. – С. 24–32.

УДК 658.26

СВЕТОДИОДНЫЕ ЛАМПЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СООТВЕСТВИИ С ГОСТ ISO 50001-2020

Студент группы 11305123 Кисляков Н. Н.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Вопросы энергосбережения и экологической устойчивости выходят на первый план, поиск эффективных решений для снижения энергопотребления становится критически важным. Одним из таких решений являются светодиодные лампы (LED-лампы), которые уже доказали свою эффективность в различных сферах – от бытового использования до промышленного освещения.

Светодиодные лампы – это не просто современная замена устаревшим лампам накаливания или люминесцентным лампам. Это технология, которая меняет подход к освещению.

Внедрение LED-технологий не только помогает сократить затраты на электроэнергию, но и способствует выполнению требований межгосударственных стандартов, таких как ГОСТ ISO 50001–2020. Данный стандарт, разработанный на основе ISO 50001–2018, устанавливает требования к системам энергетического менеджмента и также направлен на повышение энергоэффективности организаций [1].

Существует ряд факторов, обусловивших широкое распространение светодиодных ламп в качестве энергоэффективного решения:

Светодиодные лампы характеризуются существенно низким уровнем энергопотребления в сравнении с традиционными источниками освещения.

Срок эксплуатации светодиодных ламп достигает 25 000–50 000 часов, что превышает аналогичный показатель ламп накаливания в 25–50 раз. Это снижает затраты на замену и обслуживание.

Светодиодные лампы не содержат в своем составе ртути и иных токсичных компонентов, что обеспечивает их экологическую безопасность в процессе утилизации.

Первоначальная стоимость светодиодных ламп выше, их использование быстро окупается за счет экономии на электроэнергии и снижения затрат на обслуживание [2].

Межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 50001-2020 устанавливает требования к системам энергетического менеджмента, направленным на повышение энергоэффективности организаций. Применение светодиодных ламп являются важным элементом для реализации системы энергетического менеджмента, не просто технология будущего, а реальное решение, которое уже сегодня помогает предприятиям повышать энергоэффективность и соответствовать требованиям стандарта.

Таким образом, LED-технологии становятся важным инструментом в достижении целей энергосбережения, снижения эксплуатационных расходов и минимизации экологического воздействия, что особенно актуально в условиях ужесточения экологических норм и растущих требований к устойчивому развитию предприятий.

Литература

1. ISO 50001 (ГОСТ Р ИСО 50001), Сертификат ISO 50001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rusregister.ru/standards/iso-50001/. – Дата доступа: 25.02.2025.

2. LED-технологии: сферы применения в освещении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rvelektro.ru/blog/detail/led-tekhnologii-sfery-primeneniya-v-osveshchenii/. – Дата доступа: 25.02.2025.

УДК 614.84

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ

Студенты гр. 11305121 Крючков Д. В., гр. 11305123 Володкович В. И.
Кандидат техн. наук, доцент Спевивцева Ю. Б.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

На сегодняшний день наиболее распространенной чрезвычайной опасностью являются пожары различных классов, тесно связанные с гибелью людей, поэтому важнейшей задачей является своевременное обеспечение пожарной безопасности населения. В настоящее время пожарная защищенность домов и сооружений разного предназначения основывается на развернутой системе противопожарных общепризнанных мер строительного проектирования. Для этого предусмотрены противопожарные разрывы сооружений при строительстве жилых домов, должны соблюдаться противопожарные нормы, необходимо предусматривать первичные средства пожаротушения [1, 2]. Введен ряд документов, регламентирующих классификацию материалов, изделий и конструкций по пожарной опасности в зависимости от их пожарно-технических характеристик, а также методы их определения [3].

Основным показателем, определяющим область применения конструкций, является предел огнестойкости. Огнестойкость незащищенных объектов, как правило, не велика. Например, предел огнестойкости незащищенных стальных конструкций принимают равным 8–15 минутам, поэтому их применение в общем случае ограничено зданиями VII–VIII степени огнестойкости. Более высокие значения предела огнестойкости достигаются огнезащитой, в том числе использованием огнезащитных покрытий.

К огнезащитным составам относятся: огнезащитные краски (суспензии из термостойких наполнителей с неорганическими добавками); огнезащитные пасты и мастики (теплоизолированные композиции на основе силикатного «жидкого» стекла, с различными негорючими наполнителями); огнезащитные штукатурные составы теплоизоляционные композиции на основе строительного гипса, глиноземистого цемента, заполнителей и волокнистых наполнителей; огнезащитные комбинированные средства (огнезащитные покрытия, на которое монтируется огнезащитный материал).

Основные методы проверки огнезащитной эффективности:

– Определение времени от начала теплового воздействия на опытный образец до наступления предельного состояния этого образца (нормальные и ускоренные испытания).

– Определение гигроскопичности, прочности при ударе огнезащитного покрытия.

– Огневое испытание стальных конструкций со вспучивающимися огнезащитными покрытиями при температурном режиме медленно развивающегося (тлеющего) пожара.

– Огневое испытание стальной колонны с огнезащитой при воздействии нагрузки.

В данный момент в области обеспечения испытаний огнезащитных покрытий стальный конструкций государственный стандарт Республики Беларусь отсутсвует. Имеются стандарты ГОСТ Р 53295-2009, СТ РК 615-2-2011, анализ которых показал, что методическое обеспечение испытаний огнезащитных покрытий в них представлено не в полной мере, есть разногласия в описании методов испытаний. Это ставит в неравное положение производителей огнезащитных покрытий. Для унификации требований, методов испытаний и средств огнезащиты стальных конструкций, обращающихся на территории стран Евразийского экономического союза есть потребность разработки межгосударственного стандарта.

Литература

1. ТР 2009/013/BY Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность.

2. ТКП 45-2.02-142-2011 Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации.

3. СТБ 1961-2009 Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности.

4. ГОСТ Р 53295-2009 Средства защиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности.

5. СТ РК 615-2 -2011 Составы и вещества огнезащитные Часть 2. Средства огнезащитные для стальных конструкций. Общие технические условия.

УДК 681

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Студент гр. 11305122 Кубрин Д. С., Селятыцкий А. А.
Магистрр техн. наук, ст. преподаватель Гомма М. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном, быстроменяющемся мире активно идет конкурентная борьба за покупателя и выигрывает то предприятие, которое предоставит клиенту более качественный товар. В связи с этим, контроль и повышение качества продукции выходит на первый план. Благодаря этому координатно-измерительные системы стали все чаще внедрятся в серийное и массовое производство, замещая тем самым универсальные средства измерений. Однако, перед координатно-измерительными системами стоит важная задача - предоставить максимально точные значения измеряемых величин, что в свою очередь вынуждает производителей проводить плановый и периодический контроль за состоянием и износом координатно-измерительных систем.

Традиционные методы калибровки координатно-измерительных систем с помощью специальных средств, требуют ручного труда и высокую квалификацию специалиста. Автоматические методы калибровки позволяет избавится от дорогостоящего прецизионного оборудования, сложных установок, простоя координатно-измерительной системы, связанной с калибровкой, нивелировать влияние человеческого фактора и повысить адаптивность к изменяющемся условиям эксплуатации.

Основными перспективными алгоритмами автоматической калибровки координатно-измерительных систем являются:

1. Самокалибровка – суть данного алгоритма состоит в том, что координатно-измерительная установка дополняется датчиком LIDAR который собирает информацию. Выполняется серия измерений объекта с различных позиций. Датчик собирает информацию о геометрии объекта, расстоянии, углах и отправляет полученную информацию. По данной информации составляются уравнения, на основе кинематической модели и калибровка осуществляется путем решения уравнений. Эксперименты с данным методом показали точность и эффективность алгоритма, а также он дает возможность калибровать «на месте» без прерывания производственного процесса, однако он требует сложную математическую обработку с учетом коэффициентов влияния.

2. Машинное обеспечение – главная задача алгоритма сводится к трем основам: сбор экспериментальных данных, обработка данных и составление модели поведения системы, корректировка на основе модели поведения координатно-измерительной системы. Благодаря такому алгоритму можно прогнозировать ошибки измерений и своевременно не останавливая измерительный процесс внести корректировку, повышая тем самым точность и надежность результатов измерений.

Автоматическая калибровка координатно-измерительных систем является важным направлением повышения качества продукции и развития современных технологий, развитие перспективных направлений автоматической калибровки также снизит конечную стоимость для потребителя, поэтому на сегодняшний день актуальна разработка алгоритмов автоматической калибровки. Следует так же помнить, что перечисленные методы являются не единственными возможными и следует ожидать новые алгоритмы автоматической калибровки и улучшение уже действующих.

Литература

1. A self-calibration method for articulated arm coordinate measuring machines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/313579804_A_self-calibration_method_for_articulated_arm_coordinate_measuring_machines. – Дата доступа: 16.02.2025.

2. Advances in Automation and Robotics Make CMMs More Efficient, Accurate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.qualitymag.com/articles/97539-advances-in-automation-and-robotics-make-cmms-more-efficient-accurate. – Дата доступа: 16.02.2025.

3. Hexagon Manufacturing Intelligence [Элеткронный ресурс] – Режим доступа: https://www.hexagonmi.com/. – Дата доступа: 16.02.2025.

УДК 621.791

АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ ИСТОЧНИКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЛИТЬЯ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Студент гр. 11305122 Кубрин Д. С.
Кандидат техн. наук, доцент Николайчик Ю. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Литье в песчано-глинистые формы – один из древнейший и наиболее распространенный способ получения заготовок [1]. Процесс литья заключается в заполнении расплавленного материала в специальную литейную форму, где тот в последствии затвердевает, принимая заданную форму. Несмотря на множество появившихся в последние десятилетия методов получения отливок, метод литья в песчано-глинистые формы не потерял свою актуальность, поскольку в ряде случаев это единственный способ получения заготовок, например, деталей больших размеров или специфической формы. Данным способом изготавливают, например, отливки корпусов редукторов, гидравлических клапанов, головки блоков цилиндра, лопатки турбин и т. д.

Современные тенденции совершенствования технологий литья прежде всего направлены на повышение качества заготовок, которое ассоциируется в первую очередь с наличием дефектов. Согласно ГОСТ 19200-80 [2] существует пять групп дефектов: 1) дефекты, связанные с геометрией отливок (отклонения размеров, формы и расположения поверхностей), 2) дефекты поверхности отливок, 3) дефекты, связанные с несплошностями в теле отливки, 4) дефекты, связанные с включениями в теле отливки, 5) дефекты, связанные с структурой металла отливок.

Традиционно считается, что большинство основных источников дефектов связаны с расплавом в том числе с процессом его заливки. Соответственно все усилия по совершенствованию производственной системы литья в песчано-глинистые формы сконцентрированы на этом направлении. Однако, практика современного металлургического производства указывает на смещение акцентов в сторону других компонентов производственной системы как значимых источников дефектов: литниковая система, песчано-глинистые форма, условия кристаллизации расплава и затвердевания отливки и т. д.

Цель исследований заключается в переоценке значимости вкладов компонентов производственной системы получения отливок в потери качества получения заготовок. Результаты исследования позволят пересмотреть актуальность направлений совершенствования производственной системы литья в песчано- глинистые формы и сконцентрировать внимание на наиболее значимых направлениях.

На первом этапе исследований была разработана структурная классификация несоответствий и дефектов литья в песчано- глинистые формы, причины их возникновения и соответствующие «носители причин», в роли которых выступают компоненты производственной системы. Анализ значимости компонентов производственной системы литья как источников несоответствий и дефектов был реализован методами экспертных оценок. С использованием техники АВС-анализа и диаграммы Парето были определены компоненты, которые вносят наибольший вклад в потери качества отливок. В частности, по результатам анализа ключевым «носителем» потерь качества отливок является компонент «песчано-глиняной форма».

На втором этапе исследований разработана причинно-следственная диаграмма, связывающая дефекты, вызываемые компонентом «песчано-глинистая форма», с ее составляющими элементами: формовочный материал, связующие материалы, покрытие и др. По аналогии с первым этапом исследований произведена оценка значимости элементов методами экспертных оценок. С использованием техники АВС-анализа и диаграммы Парето установлено, что ключевым «носителем» потерь качества отливок является элемент «покрытие».

Литература

1. Технология литейного производства [Электронный ресурс]: учебник / Ю. И. Категоренко [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2018. – 684 с. – Режим доступа: http://elar.rsvpu.ru/handle/978-5-8050-0641-9. – Дата доступа: 16.02.2025.

2. ГОСТ 19200-80. Отливки из стали и чугуна. Термины и определения: введ. 27.06.80. – М: Издательство стандартов, 1992. – 32 с.

УДК 658.516

ВНЕДРЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ QUALITY 4.0

Студент гр. 11305122 Кубрин Д. С.
Кандидат техн. наук, доцент Гуревич В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Термин Industry 4.0 (Индустрия 4.0, I4.0), также известный как четвертая промышленная революция, был впервые введен Bosch в Германии в начале 2010-х годов для описания интеграции коммуникационных и информационных технологий в промышленное производство. Суть I4.0 – техническая интеграция киберфизических систем (CPS) в процессы производства и логистики и использование интернета вещей и услуг (IoT) с целью прогнозирования, управления и планирования процессов.

Составной частью I4.0 является концепция Quality 4.0 (Качество 4.0, Q4.0), которая основана на внедрении современных цифровых технологий в традиционные процессы систем менеджмента качества и включает в себя машинное обучение, прогнозную аналитику, Интернет вещей, большие данные и облачные вычисления и является фундаментом для внедрения I4.0 [1].

Современная модель Q4.0 разработана LNS Research и опирается на 11 осей [1]:

1. Большие данных (big data). Автоматизированный сбор и обработка данных без участия человека.
2. Анализ больших данных (big data analytics). Анализ собранных данных подразделяется на 4 категории: описательная, диагностическая, предсказательная и предписывающая.
3. Разработка приложений (app development). Разработка собственных приложений, направленных на управление данными, обмен информацией и доступ к различным информационным ресурсам.
4. Взаимодействие (connectivity). Установление взаимодействия информационных IT-технологий, систем управления качеством и систем управления жизненным циклом продукции.
5. Масштабируемость (scalability). Работа организации с огромным массивом данных, долговременно хранящихся в автоматизированных системах предприятия, что обеспечит более высокую достоверность результатов анализа процессов.
6. Сотрудничество (collaboration). Взаимодействие сотрудников, вовлеченных в одни и те же процессы.
7. Компетенции (competency). Наличие системы управления обучением персонала.
8. Лидерство (leadership).
9. Культура (culture).
10. Соответствие требованиям (compliance). Соответствие требованиям потребителей.
11. Системы менеджмента (management systems).

Внедрение Q4.0 влечет за собой проблемы, связанные с новыми требуемыми компетенциями специалистов по качеству, от которых потребуются новых знания и навыки, например, для эффективной интерпретации больших объемов данных. Обучение становится ключевым элементом внедрения Q4.0 [2].

Интеграция концепции Q4.0 с моделью систем менеджмента качества в соответствии с ISO 9001 требует системного подхода и, в первую очередь, поддержки высшего руководства и четкой цифровой стратегии на уровне организации. Для внедрения Q4.0 требуется дополнительная подготовка специалистов по качеству и наличие у них новых компетенций как технических, так и социальных, методологических, а также личных качеств в рамках 11 инструментов LNS Research.

Литература

1. Jacob D. Quality 4.0 impact and strategy handbook: getting digitally connected to transform quality management //LNS Research: Cambridge, MA, USA. – 2017.

2. How ready is higher education for quality 4.0 transformation according to the LNS research framework? / B. Alzahrani [et al.] // Sustainability. – 2021. – Vol. 13. – №. 9. – P. 5169.

УДК 621.791

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЗНАЧИМОСТИ ИСТОЧНИКОВ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Студент гр. 11305122 Кубрин Д. С.
Кандидат техн. наук, доцент Николайчик Ю. А., д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современное литейное производство, стремясь к выпуску высококачественных и конкурентоспособных изделий, сталкивается с необходимостью постоянного совершенствования технологических процессов. Для эффективной борьбы с дефектами необходимо адекватное понимание источников их возникновения и разработка превентивных мер. В условиях сложного и многофакторного литейного производства, где некоторые процессы сложно поддаются математическому моделированию, методы экспертной оценки становятся безальтернативными.

В БНТУ ведутся комплексные исследования по переоценке значимости вкладов элементов производственной системы процесса литья в песчано – глинистые формы в потери качества отливок. Для решения поставленной задачи предложен алгоритм исследований (рис. 1).

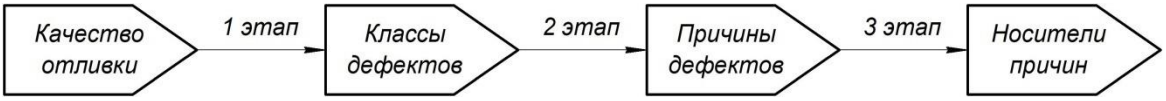


Рис. 1. Алгоритм оценивания значимости вкладов компонентов производственной системы процесса литья в потери качества отливок

Алгоритм включает три этапа:

Этап 1: Ранжирование групп дефектов согласно ГОСТ 19200-80.

Этап 2: Идентификация комплексов причин возникновения каждой группы дефектов и их ранжирование.

Этап 3: Идентификация «носителей» причин дефектов как элементов производственной системы с последующим ранжированием вкладов в потери качества отливок. Определение суммарного рейтинга «источников» дефектов с целью интегральной оценки их значимости.

С учетом высоких рисков некорректной идентификации наиболее значимых групп дефектов и их «носителей для реализации первых двух этапов алгоритма обоснован метод экспертного оценивания – метод альтернатив [1, 2]. Метод основан на парном сравнении Т. Саати альтернатив (групп дефектов для первого этапа и «носителей» дефектов» для второго этапа) и отличается специальным планом опроса экспертов. Оценки (рейтинги), получаемые методом альтернатив, представлены в шкале интервалов, т. е. с ними можно корректно производить математические операции. Кроме того, в методе предусмотрена возможность оценить степень согласованности мнений каждого эксперта и группы экспертов на критериальной основе, что обеспечивает корректность результатов исследований.

В докладе приведены два варианта реализации третьего этапа – определение суммарного рейтинга источников дефектов. Один и тот же элемент производственной системы процесса литья может выступать «источником» возникновения нескольких дефектов из различных групп и с различными рейтингами вкладов. Рассмотрены модели интегральной оценки значимости элемент производственной системы процесса литья: модель простого и взвешенного суммирования рейтингов вкладов.

Результат исследования – интегральные оценки значимости элементов производственной системы процесса литья – далее анализируются методом Парето с целью определения главных направлений научных изысканий в направлении совершенствования качества отливок.

Литература

1. Метод альтернатив как эффективный механизм повышения достоверности экспертных оценок / Серенков П. С. [и др.] // Метрология и приборостроение. – Минск, 2011. – № 6. – С. 31–39.

2. Model for Ensuring the Reliability of Expert Quality Control of Products and Processes / Serenkov P. S. [et al.] // Science & Technique. – 2024. – № 23(4). – P. 345–354.

УДК 338.512

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ДЛЯ ЦЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ

Студент гр. 11305122 Кубрин Д. С.
Кандидат техн. наук, доцент Спесивцева Ю. Б.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современной приборостроительной индустрии конкуренция между производителями становится все более острой и ключевым факторам успеха предприятия является обеспечения высокого качества продукции при минимальных затратах на ее производство. Уровень качества изделия формируется на всех этапах его жизненного цикла и в большей степени при проектировании. Оптимальное соотношение стоимости и точности отдельных элементов прибора (машины, механизма) можно определить путем оптимизации конструкторских размерных цепей. Наиболее сложной проблемой при решении этой задачи является определение технологической себестоимости составляющих звеньев размерной цепи различных уровней точности, поскольку на этапе проектирования нет конкретный данных о технологических процессах их изготовления. Целью работы является анализ существующих методов оценки себестоимости изготовления деталей для выявление наиболее подходящего для оптимизации размерных цепей.

Целью расчета себестоимости является определение полной стоимости ресурсов, материалов и труда, необходимых для производства, что позволяет оценить прибыльность производственной деятельности, анализировать и контролировать затраты на различных этапах производства, помогает выявлять излишние расходы и оптимизировать производственные процессы.

Основными методами расчета технологической себестоимости являются:

1. Метод «себестоимость плюс», основанный на суммировании всех затрат, включая производство, зарплату персонала, а также добавление определенной надбавки для получения прибыли. Гарантия учета всех затрат достигается сложностью расчета.

2. Метод «директ-костинг» - метод учета затрат, в котором все прямые переменные затраты, изменяющиеся пропорционально объемам производства (сырье, материалы, оплата труда рабочих), включаются в себестоимость, а фиксированные затраты, которые не изменяются в краткосрочном периоде независимо от объемов производства (например, аренда, зарплата руководителей) рассматриваются отдельно. Себестоимость продукции формируется только из переменных затрат, что позволяет более точно анализировать влияние объемов производства на общую прибыль.

3. Метод «укрупненных нормативов», базирующийся на использовании предварительно определенных всех цеховых затрат, приходящихся на один час работы станка, используемого в технологическом процессе и нормативов определения штучного времени. Себестоимость рассчитывается по упрошенной модели путем умножения времени изготовлении конструктивного элемента детали на стоимость работы станка. Преимуществом данного метода является простота расчета и возможность использования предварительно подготовленных данных.

4. Квалиметрический метод, основу которого составляет экспертное оценивание свойств объектов. Попарное сопоставление конструктивных элементов деталей, являющихся звеньями размерной цепи, может ответить на вопрос себестоимость изготовления какого из звеньев преобладает.

5. Использование искусственных нейронных сетей. Для обучения нейронной сети необходимо собрать данные, которые будут служить входными и выходными параметрами. Это может включать: параметры детали (размеры, материал, сложность конструкции и т. д.), время обработки для различных операций, используемые станки и их характеристики, стоимость работы и обслуживания оборудования и др. Архитектура нейронной сети включает количество слоев, число нейронов в каждом слое, функции активации. Выбранный набор данных используют для обучения сети, применяя алгоритмы оптимизации.

Каждый из этих методов при использовании для целей расчета размерных цепей требует особого математического аппарата оптимизации. Наиболее перспективными являются методы «укрупненных нормативов», «квалиметрической оценки» и использование искусственных нейронных сетей.

УДК 006.73

ЗАЩИТА РЫНКА ОТ НЕБЕЗОПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ТОВАРОВ

Студент группы 11305123 Куприянова А. Р.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Обеспечение качества и безопасности продукции, защита жизни и здоровья человека, охрана окружающей среды, предотвращение введение потребителя в заблуждение являются задачами первостепенной важности в Республике Беларусь.

Производители выпускают опасную продукцию по нескольким причинам, среди которых главное это стремление сократить затраты с целью увеличения прибыли. В условиях жесткой конкуренции компании часто находятся под давлением, чтобы предлагать свои товары по более низким ценам, что может подтолкнуть их к использованию дешевых или небезопасных материалов. Отсутствие строгих регуляций и контроля со стороны государственных органов также играет значительную роль. В таких условиях производители могут избегать выполнения стандартов безопасности, что в итоге приводит к выпуску небезопасной продукции на рынок.

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 09.02.2015 № 48 «О мерах по обеспечению государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов» Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь проводятся мероприятия по выявлению опасной продукции и выдаче предписаний о прекращении (приостановлении) действия на территории Республики Беларусь документов об оценке соответствия такой продукции требованиям технических регламентов Таможенного союза, Евразийского экономического союза.

Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь ведется реестр опасной продукции, запрещенной к ввозу и (или) обращению на территории Республики Беларусь. Основными причинами внесения продукции в реестр являются выявленные нарушения требованиям технических регламентов Таможенного союза, Евразийского экономического союза по ее безопасности. Онлайн-ресурс «Опасная продукция» содержит информацию о продукции запрещенной к ввозу и (или) обращению на территории Республики Беларусь, а также реестр документов об оценке соответствия продукции требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза (Таможенного союза) действие которых прекращено на территории Республики Беларусь [1].

В промышленной продукции наиболее часто встречаются несоответствия требованиям технического регламента Таможенного союза 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования», технического регламента Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС037/2016 «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники» и технического регламента ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств».

Уже в 2025 году выявлено около тридцати видов технически сложных товаров, несоответствующих требованиям технических регламентов. Основные несоответствия связаны с электромагнитными помехами, необеспечением уровня изоляционной защиты, превышением концентрации опасных веществ, не обеспечивается отсутствие недопустимого риска при перегрузках, аварийных режимах и отказах, вызываемых влиянием внешних и внутренних воздействующих факторов. Также часто встречалось невыполнение требований маркировки продукции [2].

Литература

1. Опасная продукция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ignminsk.gov.by/. – Дата доступа: 26.02.2025.

2. Реестр опасной продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://danger.gskp.by/ReestrOp. – Дата доступа: 26.02.2025.

УДК 778.14

ЦИФРОВАЯ МАРКИРОВКА КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ

Студенты гр. 11305123 Лавриненко Д. А., Маркович П. Л.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях глобализации и стремительного развития технологий, вопросы обеспечения безопасности и качества товаров становятся все более актуальными. Одним из ключевых инструментов, способствующих решению этих задач, является цифровая маркировка. Цифровая маркировка представляет собой инновационный инструмент, обеспечивающий прослеживаемость товаров на всех этапах производства и дальнейшего перемещения. Этот метод, основанный на присвоении уникальных идентификаторов, в которые заложена вся информация о составе, происхождении, сроке годности, подлинности товара и многих других критериях, играет ключевую роль в повышении контроля качества и эффективности отслеживания перемещения товара от производства до потребителя.

Цифровая маркировка не только упрощает процессы учета, но и обеспечивает высокий уровень контроля качества, что особенно важно в таких отраслях, как пищевая промышленность, фармацевтика, производство детских товаров и товаров народного потребления. В условиях растущего недоверия потребителей к качеству и безопасности товаров, возможность прослеживаемости становится важным критерием выбора, способствующим повышению конкурентоспособности компаний [1].

Целью данного исследования является обоснование целесообразности формирования инфраструктуры цифровой прослеживаемости на государственном и межгосударственном уровнях в условиях формирования единого информационного пространства. Для достижения поставленной цели в работе будут рассмотрены понятия «прослеживаемость», «система прослеживаемости» как ключевые элементы цифровизации потоков в цепях поставок.

Анализ проводится на основе международных стандартов, таких как ISO 8402, Указов Президента Республики Беларусь:

– Указ Президента Республики Беларусь от 29.12.2020 г. № 496, «О прослеживаемости товаров» [2];

– Указ Президента Республики Беларусь от 10.06.2011 г. № 243 «О маркировке товаров» [3].

Требования к прослеживаемости в Республике Беларусь также установлены в СТБ ISO 9000, СТБ 2197, СТБ ISO 22000, СТБ ISO 22005, в Российской Федерации – ГОСТ Р 58636, ГОСТ Р 57881, ГОСТ Р ИСО 22005 и других технических нормативно-правовых актах.

Определены цели внедрения систем цифровой прослеживаемости, некоторые из них: борьба с контрафактной продукцией, предоставление актуальных сведений партнерам по прослеживаемости и конечным потребителям, предоставление актуальных сведений партнерам по прослеживаемости и конечным потребителям. Рассмотрены нормативно-правовые документы, регулирующие системы цифровой прослеживаемости и цифровой маркировки на территории Евразийского экономического союза и Республики Беларусь.

Таким образом, данное исследование направлено на углубление понимания значимости цифровой маркировки как важного элемента современного бизнеса, способствующего повышению эффективности, безопасности и доверия со стороны потребителей. Цифровая прослеживаемость перемещаемых товаров является одним из действенных направлений решения проблемы с контрафактной продукцией.

Литература

1. Методы и технологии идентификации и маркировки товаров / В. И. Дравица [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 2022. – 223 с.

2. Указ Президента Республики Беларусь от 29.12.2020 г. № 496, «О прослеживаемости товаров».

3. Указ Президента Республики Беларусь от 10 июня 2011 г. № 243 «О маркировке товаров».

УДК 658.562

«ЗНАНИЕ» КАК КОНКУРЕНТНЫЙ РЕСУРС

Аспирант Липаткина Т. Н.[1]
Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.[2]
[1]ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Минск, Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

На современном этапе развития общества интеллектуальные ресурсы, информация и знания являются основной ценностью и решающим фактором в конкурентной борьбе. Историческими причинами возникновения менеджмента знаний являются глобализация и обострения конкуренции, быстрое развитие и внедрение информационных технологий [1]. И. Нонака и Х. Такеучи убеждены в том, что создание знаний – один из важнейших источников международной конкурентоспособности и призывают расценивать знание как основной конкурентный ресурс организации [2]. Говоря о секрете успеха японских компаний, они отдают должное таким важным факторам, как квалификация персонала, взаимоотношения с клиентами, поставщиками и госструктурами, но делают вывод, что ключевую роль все-таки играют навыки и опыт в области управления знаниями. Под этим термином «создания знания» авторы понимают «способность компании как единого целого создавать новое знание, распространять его по всей организации и воплощать в продукции, услугах и системах. Понять процесс создания знания организацией – значит понять процесс осуществления инноваций» [2].

В публикациях П. Друкера провозглашено вступление человечества в новую экономику или новое «информационное общество» отличающееся от предшествующих формаций тем, что основную роль в нем играет знание. В новых экономических условиях знание является не еще одним ресурсом того же порядка, что и традиционные факторы производства – труд, капитал и земля, а вообще единственным имеющим значение ресурсом.

С 2015 года вступила в силу новая версия стандарта ISO 9001:2015. Одним из ключевых изменений стандарта по отношению к ресурсам, необходимым для разработки, внедрения, поддержания и постоянного улучшения системы менеджмента качества является введение раздела 7.1.6. «Знания организации» т. е. знания, специфические для организации, которые получены на основе опыта. Данный термин в стандартах серии ISO 9000 появляется впервые. Определяются требования к обработке знаний на четырех этапах, которые аналогичны циклу PDCA: организация должна определить знания, необходимые для функционирования ее процессов и для достижения соответствия продукции и услуг; знания должны быть доступными; знания должны поддерживаться, необходимо установить каким образом будут приобретаться дополнительные знания, как будет осуществляться обновление знаний.

В 2018 года введен в действие международный стандарт ISO 30401:2018 «Knowledge management systems. Requirements». В стандарте устанавливаются требования и приводятся руководящие указания по разработке, внедрению, поддержанию, анализу и улучшению результативной системы менеджмента для менеджмента знаний в организациях.

С 2021 года введен в действие СТБ ISO 30401-2021 «Системы менеджмента знаний. Требования». Назначением данного стандарта является оказание поддержки организациям в разработке системы менеджмента, которая результативно продвигает и обеспечивает возможность создания ценности посредством знаний. В стандарте «знания – актив, имеющийся у человека или организации, позволяющий принимать результативные решения и действовать в определенном контексте (п. 3.25). Знания становятся ключевым фактором результативности, расширения сотрудничества и усиления конкуренции.

В современных условиях управление знаниями в интеграции с системой менеджмента качества становится ведущим фактором конкурентоспособности организаций.

Литература

1. Гальченко, С. А. Управление знаниями в системе управления организацией: учеб. пособие / С. А. Гальченко; Курск. гос. ун-т. – Курск: КГУ, 2018. – 167 с.

2. Нонака, И. Компания - создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах / И. Нонака, Х. Такеучи; пер. с англ. А. Трактинского. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2011. – 384 с.

УДК 658.562

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ

Студент гр. 11305122 Лужинская А. И., студент гр. 11305123 Кисляков Н. Н.
Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С., кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Качественный анализ – измерения, проводимые с целью контроля соответствия с использованием методов экспертного оценивания. В докладе изложены результаты анализа существующих подходов к оцениванию точности экспертных методов и предложена классификация методов оценивания неопределенности органолептических измерений при качественном анализе. Обоснованы достоинства и недостатки методов [1, 2].

Ключевым моментом обеспечения достоверности оценивания неопределенности органолептических измерений обоснован фактор «шкалы», применяемой в том или ином методе. Как правило, методы качественного анализа оперируют данными в шкалах номиналов или рангов, что делает невозможным использование стандартных математических операций, статистической обработки получаемых данных, за исключением операций сравнения.

Из установленных четырех основных групп методов оценивания неопределенности основное внимание в докладе уделено методам оценивания неопределенности в процессе оценки соответствия. Особенность этой группы методов заключается в том, что неопределенность результатов измерений оценивается в нехарактерном для традиционных методов виде – доле истинно положительных, ложно положительных, истинно отрицательных и ложно отрицательных результатов, для того используют таблицу 1.

Таблица 1 – Таблица 2×2, используемая для вычисления доли ложно положительных и ложно отрицательных результатов при качественном анализе

	Образец, параметр которого соответствует установленным требованиям	Образец, параметр которого не соответствует установленным требованиям	
Положительный результат	Истинно положительные результаты	Ложно положительные результаты	Общее количество положительных результатов
Отрицательные результат	Ложно отрицательные результаты	Истинно отрицательные результаты	Общее количество отрицательных результатов
	Общее количество образцов, параметр которых соответствует установленным требованиям	Общее количество образцов, параметр которых соответствует установленным требованиям	

В докладе приведен анализ различных «конструкций» формул оценки неопределенности результатов качественного анализа, характеризующих диагностические свойства методов, в том числе качественных методов измерения в процессе оценки соответствия [1, 2].

Обоснована корректность метода оценивания неопределенности измерения с использованием теоремы Байеса, используемого в случаях, когда априорные характеристики метода (т. е. чувствительность, специфичность и распространенность) доступны. Этот метод позволяет получить адекватные оценки при проведении большого количества тестов. В отличие от данного метода другие методы этой же классификационной группы применимы не ко всем видам измерений, требуют своей определенной специфики условий измерений.

Литература

1. Хамханова, Д. Н. Оценивание неопределенности органолептических измерений качества воды по типу В / Д. Н. Хамханова, Г. Ц. Цыбикова // Вестник КрасГАУ. – 2008. – №4. – С. 271–274.

2. Assessing the measurement uncertainty of qualitative analysis in the clinical laboratory / Lim Y. K. [et al.] // Journal of Laboratory Medicine. – 2020. – Vol. 44. – №. 1. – P. 3–10.

УДК 658.562

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СУБЪЕКТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Студенты гр. 11305122 Лужинская А. И., гр.11305123 Володкович В. И.
Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С., кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В общем случае, измерение – это всегда «процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине». Эксперимент можно проводить с помощью технических средств измерения или на основании субъективного мнения компетентного лица – эксперта [1, 2]. Поэтому будем считать, что измерение величины, в зависимости от способа получения измерительной информации, может быть объективным или субъективным.

Анализ различных видов деятельности показывает, что всесторонний контроль продукции, как правило, основан на сочетании инструментальных и органолептических методов. Например, в пищевой промышленности для полной оценки качества продукции инструментальных методов анализа недостаточно. Химический состав продуктов, оцененный техническими средствами, может быть близким, а органолептические показатели при этом могут существенно отличаться. Очевидно, что органолептический анализ, реализуемый методами экспертного оценивания, с этой точки зрения безальтернативен.

Следует принять тот факт, что субъективные измерения в полной мере относятся к области знаний метрологии и подлежат метрологическому оеспечению и метрологическому контролю.

В докладе рассмотрен такой аспект метрологического контроля как оценивание точности субъективных измерений. Актуальность этого аспекта обусловлена и тем, что все большую популярность и значимость обретает СТБ ISO/IEC Guied 98-4-2019, который увязывает оценку соответствия характеристик продукции или услуг с точностью метода измерений (испытаний), в частности со значением неопределенности. Достоверность результатов контроля напрямую определяется значением неопределенности результатов измерений.

Достоверность результатов контроля с помощью технических средств подкрепляется инфраструктурой процесса (эталоны, прослеживаемость, сличения, повторяемость, воспроизводимость и т. п.). Особенность субъективных измерений в том, что это измерения ощущений, достоверность результатов которых очевидно весьма критична.

Для упорядочения методов оценивания точности экспертных методов в докладе предложена классификация методов экспертного оценивания по основанию «свойство оцениваемого объекта»: 1) объект имеет истинное значение, 2) объект скорее имеет истинное значение, 3) объект не имеет истинного (единственного) значения.

В докладе приведен анализ существующих методов оценки неопределенности первых двух групп объектов, которая является наиболее многочисленной. Для оценки их свойств используются органолептические методы, которые входят в сферу регулирования законодательной метрологии. Рассмотрены альтернативные методы оценивания неопределенности органолептических измерений при качественном анализе: 1) оценивание неопределенности результатов по типу А, по типу В; 2) оценивание неопределенности в процессе оценки соответствия (с использованием теоремы Байеса); 3) оценивание неопределенности с использованием подхода нормального распределения; 4) оценивание неопределенности неопределенность измерения с использованием теоретико-информационного подхода [1, 2].

В докладе приведены достоинства и недостатки методов, рекомендации по их применению, направления развития методов оценивания неопределенности субъективных измерений.

Литература

1. Хамханова, Д. Н. Оценивание неопределенности органолептических измерений качества воды по типу В / Д. Н. Хамханова, Г. Ц. Цыбикова // Вестник КрасГАУ. – 2008. – №4. – С. 271–274.

2. Model for Ensuring the Reliability of Expert Quality Control of Products and Processes / P. S. Serenkov [et al.] // Science & Technique. – 2024. – № 23(4). – P. 345–354.

УДК 006.91

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Студенты гр. 11305122 Лужинская А. И., гр. 11305123 Кисляков Н. Н.
Кандидат техн. наук, доцент Спесивцева Ю. Б.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Размерные цепи, отражая объективные связи в конструкции изделия, в технологических процессах изготовления деталей и сборки, имеют соответствующие объектам названия и достаточно распространены в проектных расчетах. Они представляют собой систему взаимосвязанных размеров, которые определяют геометрические параметры деталей и обеспечивают их точность и взаимозаменяемость. В метрологической подготовке производства новых изделий важнейшую роль играют измерительные размерные цепи, расчет которых, несмотря на свою значимость, в настоящее время не имеет широкого распространения.

Изучение, классификация измерительных размерных цепей, совершенствование и формализация методов их расчета является актуальной задачей.

Процесс расчета измерительных размерных цепей состоит из нескольких ключевых этапов:

1. Формулируется задача и устанавливается замыкающее звено. Как правило, предварительно анализируется точность контролируемого параметра, третья часть допуска на него является допускаемой погрешностью измерения. Далее анализируются источники погрешности измерения, каждый из которых представляет размерную цепь. Под измерительной размерной цепью, определяющую инструментальную составляющую погрешности при использовании контрольных приспособлений, можно понимать замкнутую цепь звеньев, которая формируется при определении линейного смещения и относительного поворота поверхностей или осей деталей, участвующий в процессе измерения.

2. Исходя из поставленной задачи устанавливается номинальный размер, допуск и координата середины поля допуска замыкающего звена, например, допустимая погрешность положения чувствительного элемента прибора.

3. Выявляются составляющие звенья, которыми могут быть форма поверхностей деталей, их относительные смещения, вызванные зазорами в соединениях. Строится схема размерной цепи, составляет ее уравнение.

4. Определяются коэффициенты влияния каждого из составляющих звеньев. Для этого наиболее удобным является геометрический метод, при котором составляющее звено, которым является частный источник погрешности, изображается на рисунке в утрированно увеличенном виде, анализируется его влияние на замыкающее звено, определяется математическая зависимость.

5. Назначаются номинальные размеры всех составляющих звеньев. Как правило, звеньями измерительной размерной цепи являются «нулевые параметры», т. е. их номинальные значения равны нулю.

6. Исходя из допуска замыкающего звена выбирается экономичный метод достижения его требуемой точности. Предпочтительным является метод полной взаимозаменяемости.

7. Рассчитывается и устанавливают допуски, координаты середин полей допусков для составляющих звеньев с учетом метода достижения точности замыкающего звена (полная взаимозаменяемость, пригонка, регулировка).

8. Осуществляется проверочный расчет и корректировка назначенных норм точности на составляющие звенья.

Спецификой расчета измерительной размерной цепи является то, что ее составление и расчет осуществляется на основе схемы, которая рассматривается в качестве основы для проектирования контрольного приспособления. Правильное применение измерительных размерных цепей может существенно повысить эффективность метрологической подготовки производства и снизить риски, связанные с ошибками в проектировании.

Литература

1. Путято, А. В. Расчет размерных цепей: учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / А. В. Путято, А. В. Коваленко / М-во образования Респ. Беларусь; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 32 с.

УДК 531.7.08

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ В КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Студент гр. 11305122 Лужинская А. И.
М-р техн. наук, ст. преподаватель Гомма М. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Все большее количество машиностроительных предприятий в целях достижения требуемой точности измерений стремятся внедрить в производство координатно-измерительные машины (КИМ) [1]. Использование координатно-измерительных машин (КИМ) для измерения деталей со сложными поверхностями – сложная задача, требующая тщательного учета погрешностей. На практике часто встречаются ситуации, когда фактическая погрешность измерения значительно превосходит паспортную погрешность самой КИМ. Например, неправильный выбор измерительного наконечника, некорректное позиционирование детали или неверное программирование траектории движения щупа способны внести значительные искажения в результаты. Погрешность любой КИМ, как и любого средства измерения, состоит из двух основных составляющих: систематических и случайных погрешностей.

Случайные погрешности вызваны непредвиденными факторами, такими как вибрации, колебания температуры и влажности, электромагнитные помехи, а также нестабильность работы внутренних компонентов КИМ. Для минимизации влияния случайных погрешностей, КИМ размещают на виброизолированных фундаментах в специально оборудованных помещениях с климат-контролем и системой очистки воздуха. Более того, современные КИМ часто оснащаются системами автоматической компенсации температурных колебаний и других внешних воздействий. Эти системы непрерывно мониторят окружающую среду и вносят корректировки в измерения, снижая влияние случайных факторов.

Систематические погрешности, в отличие от случайных, имеют стабильный и предсказуемый характер. Они связаны с конструктивными особенностями КИМ, такими как несовершенство направляющих, неточность механических узлов, погрешности преобразователей координат, а также относятся погрешности калибровки измерительных наконечников и погрешности программного обеспечения. Компенсация систематических погрешностей осуществляется с помощью регулярной поверки КИМ и применения специальных методик. Поверка проводится с использованием эталонных мер длины и специальных калибровочных устройств, позволяющих определить и оценить величину систематических погрешностей каждой оси. Результаты поверки используются для введения поправочных коэффициентов в алгоритмы работы КИМ. Современные КИМ часто имеют встроенные системы автоматической компенсации, которые используют данные поверки для непрерывной корректировки результатов измерения. Неправильная калибровка, поврежденный или неправильно выбранный наконечник, недостаточное прижимное усилие – все это может привести к возникновению значительных погрешностей. Кроме того, следует учитывать инерционность КИМ. Для минимизации влияния инерционности применяются специальные алгоритмы управления движением щупа, а также используются высокоскоростные системы сбора и обработки данных. Более того, правильный выбор скорости перемещения щупа – критически важен для достижения высокой точности. Слишком высокая скорость может привести к проскакиванию точек, а слишком низкая – к увеличению времени измерения и негативному влиянию внешних факторов [2].

В заключение, минимизация погрешностей при измерении сложных поверхностей на КИМ – комплексная задача, требующая высокой квалификации оператора, регулярной поверки и технического обслуживания машины, применения соответствующих методик измерения и учета всех возможных источников погрешностей, как систематических, так и случайных.

Литература

1. Никольский, С. М. Источники погрешностей координатных измерений и способы минимизации их влияния / С. М. Никольский, С. И. Соловьев // Вестник науки. – 2021. – № 6–1(39).

2. Координатные измерительные машины / В.А. Гапшис [и др.] – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

УДК 531.7.08

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МИКРО- И НАНОМАСШТАБАХ

Студент гр. 11305122 Лужинская А. И.
М-р техн. наук, ст. преподаватель Гомма М. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Координатные измерения в микро- и наномасштабах – это фундаментальная задача, решающаяся в самых передовых областях науки и техники. Сравнительный анализ различных методов координатных измерений в этих масштабах требует тщательного рассмотрения целого ряда параметров: точности, разрешения, скорости измерения, сложности аппаратуры, стоимости, а также области применимости каждого метода. Классификация методов координатных измерений в микро- и наномасштабах довольно обширна, и простое разделение на оптические, электронные и механические методы – это лишь первое приближение. Рассмотрим подробнее основные методы.

Сканирующая оптическая микроскопия (СОМ), включающая в себя различные модификации, широко применяется для исследования поверхностных структур. Высокое разрешение, достигаемое в современных СОМ системах, позволяет визуализировать детали с размерами в десятки и даже единицы нанометров. Помимо высокого разрешения, преимуществом СОМ является относительная простота и неразрушающий характер исследования для многих образцов. Однако, глубина проникновения света в образец остается ограниченной, что затрудняет изучение внутренних структур. Различные методы обработки изображений, например, деконволюция, помогают уменьшить влияние этих ограничений [1].

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) предоставляет изображения с высоким разрешением, позволяя получать детальную информацию о топографии поверхности. Преимущества СЭМ – высокое разрешение (до нескольких нанометров), возможность получения информации о химическом составе поверхности с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектрометрии (EDS), и относительно высокая скорость сканирования. Однако, основным недостатком является необходимость работы в вакууме, что ограничивает исследование живых образцов и гидратированных материалов. Электронный пучок также может повреждать чувствительные образцы.

Трансмиссионная электронная микроскопия (ТЭМ) позволяет получать изображения с атомным разрешением, пропуская пучок электронов через тонкий образец. Этот метод незаменим для исследования внутренней структуры материалов, идентификации кристаллических фаз и изучения дефектов кристаллической решетки. Высокое разрешение ТЭМ позволяет визуализировать отдельные атомы и изучать их расположение в кристаллической решетке. Однако, подготовка образцов для ТЭМ – сложная и трудоемкая процедура, требующая изготовления очень тонких срезов. Кроме того, работа с ТЭМ требует высокой квалификации персонала.

Механические методы, например, атомно-силовая микроскопия (АСМ), основаны на использовании зонда, взаимодействующего с поверхностью образца. АСМ позволяет получать изображения поверхности с высоким разрешением, а также проводить локальные измерения механических свойств материала.

В заключение, выбор метода координатных измерений в микро- и наномасштабах зависит от конкретных требований к точности, разрешению, скорости и вида исследуемого объекта. Часто для получения полной информации о образце используется комбинация различных методов, позволяющая получить более полную и достоверную картину.

Литература

1. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. – Институт физики микроструктур РАН. – Нижний Новгород, 2004. – 110 с

681.2.082

БЮДЖЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДИАПАЗОНА СВЧ

Студент гр. 11305123 Маркович П. Л.
Кандидат. техн. наук, доцент Тебекин В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Определение параметров нагрузок в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) является важной задачей на всех этапах жизненного цикла составных частей радиотехнических изделий. Измерения значений комплексных параметров (коэффициента отражения, сопротивления нагрузки) и действительных параметров (коэффициента стоячей (бегущей) волны) проводятся как экспериментальные на этапе проектирования в рамках опытно-конструкторских работ, так и как контрольные на тапе производства и дальнейшего технического обслуживания.

При этом используются различные средства измерений, стоимость приобретения которых и дальнейшего метрологического контроля прямопропорциональна их функциональным и точностным возможностям. Потому доступным достаточно надежным и обеспечивающим требуемую точность среством измерения является широко применяемая измерительная линия.

Измерительная линия – устройство, принцип действия которого основан на получении данных из вида распределения электрической и магнитной компонент электромагнитного поля вдоль нагруженной линии передачи СВЧ определенного типа.

Конструкция данного средства измерения принципиально состоит из механических и электрических частей. Механические устройства обеспечивают перемещение измерительного зонда вдоль линии с наименьшим проявлением эффекта механического гистерезиса, настройку требуемых размеров резонаторных камер на заданную частоту и регулировку чувствительности путем изменения размеров зонда. Электрическая часть включает источник электромагнитного излучения детекторный диод, сила тока в котором пропорциональна величине амплитуды колебания электрического поля, и измерительный прибор для определения величины создаваемого тока.

Таким образом, неопределенность измерения заданного параметра зависит от величины погрешностей теплотехнических и электрических измерений. Бюджет неопределенности при этом составляют:

– нестабильность амплитуды и частоты источника излучения за время измерения;

– нестабильность параметров нагрузки за время измерения (изменение электрических параметров, надежность соединения);

– нестабильность параметров нагрузки короткого замыкания, обеспечивающей режим стоячих волн (изменение проводящего слоя, погрешность линейного размера, надежность соединения);

– погрешность измерения координаты зонда при движении вдоль линии;

– нестабильность распределения электрического поля вдоль линии передачи, вызванная вторичными отражениями измерительного зонда, пропорциональными длине зонда;

– точность калибровки вольтамперной характеристики измерительного диода;

– погрешность прибора, измеряющего ток в диапазоне микроампер;

– температурный режим, влияющий на линейные размеры линии и, соответственно, на связанное с ними распределение поля;

– возможность проникновения в схему измерения электромагнитных полей от внешних источников излучения.

Указанный бюджет следует учитывать при обосновании точности результатов измерений, а также при обеспечении условий измерений, исключающих ряд факторов или сводящих их влияние к минимальному.

Литература

1. Ефремова, Н. Ю. Оценка неопределенности в измерениях / Н. Ю. Ефремова – Минск: БелГИМ, 2003. – 50с.

2. Заяц, Н. И. Оценка неопределенности измерений / Н. И. Заяц, О. В. Стасевич. – Минск: БГТУ, 2012. – 91 с.

УДК 535.6.08.004.932

ОБЗОР НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Студент гр. 11311121 Олифер В. А.
Кандидат техн. наук, доцент Савкова Е. Н.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Внедрение технологий искусственного интелекта в различные сферы деятельности людей, народное хозяйство, гуманитарные и естественные науки обуславливает актуальность проработки его нормативной базы как междисциплинарной области, которая опирается на информатику, науку о данных, естественные и гуманитарные науки, математику, общественные и другие науки. Искусственный интеллект становится одним из преспективных и важных направлением информационных технологий. Стандартизированные концепции и терминология необходимы заинтересованным сторонам для лучшего понимания и принятия технологии более широкой аудиторией.

Искусственный интеллект (ИИ) – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека [1].

На сегодняшний день актуальными нормативными документами в области искусственного интеллекта и нейросетей являются: ГОСТ Р 71476–2024 (ISO/IEC 22989: 2022), ГОСТ Р 59277–2020, ГОСТ Р 70462.1–2022 / ISO/IEC TR 2402 24029-1–2021, ГОСТР ISO/IEC 24029-2–2024, ГОСТ Р 57700.36–2021, ГОСТ Р 70321.2–2022, ГОСТ Р 70321.1–2022, ГОСТ Р 70247–2022, ГОСТ Р 70246–2022.

Фундаментальными нормативными документами являются: ISO 16439:2014 Информация и документация. Методы и процедуры оценки воздействия библиотек (Information and documentation – Methods and procedures for assessing the impact of libraries), ISO/IEC TR 24027:2021 Информационные технологии. Искусственный интеллект (ИИ). Смещенность в системах ИИ и при принятии решений с помощью искусственного интеллекта (Information technology – Artificial intelligence (Al) – Bias in Al systems and Al aided decision making), ISO/IEC TR 24028:2020 Информационные технологии. Искусственный интеллект. Обзор достоверности систем искусственного интеллекта (Information technology – Artificial intelligence) [2].

ГОСТ Р 71476–2024 (ISO/IEC 22989: 2022) устанавливает основные термины и определения, понятия искусственного интеллекта, описывает модель жизненного цикла системы ИИ. В нормативном документе приводится обзор системы ИИ с функциональной точки зрения: система ИИ определяется как техническая система, которая порождает такие конечные результаты, как контент, прогнозы, рекомендации или решения для заданного набора определенных человеком целей.

ГОСТ Р 59277 2020 устанавливает принципов классификации систем искусственного интеллекта (ССИ).

ГОСТ Р 57700.36–2021 устанавливает рекомендуемые требования к программному обеспечению (ПО), используемому при тестировании производительности [3].

Остается окрытыми вопросы законодательсва. В СМИ говорится, что повсеместо используется ИИ поскольку он ускоряет процессы принятие решение и обработки данных. С другой стороны, в некоторых сферах запрещают использование ИИ в написанние научных трудов и статей.

Литература

1. ГОСТ Р 59277–2020 Классификация систем искусственного интеллекта.
2. ГОСТ Р 71476–2024 (ISO/IEC 22989: 2022) Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта.
3. Харбанс, Р. Грокаем алгоритмы искусственного интеллекта / Р. Харбанс. – Санкт-Петербург: Питер, 2023. – 368 с.

УДК 664.0:658.562:006.83

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ПИШЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ОАО «КРИНИЦА»

Студент гр. 11305121 Пряник И.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Совершенствование системы менеджмента безопасности пищевой продукции для предприятия ОАО «КРИНИЦА» в соответствии со стандартом СТБ ISO 22000-2020 [1] требует комплексного подхода, сочетающего современные технологии, управление рисками, развитие персонала и интеграцию процессов.

Отдел службы качества на предприятии ОАО «КРИНИЦА», играет ключевую роль в обеспечении безопасности и соответствия продукции установленным стандартам. Ее задачи охватывают весь производственный цикл – от контроля входящего сырья до анализа готовой продукции.

Однако, при анализе выявлены системные пробелы в работе системы менеджмента безопасности пищевой продукции (далее – СМБПП), не соответствующие требованиям СТБ ISO 22000-2020, которые напрямую влияют на безопасность продукции, репутацию компании и ее конкурентоспособность.

Ключевые проблемы включают:

1) отсутствие прослеживаемости на всех этапах цепочки поставок – от сырья до готовой продукции;

2) недостаточный анализ и управление рисками, включая не учтенные критические контрольные точки (ККТ);

3) неэффективная программа аудитов, отсутствие четких критериев, периодичности и инструментов для оценки соответствия.

Предлагаемые меры для совершенствования СМБПП:

Внедрение системы прослеживаемости, включающей внедрение блокчейн-платформ для фиксации данных о происхождении сырья, условиях хранения и транспортировки, использование QR-кодов на упаковке, позволяющих клиентам и контролирующим органам получать полную информацию о продукте.

Систематизация управления рисками, предусматривающую внедрение методов FMEA, проведение анализа рисков для всех этапов производства, определение и документирование критических контрольных точек с установкой предельных значений.

Разработку актуальной программы аудитов, включающей:

Создание регламента аудитов: четкое планирование периодичности (ежеквартальные внутренние аудиты, ежегодные – с привлечением сторонних экспертов), внедрение цифровых чеклистов в мобильных приложениях для фиксации результатов проверок, KPI для аудитов и др.

Обучение аудиторов и другого персонала, включающей тренинги по методам документирования и работе с цифровыми инструментами, работа с IoT-датчиками, действия при выявлении несоответствий.

4) Интеграцию СМБПП с системами менеджмента качества и окружающей среды, включающей совместный анализ данных о браке и отходах для оптимизации процессов, внедрение единой цифровой платформы (например, SAP) для управления документацией, рисками и аудитами.

Таким образом, все вышеперечисленные меры улучшения для ОАО «КРИНИЦА» позволят обеспечить соответствие международным стандартам, укреплть репутацию надежного производителя, повысить лояльность клиентов и открыть новые рынки сбыта.

Литература

1. СТБ ISO 22000-2020 Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в пищевой цепи. – Минск: БелГИСС. – 2020. – 40с.

УДК 351.824

КОНТРОЛЬНАЯ (НАДЗОРНАЯ) ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА РЫНКАХ

Магистрант Рутковская Е. Н.
Кандидат техн. наук Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Обеспечение качества и безопасности выпускаемой в обращение продукции в Республике Беларусь является приоритетной задачей для контролирующих органов.

В настоящее время контрольная надзорная деятельность осуществляется на основании Указа Президента Республики Беларусь от 16 октября 2009 г. № 510 «О совершенствовании контрольной (надзорной) деятельности в Республике Беларусь» [1].

В соответствии с вышеуказанным документом государственный контроль (надзор) осуществляется в формах: выборочных проверок; внеплановых проверок; мероприятий технического (технологического, поверочного) характера; мер профилактического и предупредительного характера.

Контролирующий (надзорный) орган вправе проводить проверку, если этот орган включен в перечень контролирующих (надзорных) органов, уполномоченных проводить проверки, и сфер их контрольной (надзорной) деятельности, утверждаемый [1].

Контрольная (надзорная) деятельность осуществляется с использованием мер профилактического и предупредительного характера, реализуемых контролирующими (надзорными) органами во взаимодействии с субъектами, подлежащими контролю (надзору), в том числе путем: проведения мониторинга, направления рекомендаций по устранению и недопущению недостатков, выявленных в результате мониторинга; проведения разъяснительной работы о порядке соблюдения требований законодательства, применения его положений на практике; информирования субъектов (включая использование средств глобальной компьютерной сети Интернет, средств массовой информации) о типичных нарушениях, выявляемых в ходе проверок контролирующими (надзорными) органами; проведения семинаров, круглых столов и другого.

По совершенствованию контрольной и надзорной деятельности на рынках рекомендуется следующее:

1) смещение акцента на профилактику: важным аспектом совершенствования контрольной и надзорной деятельности является переход от карательных мер к профилактическим. Это включает в себя проведение разъяснительной работы с субъектами рынка, обучение и консультирование, что способствует снижению уровня правосознания;

2) отимизация процедур проверок: для уменьшения административной нагрузки на бизнес необходимо сократить количество внеплановых проверок и упростить процедуры плановых проверок. Это может быть достигнуто через внедрения риск-ориентированного подхода, при котором проверки проводятся только в отношении субъектов с высоким уровнем риска;

3) использование современных технологий: внедрение цифровых инструментов и автоматизация процессов контроля позволяют повысить эффективность прозрачность надзорной деятельности. Это включает в себя использование электронных систем для подачи отчетности, мониторинга и анализа данных, внедрение мобильных приложений для проведения проверок;

4) повышения квалификации контролирующих органов: регулярное обучение и повышение квалификации сотрудников контролирующих органов способствует улучшению качества проверок и снижению коррупционных рисков;

5) противодействие коррупции: цифровизация административных процедур и контрольно-надзорной деятельности помогает снизить уровень коррупции за счет своей прозрачности и автоматизации процессов.

Эти примеры помогут создать более благоприятные условия для ведения бизнеса и повысить доверие к контролирующим органам.

Литература

1. Указ Президента Республики Беларусь от 16 октября 2009 г. № 510 «О совершенствовании контрольной (надзорной) деятельности в Республике Беларусь».

УДК 621.791

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Студент гр. 11305122 Селятыцкий А. А.
Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С., кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Межповерочный интервал (МПИ) является важнейшей характеристикой метрологической надежности средств измерений (СИ), которую в сфере законодательной метрологии контролирует Госстандарт Республики Беларусь в соответствии с законом об обеспечении единства измерения. Методика и порядок определения и корректировки МПИ регламентирован, основан на теории метрологической надежности СИ Фридмана [1, 2].

Производитель, прежде чем заявлять СИ на корректировку МПИ в органы государственной метрологической службы, должен убедиться в том, что действительное значение МПИ больше или меньше установленного значения. В докладе приведен анализ недостатков существующей методики пересмотра МПИ и предложена альтернативная методика, в основу которой положены методы статистического анализа. Методика включает следующие этапы:

1. Проверка гипотезы о нормальном распределении наблюдаемых результатов поверок и скорости изменения погрешности СИ.

2. Определение основных метрологических характеристик (МХ) СИ: основной систематической погрешности x и ее СКО (расширенной неопределенности) s.

3. Моделирование дрейфа МХ СИ. Модель аппроксимации дрейфа МХ СИ включает:

3.1. Формирование модели дрейфа x в подконтрольной выборке СИ (рис. 1):

$$m(t) = x + \Delta x\, t. \qquad (1)$$

3.2. Формирование модели дрейфа расширенной неопределенности систематической погрешности СИ ($\pm 3\delta$, $P = 0{,}99$), (рисунок 1):

$$V(t) = k\, s \exp(t\, \lambda). \qquad (2)$$

3.3. Определение МПИ СИ. Как следует из рис. 1, МПИ СИ соответствует ближайшей точке пересечения одной из кривых *4* или *5* с линиями пределов основной погрешности СИ $\pm\Delta$.

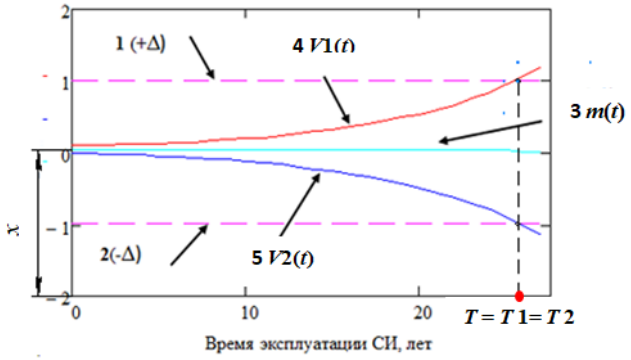


Рис. 1. Дрейф МХ подконтрольной выборки СИ во времени:*1, 2* – пределы допустимой погрешности СИ ($\pm\Delta$); *3* – линейная аппроксимация относительной систематической погрешности $m(t)$; *4, 5* – верхняя $V_1(t)$ и нижняя $V_2(t)$ границы неопределенности $m(t)$, T – интервал времени МПИ

Полученные данные в результате использования альтернативной методики, показывают меньшие показатели МПИ, в сравнении с основной методикой определения МПИ [1]. Что в свою очередь существенно снижает риск потребителя.

Литература

1. РМГ 74-2004 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения МПИ СИ.

2. Фридман, А. Э. Основы метрологии: современный курс / А. Э. Фридман. – СПб: Профессионал, 2008. – 279 с.

УДК 658.562

МИНИМИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ

Студент гр. 11305122 Селятыцкий А. А.
Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С., кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Буквально все модели оценивания в области метрологии основаны на положениях теории вероятности и математической статистики: оценки погрешности СИ, оценки межповерочного интервала СИ, оценки смещения, прецизионности, неопределенности метода измерений, оценки функционирования лабораторий в рамках проверки квалификации и т. д.

При этом расчетный параметр y рассматривается как интегральная случайная величина, полученная в результате комплексирования влияющих на нее случайных величин x_1. Комплексирование вовлеченных в процесс измерения случайных величин производится в соответствии с центральной предельной теоремой, ключевым моментом которой является нормальный закон распределения входных величин.

В докладе рассмотрен случай, когда входные величины x_i, оцениваются эмпирически (по типу А, [1]). Наличие массива экспериментальных данных x_i позволяет определить ряд статистик, которые могут способствовать приемлемому оцениванию закона распределения величины x_i: математическое ожидание x_{i0}, стандартное отклонение $\sigma(x_i)$ или его оценка $s\ (x_i)$, гистограмма и т. д.

В докладе обоснован оригинальный подход к оцениванию закона распределения величины x_i (рис. 1). В основе его положен визуальный метод сравнения гистограммы эмпирического распределения значений массива *xi* (1) с теоретической кривой нормального распределения (2), причем такой, что $s\ (xi) = \sigma_{теор}$ (в количественном смысле).

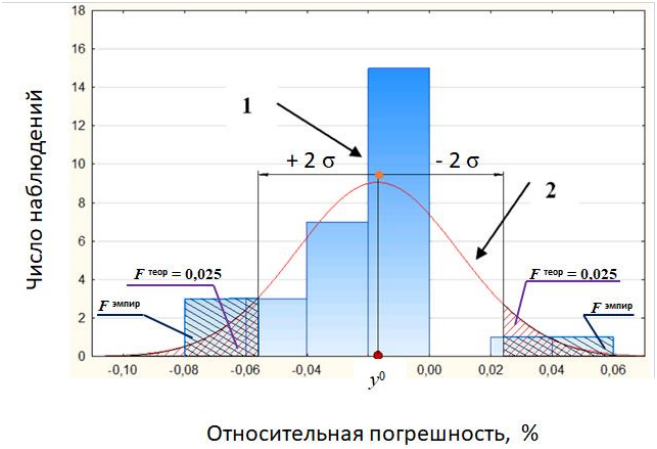


Рис. 1. Плотность распределения (эмпирического – *1* и теоретического нормального – *2*) относительной погрешности СИ по результатам поверки

Рассмотрен случай, когда гистограмма эмпирического распределения значений xi и теоретическая кривая нормального распределения условно симметричны. Если выделить площади фрагмента гистограммы $F_{эмпир}$ и теоретической кривой $F_{теор}$, выходящие за пределы $\pm 2\ \sigma_{теор}$, то вероятностью 0,95 можно утверждать, что при соблюдении с слева и справа условия $F_{эмпир} < F_{теор}$ гистограмма эмпирического распределения значений x_i имеет распределение, близкое к нормальному, а эмпирическая оценка $s\ (x_i)$ является оценкой «сверху» σтеор в качественном смысле.

Т. е. имеем массив значений величины x_i, распределенных по нормальному закону со стандартным отклонением $s\ (x_i)$, которое в дальнейшем можно использовать в модели оценивания.

Литература

1. ГОСТ 34100.1-2017/ ISO/IEC Guide 98-1/ 2009. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения. – Мн.: Госстандарт, 2017. – 28 с.

2. ГОСТ 34100.3-2017/ ISO/IEC Guide 98-3/ 2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – Мн.: Госстандарт. 2018. – 110 с.

УДК 681

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IoT И ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Студент гр. 11305122 Селятыцкий А. А., Кубрин Д. С.
Ст. преподаватель Гомма М. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

С каждым годом все интенсивнее развивается область IT, не только в виде самостоятельной сферы деятельности, но и в виде проявления их в отдельных отраслях. В производстве все чаще можно встретить проявление IT в независимости от видов и процессов производства. В частности это проявляется в области технического контроля за счет оптимизации данных новыми способами и вмешательством научного прогресса. В свою очередь в процессе координатных измерений это проявляется в виде улучшения, как самих средств измерения, так и средств передачи информации. На сегодняшний день все чаще можно встретить средства измерения использующие функции IoT с возможностями облачных технологий. Не обошло стороной это обновление и деятельность координатно-измерительных машин. Оценка объекта измерения с помощью КИМ в первую очередь заключается в получении исходных данных объекта измерения (модели).

Уже на этом этапе возможно вмешательство IoT технологий. Так передача модели через IoT уменьшает затраченное время, из-за быстрой передачи данных устройствам находящимся в одной сети. А использование при этом электронной подписи, показывает их достоверность.

Исходя из полученных данных, требуется выбрать метод измерения для дальнейшей оценки объекта измерения. Использование методик измерения в одном облачном хранилище позволит эффективному и экономичному использованию времени для выбора того или иного метода. Во время самого процесса измерения, использование IoT-датчики позволяет получить информацию о факторах окружающей среды, влияющих на координатное измерение, в режиме реального времени. А также отслеживать характеристики координатно-измерительной машины в процессе измерения.

Использование облачных технологий для хранения и передачи результатов измерения позволяет уберечь данные при неисправности одного из устройств, без вреда для всего процесса. Анализировать их «напрямую», с любого устройства вне зависимости от расстояния, а также дальнейшую передачу результатов измерения пользователю, без вмешательства иных устройст предвещающих кражу данных.

Взаимодействие КИМ и IoT дает не только новые возможности, но и открывает новые направления использования КИМ. Так уже сейчас начинают внедряться автономные роботизированные КИМ-системы, в частности автономные дроны с лазерными сканерами. А на стадии активных исследований находятся взаимодействие IoT с квантовой метрологией. Квантовые сенсоры интегрированные с IoT, использующие квантовые технологии для повышения точности измерения, могут фиксировать изменения на уровне атома.

Предприятия активно использующие IoT и облачные технологии усиливают свой потенциал и эффективность, а также уменьшают длительность процессов измерения. Это приносит ощутимую экономическую пользу предприятию.

Литература

1. Андреев, Ю. С. Промышленный интернет вещей / Ю. С. Андреев, С. Д. Третьяков. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 54 с.

2. Глушак, Е. В. Введение в Интернет вещей: учебное пособие / Е. В. Глушак, А. В. Куприянов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023 – 104 с.

3. Петров, В. Ю. Технология «Интернет вещей» как перспективная современная информационная технология / В. Ю. Петров, Е. А. Рудашевская // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 9–2. – С. 471–476.

УДК 621.791

РАЗВИТИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Студент гр. 11305122 Селятыцкий А. А.
Кадидат техн. наук, доцент Гуревич В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Измерительные системы (ИС) являются разновидностью средств измерений [1], реализуют стратегию, как правило, прямых измерений и по существу обеспечивают автоматизацию процессов измерений, обработки и отображения результатов измерений. На них распространяются все требования к метрологической оценке с некоторыми дополнительными особенностями, в частности с их многоканальностью и многофакторностью измеряемых величин, относящихся к различным видам измерений.

Современные автоматические системы управления технологическими процессами представляют собой технические объекты, которые по объему выполняемых функций, конструктивным особенностям, числу элементов и другим свойствам (наличие иерархической структуры, свойства эмерджентности и т. п.) относятся к классу сложных производственно-технологических систем, в которые встраиваются ИС.

В настоящее время технологии математического моделирования стали мощным дополнением к традиционным методам измерений. Установление взаимосвязей между входными данными технологического процесса и выходными переменными (цифровой двойник технологического процесса) позволяет описать его поведение и, в частности, рассчитать выходные показатели путем применения методов математического моделирования для прогнозирования выходных переменных, которые представляют собой результат косвенных измерений.

Решение подобных задач реализуется при помощи предиктивных автоматических измерительных систем (ПАИС), которые реализуют метод косвенных измерений. Исходные данные в ПАИС поступают от датчиков автоматической системы управления технологическим процессом предприятия, результаты измерений получают на основании расчета с применением математических моделей, которые могут представлять, как причинно-следственную зависимость, так и корреляционное отношение. Причинно-следственные модели разрабатывают на основе физико-химических закономерностях процессов. Эмпирические модели основаны на статистических корреляциях между переменными процесса и выходными параметрами, в том числе полученные методами множественной регрессии с использованием элементов искусственного интеллекта (нейросетевые модели) с оптимизацией модели в процессе обучения путем сравнения результатов расчета с результатами прямых измерений.

ПАИС получили распостранение при мониторинге и контроле загрязнения окружающей среды [2]. К ним, например, относятся системы предиктивного мониторинга выбросов на предприятиях химической промышленности, которые опираются на модели, позволяющие на основе технологических данных (таких как расход топлива, давление, температура и т. д.) с высокой точностью прогнозировать концентрации загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу.

Таким образом, ПАИС имеют высокий потенциал и могут рассматриваться как эффективное дополнение к инструментальному контролю. Базовое определение ИС, установленное в различных ТНПА, например [3], должно получить развитие на основе нового классификационного признака, предусматривающего получение результата измерений расчетным методом, описывающим поведение технологического процесса.

Литература

1. Дойников, А. С. Лекции по метрологии. – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2018. – 292 с.

2. Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Общие технические требования: ГОСТ Р 70803–2023. – Введ. 01.11.2023. – Москва: ФГБУ «Институт стандартизации», 2023. – 20 с.

3. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения: РМГ 29-2013. – Введ. 01.03.2019. – Мн.: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2019. – 60 с.

УДК 303.2

РОЛЬ ВЕРИФИКАЦИИ И ВАЛИДАЦИИ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Студент гр. 11305121 Сенюта В. В.
Д-р. техн. наук, профессор Соломахо В. Л.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современная промышленность развивается в контексте Индустрии 4.0, что предполагает новый подход к производству, внедрение информационных технологий и появление новых специфических измерительных задач. Основной метрологической задачей является обеспечение единства измерений. Для обеспечения единства измерений необходимо использование допустимых единиц величин, установление метрологической прослеживаемости, и показатели точности должны находиться в установленных границах с заданной вероятностью, а значит определены с заданной точностью [1].

Для того, чтобы описать понятие «точность», согласно стандарту СТБ ИСО 5725-1–2002, используется два термина: «правильность» и «прецезионность» [2]. Следовательно, структуру точности можно рассмотреть следующим образом (табл. 1).

Таблица 1 – Структура точности

Точность		
Правильность	Прецизионность	
	Повторяемость (Условия: один метод; идентичные образцы; одна лаборатория; один оператор; одно оборудование; короткий интервал времени)	Сходимость (Условия: один метод; идентичные образцы; разные лаборатории; разные операторы; различное оборудование)

Одним из инструментов обеспечения точночти с точки зрения метрологии является процедура калибровки, которая подразумевает установление метрологических характеристик средств измерний. И для того, чтобы данная процедура позволяла обеспечить единство измерений, методику калибровки необходимо валидировать.

Верификация – предоставление объективных свидетельств того, что данный объект соответствует установленным требованиям. Валидация – верификация, при которой установленные требования связаны с предполагаемым использованием. В данном случае под «объектом» будем рассматривать методику измерения, в частности методику калибровки. Верификация используется при оценке пригодности использования стандартизованных методик, а валидация – для вновь разработанных. Требования к методикам измерений устанавливаются через рабочие характеристики. Определяя рабочие характеристики методики измерений и сравнивая их с требованиями к ним, разработчик подтверждает соответствие методики измерений своему назначению (валидация) или пользователь подтверждает соответствие этим требованиям (верификация). В перечень рабочих характеристик в том числе входят показатели точности, и, следовательно, верификация и валидация методик измерения позволяют продемонстрировать достижение правильности и прецизионности измерений, а значит и необходимой точности измерений [3].

Таким образом роль верификации и валидации методик измерения в обеспеченинии единства измерений заключается в:

1) гарантировании проведения измерений с необходимой точностью и надежностью;
2) демонстрации прослеживаемости результатов измерений;
3) подтверждении сопоставимости результатов измерений;
4) формировании доверия заинтересованных сторон к результатм измерений.

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. № 3848-XII «Об обеспечении единства измерений» в редакции 27 декабря 2024 г.

2. СТБ ИСО 5725-1-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Общие принципы и определения»: дата введения 9 декабря 2002 г. – Минск : Госстандарт, 2002. – 20 с.

3. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» : дата введения 28 июня 2019 г. – Минск : Госстандарт, 2019. – 26 с.

УДК 338.3

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В БЕЛАРУСИ

Студент гр. 11305121 Троцкая А. Э.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Бережливое производство: БП (lean production): Концепция организации бизнеса, ориентированная на создание привлекательной ценности для потребителя путем формирования непрерывного потока создания ценности с охватом всех процессов организации и их постоянного совершенствования через вовлечение персонала и устранение всех видов потерь [1].

Как показывает зарубежный опыт внедрения бережливого производства, основные проблемы внедрения связаны с отсутсвием комплексного подхода, высоким давлением руководства, спешкой при внедрении, недостаточным количеством ресурсов, отсутствии заинтересованности работников во внедрении.

Основной реакцией сотрудников, на внедрение является сопротивление новшествам, чувство угрозы и критика.



Рис. 1. Основная реакция сотрудников на внедрение бережливого производства.

Необходимо убедить сотрудников в полезности происходящего, ведь человек – важнейшее звено в цепи, обеспечивающей работу бережливого предприятия.

Среди ключевых направлений в экономике, в рамках пятилетки качества, обозначены существенный рост производительности труда, рациональное использование ресурсов, соответствие характеристик товаров (работ, услуг) растущим запросам потребителей, совершенствование контроля качества [2]. Все эти задачи сопряжены с бережливым призводством и его инструментами.

В целом предприятия, идущие по пути внедрения принципов и инструментов бережливого производства, при минимальных вложениях добиваются следующих результатов:

– увеличение производительности труда – до 70 %;
– рост качества – до 60 %;
– высвобождение производственных площадей – до 50 %;
– сокращение брака – в среднем на 65 %;
– сокращение сроков реализации инвестиционных проектов – до 20 % [3].

Литература

1. ГОСТ Р 56020-2020. Бережливое производство. Основные положения и словарь: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 01. 08.2021 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2020. – 16 с.

2. Указ Президента Республики Беларусь от 17 января 2025 г. № 31 «О пятилетке качества».

3. Вумек, Д. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Вумек Д., Джонс Д.; пер. с англ. – М: Альпина Бизнес Букс, 2016. – 473 с.

УДК 351.824

БЕЗОПАСНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ НА ОПТОВЫХ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ РЫНКАХ

Магистрант Фильченко Н. Т.
Кандидат техн. наук Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Важность оптовых продовольственных рынков заключается в том, что неравномерно заселенные районы страны, рассредоточенные производители – все это усложняет логистику и делает издержки более высокими.

Развитие оптовых продовольственных рынков позволяет мелким и средним субъектам хозяйствования, не имеющим возможность выйти непосредственно к изготовителю пищевой продукции, избежать обращение к длинным цепочкам посредников-оптовиков.

На сегодняшний день функционирование рынков, надзор за соблюдением требований безопасности реализуемой продукции, на всех этапах регулируется законодательством Республики Беларусь.

Так, постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10.12.2021 № 707 внесены изменения в Правила функционирования рынков, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 16.07.2014 № 686 [1], в соответствии с которым:

– продавцы, являющиеся юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, работники продавца обязаны соблюдать требования технических регламентов Республики Беларусь, Таможенного союза и Евразийского экономического союза, иных обязательных для соблюдения технических нормативных правовых актов;

– продавцы обязаны обеспечить наличие на каждом торговом месте разрешения лаборатории ветеринарно-санитарной экспертизы на продажу товаров, подлежащих экспертизе (ветеринарно-санитарному осмотру).

Администрации рынка обязана проводить мероприятия по ознакомлению продавцов с законодательством о защите прав потребителей, требованиями к маркировке товаров и санитарно-эпидемиологическими требованиями, требованиями ветеринарно-санитарных правил, измерений, первичных средств пожаротушения. Лаборатории ветеринарно-санитарной экспертизы, расположенные на рынках, обязаны выдавать разрешение на реализацию каждой партии продукции, поступающей на территорию рынка.

На сегодняшний день крупные оптовые продовольственные рынки являются звеном в торговой цепочке, где чаще всего выявляется небезопасная, фальсифицированная продукция, которая в дальнейшем распространяется по всей стране.

Несоблюдение возложенных обязательств со стороны как субъектов, осуществляющих деятельность на рынках, так и администрации, лаборатории рынка, приводит к систематическим нарушениям законодательства Республики Беларусь, что в свою очередь благоприятствует распространению опасной продукции.

Систематические проведения контролирующими органами надзорных мероприятий, применение мер в виде административной ответственности, штрафных санкций со стороны администрации рынков не дают должных результатов, что приводит к выводам о необходимости пересмотра обязанностей и ответственности, возложенных на администрацию, лабораторно-ветеринарные службы рынка, а также к сотрудничеству данных подразделений с надзорными органами, что позволит минимизировать реализацию некачественной продукции.

Заключение: в докладе будут представлены рекомендации по усовершенствованию законодательной базы в отношении оптовых продовольственных рынков, которые в дальнейшем могут быть использованы в работе надзорных государственных органов для контроля и недопущения реализации на рынках страны некачественной, запрещенной к ввозу продукции.

Литература

1. Изменения в Правилах функционирования рынков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ilex.by/news/izmeneniya-v-pravilah-funktsionirovaniya-rynkov-s-12-12-2021.

УДК 658.562

КОНЦЕПЦИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК СТУПЕНЬ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Магистрант гр. 7-06-0716-01 Фурс М. С.
Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Основные тенденции системного менеджмента предполагают его тесную интеграцию с концепцией бережливого производства как концепцией экономичного расходования ресурсов. При этом бережливое производство: интегрируется во все отрасли экономики; используется совместно с элементами менеджмента качества, формируя концепцию «рачительного производства»; все чаще рассматривается как самостоятельная система менеджмента.

Главной задачей концепции бережливого производства является налаживание процесса непрерывного устранения потерь, т. е. устранение любых действий в производстве, которые потребляют ресурсы, но не создают ценности для конечного потребителя.

Для решения задачи определения роли и места бережливого производства в системе менеджмента организации в докладе рассмотрены три варианта интеграции.

Первый вариант предполагает, что концепции бережливого производства и системного менеджмента качества выступают единым целым. Их интеграция неизбежно приводит к синергии усилий по их реализации и обеспечивают высокую результативность и эффективность СМК [1]. Второй вариант предполагает, что концепции бережливого производства в соответствии с ГОСТ Р 56404 рассматривается как самостоятельная целевая система менеджмента со всеми атрибутами [2]. Третий вариант заключается в следующем. В организации разрабатывается и внедряется интегрированная система менеджмента, которая включает несколько целевых систем менеджмента, включая систему менеджмента бережливого производства.

В докладе обоснована правомерность второго варианта. В основу доказательства положены определения понятий «результативность» и «эффективность» СМК. Показано, что СМК включает по классификационному признаку «цели» две подсистемы:

– подсистема менеджмента качества в соответствии с СТБ ISO 9001; цель – удовлетворенность потребителя, определяемая понятием «результативность»;

– подсистема менеджмента качества (бережливого производства) в соответствии с ГОСТ Р 56404; цель – минимизация затрат, определяема понятием «эффективность».

У первой подсистемы основная заинтересованная сторона – потребитель, у второй подсистемы – организация поставщик. Сделан вывод о том, что эти две подсистемы – части одного целого по целевому содержанию. В докладе сделан анализ организационно – технической основы эти двух подсистем. Показано, что у них один базис – модель сети процессов организации, необходимых для достижения целей результативности и эффективности. Доказано, что тезис о том, что только процессы производства являются потенциальными носителями избыточных затрат – неверен. В круг внимания подсистемы менеджмента бережливого производства должны быть включены все процессы, необходимые первой подсистеме в соответствии с СТБ ISO 9001. Приведено обоснование проектирования функциональных элементов подсистемы менеджмента бережливого производства по аналогии с проектированием первой подсистемы: целеполагание, сбор и анализ данных, поддержка принятия решений.

Сделан вывод, что концепцию бережливого производства следует рассматривать как следующую ступень ее эволюции СМК, позволяющий обеспечить устойчивое развитие организации в условиях постоянно меняющейся бизнес-среды.

Литература

1. Несиоловский, А. О. Об интеграции концепции «Бережливое производство» и стандартов ISO серии 9000 / А. О. Несиоловский // Методы менеджмента качества. – 2010. – № 2. – С. 9–10.

2. Мирошников, В. В. Объединение менеджмента бережливого производства с ИСМ / В. В. Мирошников, Т. Е. Мартокова // Компетентность. – 2016. – № 5. – С. 27–31.

3. СТБ ISO 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

4. ГОСТ Р 56404-2015 «Бережливое производство. Требования к системам менеджмента».

УДК 338.054.23

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ШЕСТЬ СИГМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ

Студент гр. 11305121 Хамко Ю.
Кандидат техн. наук, преподаватель Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

По мере того, как на рынке стало появляться все больше фирм, потребитель стал меньше сталкиваться с дефицитом товаров или услуг. Теперь все его потребности в количественном выражении могут быть удовлетворены множеством различных способ. Однако, это означает, что потребитель теперь вынужден уделять больше внимания непосредственно качеству товаров и услуг в связи с наличием огромного числа товаров-субститутов (аналогов). Исходя из этого широкое распространение получил менеджмент качества.

Менеджмент качества – это процесс последовательных действий по оценке и переработке информации о качестве, определению направлений управленческого вмешательства, принятию решений и контролю за их исполнением [1]. Существуют различные инструменты и техники менеджмента качества. Разработанная и применяемая ранее в производственных процессах начала внедрятся все больше в сферу услуг для повышения качества их оказания и удовлетворенности потребителей.

Методология «Шесть сигм» основана на применении статистических методов и инструментов для измерения, анализа и улучшения процессов. Данная методология позволяет сократить издержки, повысить эффективность, увеличить прибыль, а также повысить уровень удовлетворенности потребителя. Здесь можно выделить 5 этапов DMAIC: определение, измерение, анализ, улучшение и контроль. Таким образом, повышение качества услуг достигается за счет снижения количества дефектов, отклонений и ошибок.

Далеко не очевидным фактом стало использование методики DMAIC в здравоохранении. В одной из Американских клиник, где благодаря именно этому подходу значительно сократилось время ожидания пациентов на 19 % и снизилось количество пропущенных приемов на 25 %, за счет оптимизации процесса записи к специалисту [1].

Еще одним отличным примером стал Канадский Национальный банк, в котором грамотное внедрение инструментов концепции шесть сигм привело к снижению количества ошибок в транзакциях на 33 %, а время обработки заявок на 30 %. А следствием стало улучшение процесса обслуживания в общем, что значительно повысило удовлетворенность клиентов банка [2].

Общие показатели роста удовлетворенности потребителя в обеих сферах демонстрирует, что использование данной концепции приведет к значительным результатам. Успех идеи внедрения методологии «6 сигм», как инструмента повышения качества услуг зависит от вовлеченности персонала, мониторинга и анализа результатов, определения путей улучшения и планомерный контроль.

В настоящее время в Республики Беларусь ведется работа по внедрению бережливого производства, при этом данная концепция традиционно применяется к производству, офису или складу. В сфере услуг инструментов и техник, позволяющих снижать издержки и потери, соответственно, себестоимость услуг и повышать удовлетворенность потребителя, не так много. Считаем, что эта концепция – отличный инструмент для повышения конкурентоспособности на рынке услуг.

Литература

1. Электронная библиотека БГТУ: Менеджмент качества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/6970/1/dashkevich_menedzhment-kachestva.pdf.

2. Financial Transactions and Reports Analysis Centre of Canada [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fintrac-canafe.canada.ca/intro-eng.

УДК 658.511.1

ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ЛАБОРАТОРИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ОАО «АМКОДОР»

Студент гр. 11305121 Чабанова К. А.
Кандидат техн. наук, доцент Токарь О. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Известное белорусское предприятие ОАО «Амкодор» располагает лабораторией измерительной техники, которая в рамках работы предприятия решает следующие задачи:

– метрологическая оценка средств измерений, что включает в себя их поверку и калибровку для обеспечения точности, и надежности измерений;

– контроль метрологических характеристик различных средств измерений, что позволяет гарантировать соответствие установленным стандартам;

– аттестация испытательного оборудования, которая необходима для подтверждения его соответствия требованиям.

В результате анализа работы лаборатории выявлены некоторые проблемы:

1. Отсутствие аккредитации, что представляет собой серьезное препятствие для продуктивной деятельности лаборатории, снижает доверие со стороны клиентов и партнеров. Неаккредитованная лаборатория не может гарантировать соответствие своих результатов международным стандартам. Это также ограничивает участие в тендерах и контрактах, требующих аккредитации, что в свою очередь сужает рынок сбыта и уменьшает потенциальные доходы предприятия.

2. Устаревшее оборудование. Технический прогресс в области измерительных технологий движется стремительно и отсутствие современных средств измерений может привести к снижению точности и надежности результатов. Устаревшее оборудование требует частого ремонта и обслуживания, что увеличивает затраты и время простоя лаборатории.

В лаборатории как основной документ системы менеджмента качества действует руководящая методика РМ СМА П05-04–2021 (ранее действовал СТО СМК 7.6.0-01–2015).

Анализ документации и процессов системы менеджмента качества лаборатории указывает на необходимость ее улучшений в следующих аспектах:

1. Недостаточная интеграция современных методов управления качеством.

Несмотря на то, что лаборатория сертифицирована по СТБ ISO 9001–2015, сегодняшнее состояние системы требует более активного внедрения рискориентированного подхода и инструментов анализа причин несоответствий.

2. Обновление оборудования и автоматизация.

Для повышения точности и надежности измерений необходимо обновление технической базы лаборатории, включая внедрение более современных средств измерений и автоматизации процессов контроля качества.

3. Адаптация к международным стандартам.

Хотя лаборатория аккредитована в соответствии с СТБ ISO 9001, требуется дальнейшая гармонизация процессов с международными стандартами, чтобы повысить доверие к результатам ее работы со стороны зарубежных клиентов и партнеров.

4. Систематический мониторинга удовлетворенности клиентов.

Недостаточное внимание уделяется обратной связи с внутренними и внешними заказчиками, что может приводить к несоответствиям между ожиданиями клиентов и фактическим качеством предоставляемых услуг.

Анализ результатов аудита системы менеджмента качества лаборатории позволил сформулировать ключевое замечание: средства измерения необходимо сдавать на государственную поверку не менее чем за месяц до истечения срока их действия. Это требование обусловлено необходимостью учета рисков и предотвращения простоя оборудования, что критически важно для поддержания непрерывности производственных процессов.

Проектирование инженерной составляющей системы менеджмента качества лаборатории как комплекса моделей позволит выявить и наметить пути устранения ключевых проблем, связанных с эффективностью работы лаборатории и качеством предоставляемых ею услуг.

УДК 658.511.1

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОАО «МЗКТ»

Студент гр. 11305121 Черник М. О.
Кандидат. техн. наук, доцент Токарь О. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Минский завод колесных тягачей – флагман белорусского машиностроения, занимающий лидирующие позиции в производстве разнообразной автомобильной техники и специальных колесных шасси, охватывающей от автобусов до строительной и специальной военной техники. Продукция ОАО «МЗКТ» славится своей надежностью и активно эксплуатируются как в странах постсоветского пространства, так и за рубежом, что является свидетельством высокого уровня качества белорусского машиностроения.

Система менеджмента качества на предприятии ОАО «МЗКТ» представляет собой комплекс организационных, технических и управленческих мероприятий, направленных на обеспечение соответствия продукции и услуг требованиям заказчиков, а также улучшения их качества. Система менеджмента качества, используемая для разработки, производства, обслуживания колесных транспортных средств общего и специального назначения, включая их компоненты, соответствует стандарту СТБ ISO 9001–2015.

На основании наблюдений за ходом процессов, а также опросов сотрудников предприятия и специалистов службы по качеству выявлены проблемы, которые можно тезисно сформулировать следующим образом.

Одной из проблем системы менеджмента качества является непонимание многими сотрудниками и даже руководителями отделов того, что именно требуется от них согласно требованиям ISO 9001. Это приводит к ошибкам в распределении ответственности и неправильной интерпретации требований.

Следующей проблемой системы менеджмента качества на предприятии является недостаточное понимания ее важности сотрудниками, которые рассматривают ее как формальность. После изучения документации выявлено, что корни данной проблемы лежат в неэффективности документации по качеству, которые часто бывают сложными, чрезмерно детализированными или недоступными для сотрудников. Решению этих проблем может способствовать декомпозиция процессов на базе методологии функционального моделирования IDEF0.

С помощью анализа сети процессов системы менеджмента качества и изучения потоков работ можно выявить аспекты, которые помогут повысить эффективность работы предприятия. Установлены основные области, на которые должно быть направлено внимание:

1) управление качеством:
– определение точек, где могут возникать дефекты или отклонения от стандартов;
– анализ причин несоответствия и повторяющихся проблем;
– построение системы обратной связи для быстрого реагирования на ошибки;
2) риски и управление рисками:
– идентификация потенциальных рисков в процессах;
– оценка вероятности и последствий различных негативных событий;
– разработка реестра рисков;
3) соблюдение нормативных требований:
– проверка соответствия процессов стандартам, законодательству или внутренним регламентам;
– выявления процессов, нуждающихся в дополнительной документации или сертификации;
4) стратегическое планирование:
– определение приоритетных направлений развития предприятия;
– анализ способности текущих процессов адаптироваться к изменениям рынка и технологий;
– выстраивание долгосрочных целей на основе анализа процессов.

Построение сети процессов и потоков позволит получить комплексное представление о том, как работает предприятие, и какие шаги необходимы для совершенствования его деятельности.

УДК 778.14

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПОРТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Студенты гр. 11305123 Шаститко Т. Р., Колосовский В. С.
Кандидат техн. наук, доцент Давыдова Е. А.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время вопросы обеспечения безопасности организации и проведения спортивных мероприятий все в большей мере становятся объектом научных исследований. Они с определенной долей достоверности подтверждают, что спортивная сфера человеческой деятельности предполагает нормативную регламентацию, адекватную той роли, которую спорт занимает в жизни общества. Деятельность по обеспечению безопасности организации и проведения спортивных мероприятий требует нормативного регулирования как на международном, так и на национальном уровнях.

В Государственной программе «Физическая культура и спорт» на 2021–2025 годы одним из основных направлений государственной политики в сфере физической культуры и спорта является обеспечение безопасности при проведении физкультурно-оздоровительных, спортивно-массовых и спортивных мероприятий.

Вопрос обеспечения безопасности возник еще на Олимпийских играх, проводимых в античные времена. В Олимпии на время игр провозглашался олимпийский мир. Города-государства, входившие в олимпийскую общину, обещали обеспечивать неприкосновенность культурных и спортивных сооружений и всех участников соревнований, зрителей и высокопоставленных лиц минимум на три месяца и гарантировали беспрепятственный въезд и выезд из страны.

Для современного спортивного движения большую актуальность представляет проблема крупных трагедий на спортивных аренах. В настоящее время, когда с терроризмом и экстремизмом мы сталкивается практически ежедневно, безопасность спортивных объектов является одной из приоритетных задач при подготовке и проведении спортивных мероприятий.

Указанная проблема требует, во-первых, нормативно-правовой проработки вопросов, связанных с усилением акцента на безопасность при проектировании, строительстве и оборудовании спортивных сооружений и других спортивных объектов; во-вторых, нормативно-правового разрешения проблем, связанных с обеспечением безопасности и правопорядка на спортивных соревнованиях.

Анализ проводится на основе международных стандартов, таких как ISO 45001:2018, а также Постановлений Совета Министров Республики Беларусь: от 19 сентября 2014 г. № 903 «О проведении на территории Республики Беларусь спортивно-массовых мероприятий» [2] и от 19 сентября 2014 г. № 902 «О проведении на территории Республики Беларусь спортивных мероприятий» [3]. Требования к безопасному проведению спортивных мероприятий также установлены в ГОСТ Р 12.0.006–2002, СТБ 1900-2008, СТБ 1944-2009, ТКП 45-1.01-4–2005 (02250), ГОСТ Р 55529–2013 и других технических нормативно-правовых актах.

Согласно выбранной цели необходимо изучить динамику развития нормативной базы системы безопасности в спорте; рассмотреть правовые основы и проблемы менеджмента безопасности при проведении спортивных мероприятий; определить пути улучшения системы обеспечения безопасности при проведении массовых спортивных мероприятий в Республике Беларусь; разработать систему стандартизации безопасности и качества объектов спорта, привести ее в соответствие с международными требованиями. Разработка национального стандарта, устанавливающего требования к системам менеджмента безопасности при проведении спортивных мероприятий является актуальной задачей.

Литература

1. Зуев, В. Н. Управление системой спортивных соревнований / В. Н. Зуев. – М.: Физкультура и спорт, 2009. – 135 с.

2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 сентября 2014 г. № 903 «О проведении на территории Республики Беларусь спортивно-массовых мероприятий».

3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 сентября 2014 г. № 902 «О проведении на территории Республики Беларусь спортивных мероприятий».

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Dipak P. Patil, Tushar H. Jaware ADVANCED SENSOR-BASED SYSTEM FOR SOIL NUTRIENT ANALYSIS AND AI-DRIVEN CROP RECOMMENDATION 5

Dzapasi T. D., Duri R., Tyavlovsky A. K. ADAPTIVE REINFORCEMENT LEARNING STRATEGIES FOR EFFICIENT PARKING SPACE MANAGEMENT IN FULLY AUTOMATED MULTI-LEVEL PARKING SYSTEMS 7

Garikayi S., Magidi S., Musiiwa B. A NOVEL FILTER BANK DESIGN FOR ENHANCED RADIO FREQUENCY (RF) HARVESTING AND ENERGY SYNTHESIS 7

Gweshei C. K., Chimonyo K. B. DESIGN AND DEVELOPMENT OF LOW COST IOT BASED SENSOR NETWORK FOR ENVIRONMENTAL MONITORING. A TECHNICAL ANALYSIS 8

Makumbe T. R., Makusha D. T. THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION 9

Malindi S. N., Kuno V., Pantsialeyeu K. U. HYBRID PREDICTIVE MAINTENANCE FOR ELECTRIC MOTOR BEARINGS: INTEGRATING MACHINE LEARNING AND PHYSICS-BASED MODELS 10

Manzungu Z., Kuno V., Vorobey R. I. MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR ENHANCING THE EFFICIENCY OF ORGANIC RANKINE CYCLE SYSTEMS 11

Marozva M., Rushambwa M., Palaniappan R. AI BASED PREDICTIVE ANALYSIS WATER CONSERVATION MANAGEMENT SYSTEMS 11

Mbanga S., Gusev O.K. FIRE TUBE BOILER AUTOMATION USING PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS (PLC) AND MACHINE LEARNING 12

Mukwewa T. M., Musiiwa P. B., Svistun A. I. DIGITAL AUTOMATIC TERMINAL INFORMATION SERVICE (D-ATIS) 14

Munhamoh M. T., Musiiwa P. B., Kapuya E. T., Tyavlovsky A. K. A COMPARATIVE STUDY OF RANDOM FOREST AND LSTM MODELS FOR BATTERY REMAINING USEFUL LIFE PREDICTION 14

Mutsvangwa T., Makusha D. T. DEVELOPMENT OF AN AI BASED AC MOTOR FAULTY PREDICTION SYSTEM 15

Mukwewa, T. M., Musiiwa P. B., Tyavlovsky A. K. RCMS FOR INSTRUMENT LANDING SYSTEM USING ZIGBEE TECHNOLOGY 16

Адамович К. А., Елец П. Н., Карнилович А. Г., Василевский А. Г. РЕЧЕВОЙ ОПОВЕЩАТЕЛЬ С ИНТЕРФЕЙСНЫМ RS-485 УПРАВЛЕНИЕМ 16

Адамович К. А., Койро А. В., Карнилович А. Г., Василевский А. Г. ГРАДИЕНТНОЕ ФОТОРЕЛЕ В СИСТЕМАХ ОХРАННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ 17

Бекар Е. Е., Ломтев А. А. ФИКСАЦИЯ ФАЛЬСТАРТА В БАССЕЙНЕ 18

Бекар Е. Е., Ломтев А. А. КОНТРОЛЬ ПОПАДАНИЯ МЯЧА В ИГРОВУЮ ЗОНУ ВОЛЕЙБОЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ 19

Бурых Д. А., Мисюкевич Н. С. СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ И ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ГАРАЖА СО СТАНЦИЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ 20

Вербицкий М. Р., Шадурская Л. И. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОПРОВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ 20

Веселовский В. А., Мелюх Н. С., Будревич Н. С., Койро А. В., Исаев А. В., Василевский А. Г. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ КАК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ 21

Веселовский В. А., Мелюх Н. С., Кибисов Е. А., Лычковский В. А., Исаев А. В., Василевский А. Г. ГАЗОВЫЕ ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ 22

Винник К. В., Козлов А. С., Ризноокая Н. Н., Куклицкая А. Г. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО АППАРАТА АРИНА – 02 24

Винник К. В., Козлов А. С., Воробей Р. И., Куклицкая А. Г. ЦИФРОВАЯ ИНДИКАЦИЯ В ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КОНТРОЛЕ 25

Глинская Е. В. АЛГОРИТМ УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО СОЕДИНЕНИЯ В СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 26

Глущенко К. Д., Шехов Е. А., Савелов И. Н. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ 28

Громыко И. Л., Галушко В. Н. ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ДИАГНОСТИКЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ 29

Дранца М. Ю., Ризноокая Н. Н., Куклицкая А. Г. ПРИМЕНЕНИЕ ЭНДОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ 30

Дранца М. Ю., Ризноокая Н. Н. РАСЧЕТЫ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ 31

Жарикова Е. В., Гулевич О. Н., Ломтев А. А. ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ ПРИ ПРЫЖКАХ В ВЫСОТУ С ШЕСТОМ 33

Евсеенко. И. А., Савелов. И. Н. УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 34

Каликанов А. В. СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ 35

Книга Н. А., Савелов И. Н. БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 36

Коваленко А. А., Воробей Р. И., Куклицкая А. Г. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В ВИЗУАЛЬНОМ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КОНТРОЛЕ 37

Козлов А. С., Винник К. В., Воробей Р.И., Куклицкая А. Г. ДОСТОИНСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКИХ МАТРИЧНЫХ ДЕТЕКТОРОВ В ЦИФРОВОМ РАДИОГРАФИЧЕСКОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ 38

Козлов А. С., Винник К. В., Ризноокая Н. Н., Куклицкая А. Г. ПОРТАТИВНЫЙ ТВЕРДОМЕР В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ 39

Корецкий Д. М., Здоровцев С. В. БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ РАДИОМОДУЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 40

Крюков А. Н., Шадурская Л. И. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ И ФЕРРИТА» МОСТОВЫМ МЕТОДОМ 41

Малиновская П. В., Смоляная В. В., Романчак В. М. ОБНАРУЖЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 42

Мелюх Н. С., Веселовский В. А., Лычковский В. А., Исаев А. В., Василевский А. Г. СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВИДЕОКАМЕР 43

Мелюх Н. С., Веселовский В. А., Фомаиди А. Ю., Лычковский В. А., Исаев А. В., Василевский А. Г. ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ 44

Мирош Д. В., Галушко В. Н. МЕЖВИТКОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБМОТОК 45

Мороз А. С., Тявловский А. К. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ДВУХ ТЕРМОПАР В ОДНОЙ ТОЧКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ 46

Поляков К. О., Ломтев А. А. МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ 47

Пролиско Д.А., Колонтаева Т. В. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ *48*

Пряжко А. В., Исаев А. В. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УЗЛА ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СИГНАЛОВ ОПОВЕЩЕНИЯ РЕЧЕВОГО ОПОВЕЩАТЕЛЯ С РАДИОКАНАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ 49

Пряжко А. В., Третьяк И. Б. КОНСТРУКЦИЯ СИГНАЛИЗАТОРА ЗАГАЗОВАННОСТИ 50

Пряжко А. В., Исаев А. В. СИСТЕМА ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ОПОВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПКП ЗАО НВП БОЛИД 52

Пряжко А. В., Василевский А. Г. КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА РЕЧЕВОГО ОПОВЕЩАТЕЛЯ С ЗАПИСЬЮ И ВОСПРОИЗВОДСТВОМ СИГНАЛОВ ОПОВЕЩЕНИЯ С РАДИОКАНАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ 53

Скоторенко Б. О., Ломтев А. А. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТОКОВ УТЕЧКИ 54

Скуратович М. Д., Здоровцев С. В. БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 54

Смирнов В. В., Черный В. В. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТУКТУР НА ОСНОВЕ GAAS, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ЗАТВОРОМ ШОТТКИ 56

Степаненко А. И., Савченко А. Л. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ И МАЗЕЙ СКВОЗЬ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ 57

Степочкин Е. А., Гацкевич Е. И. КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР – КОМПЬЮТЕР БУДУЩЕГО 58

Шиманович А. В., Ахмадов К. В., Ломтев А. А. ТЕНЗОДАТЧИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СПОРТЕ 59

СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ПРИБОРОВ

Mashiyani P., Makusha T. D. ROBOTIC ARM DRIFT COMPENSATION USING MACHINE LEARNING MODELS 60

Ndebele A. G., Rushambwa Ch. M., Palaniappan R. DEVELOPMENT OF A DEEP LEARNING-BASED DIAGNOSTIC SYSTEM FOR KERATITIS USING CORNEAL IMAGES 60

Адамович К. А., Койро А. В., Василевский А. Г. РАЗРАБОТКА КОРПУСА АВТОНОМНОГО ДЫМОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С КОНТРОЛЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ УГАРНОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИИ 61

Андрушкевич И. В., Габец В. Л. УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНТРАКТУР ЛУЧЕЗАПЯСТНОГО СУСТАВА 62

Бенчак Г., Бразовский К. С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТВЕРДОФАЗНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ СМЕСЕЙ 63

Бохан А. А., Бурак В. А. УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЗ К ИСТИРАНИЮ 64

Вишталюк Г. С., Толмачев И. В. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ КРОВОПОТЕРИ ПО ДАННЫМ ВИТАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА 65

Волчанин Е. В., Бурак В. А. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ ЦАРАПАНИЕМ 66

Вощенко А. О., Плешков М. О., Толмачев И. В., Стасевский В. И., Кужеливский И. И. РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ В ПРОЦЕССЕ КРИОВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ 67

Грудько Е. А., Савицкая Е. Н., Есман Д. Ю., Федорцев Р. В. ЛОПАСТНЫЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ С ВНУТРЕННЕЙ УПОРЯДОЧЕННОЙ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРОЙ 68

Добровольская Е. Д., Андрушкевич И.В., Габец В. Л. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ СТЕЛЕК 69

Добровольская Е. Д., Габец В. Л. УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНТРАКТУР КОЛЕННОГО СУСТАВА 70

Дудик С. А., Добровольская С. А., Зайцева Е. Г. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ 71

Зайцева Е. А., Бразовский К. С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК 72

Захарова М. С., Митриченко У. М., Аксенов С. В. СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКОМ СКРИНИНГЕ СОАС 73

Иванова Е. И., Габец В. Л. ВЕЛОСИПЕД ДЛЯ ДЕТЕЙ БОЛЬНЫХ ДЦП 74

Ивашко Е. Д., Бурак В. А. ДВУХКООРДИНАТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА 75

Иоффе К. В., Монич С. Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА КЛЕЕВОЙ ОСНОВЫ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЛЕНТ 76

Иоффе К. В., Монич С. Г. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ УСИЛИЯ ОТРЫВА КЛЕЙКИХ ЛЕНТ 77

Киндрук А. Н., Степаненко Д. А. ОБЛАЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ WOLFRAM CLOUD В МЕХАНИКЕ КОЛЕБАНИЙ 78

Маковская В. М., Цумарев Я. Д., Филонова М. И. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАРИКОВЫХ ЛИНЗ 79

Маковская В. М., Степаненко Д. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНЦЕНТРАТОРА 80

Малащенко В. С., Габец В. Л. УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА 81

Николаева Ю. Г., Габец В. Л. УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНТРАКТУР ЛОКТЕВОГО СУСТАВА 82

Охремчик В. А., Балевский И. А., Габец В. Л. СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ КРЕСЕЛ-КОЛЯСОК 83

Плана В. Х., Хоменчук В. В., Богдан П. С., Зайцева Е. Г. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ ИМИТАЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ 84

Попов Р. А., Луговой В. П. ОБРАБОТКА ШАРИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ 85

Складчиков И. А., Матвеев В. В. СТАБИЛИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ 86

Турочкин К. А., Чугаевская К. В., Савченко А. Л., Богдан П. С. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЕНТ-ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 87

Чалова А. К., Габец В. Л. АППАРАТ ДЛЯ БИОСИНХРОНИЗИРОВАННОЙ МЕХАНОТЕРАПИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ 88

Шевель Н. А., Бурак В. А. ДИАГНОСТИКА ИЗНОСА ПЛАСТИКОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ДОПЕЧАТНОМ И ПЕЧАТНОМ ОБОРУДОВАНИИ 89

СЕКЦИЯ 3. МИКРО- И НАНОТЕХНИКА

Puneet Jain, Dipak Patil EXPLORING THE APPLICATION OF ATOMIC LAYER DEPOSITION (ALD) FOR PRECISION NANOFABRICATION FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING FOR COMMERCIAL BUILDING 91

Yuan Huanglong, Xue Yang, Scherbakova E. N. QUANTIFICATION OF PROTECTIVE GEAR PRESSURE VALUES + AI VISUAL INTELLIGENT ANALYSIS: ENHANCING THE ACCURACY OF JUDGING IN WTF ELECTRONIC GEAR ERA TAEKWONDO COMPETITIONS 91

Yuan Huanglong, Scherbakova E. N. CONSTRUCTION OF A REAL-TIME FEEDBACK SYSTEM FOR BASKETBALL SKILLS AND TACTICS AND ATHLETES' PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF WEARABLE DEVICES AND AI LARGE MODELS 92

Tan Jiang Yan, Liutsko K. S. BIOLOGICAL BASIS, TECHNICAL EFFICIENCY, AND USE OF MEMS SENSORS FOR ASSESSING TRUNK POSITION IN TENNIS 93

Антонов М. С., Гриб А. А., Чижик С. А. РАСЧЕТ ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ 94

Ахрамейко Н. С., Люцко К. С. ИЗМЕРИТЕЛЬ ИМС «СТАБИЛИЗАТОР-1» 95

Бабич В. А., Щербакова Е. В. МОДИФИЦИРОВАНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ЭЛЕМЕНТОКСИДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ 96

Беницевич А. П., Люцко К. С. ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП 97

Беницевич А. П., Люцко К. С. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ 98

Бриневец Е. А., Люцко К. С. АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СВОЙСТВ 99

Веремей И.С., Маркевич М. И., Щербакова Е. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА МЕТОДОМ СЭМ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 100

Веремей И. С., Маркевич М. И., Щербакова Е. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ НА СМЕСОВОЙ ТКАНИ 07С11-КВ 101

Война М. С., Колонтаева Т. В. ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ 102

Головко М. М., Колонтаева Т. В. ПОЛУЧЕНИЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА 103

Греков В. С., Щербакова Е. Н. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МУЛЬТИПЛИКАЦИИ.....104

Данилетский М. Г., Колонтаева Т. В. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСКЛЮЗИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ.....105

Друк И. В., Люцко К. С. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ «ВЕЗУВИЙ-9» 106

Забогонский К. А., Шадурская Л. И. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА АМБИПОЛЯРНОЙ ДИФФУЗИИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С ГЛУБОКИМИ УРОВНЯМИ ПРИМЕСЕЙ И ДЕФЕКТОВ.....107

Загорцев А. А., Щербакова Е. Н. ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ КВАНТОВЫХ ПРОВОЛОК.....108

Имомиддинов Ф., Курбанов Р. Т. ОБРАЗОВАНИЕ МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД.....109

Колодей А. В., Щербакова Е. Н. ЛАВИННО-ПРОЛЕТНЫЙ ДИОД – ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ, КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ 110

Командышко Н. А., Колонтаева Т. В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНЫХ НАНОСТРУКТУР 111

Красиченко Н. П., Колонтаева Т. В. СИНТЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК 112

Красиченко Н. П., Сернов С. П. ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРЕМНИИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ 113

Кузнецова Д. И., Колонтаева Т. В. СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ 113

Кузнецова Д. И., Сернов С. П. ВАРИКАПЫ 114

Курныш В. В., Люцко К. С. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕАКЦИОННОСПЕЧЕННОЙ КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ КЕРАМИКИ С ДОБАВКОЙ АЛМАЗ-ЛОНСДЕЙЛИТОВОГО АБРАЗИВА 115

Лагун Д. В., Щербакова Е. Н. ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТИРИСТОРОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ 116

Лагун Д. В., Люцко К. С. ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЕМКОСТНЫХ ГИРОСКОПОВ 117

Лазоренко К. П., Колонтаева Т. В. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАГЕЛЯ 118

Луданик Д. Ю., Реутская О. Г. ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКОЙ 119

Лукьянов В. В., Сернов С. П. МЕТОД РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ 120

Лукьянов В. В., Колонтаева Т. В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКОЛ С ОПТИЧЕСКОЙ ПРОЗРАЧНОСТЬЮ 121

Мекта А. Д., Люцко К. С. МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРЫ. ТИПЫ И МОДЕЛИ 122

Мисюк А. Ю, Колонтаева Т. В. КАПИЛЛЯРНЫЙ ЗОННЫЙ ЭЛЕКТРОФОРЕЗ 123

Мицкевич А. С., Щербакова Е. Н. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ 124

Мычко В. А., Балохонов Д. В. ТКАНЕВАЯ ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 125

Надумович Н. А., Балохонов Д. В. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В МЭМС И НЭМС 126

Новосельский М. А., Колонтаева Т. В. ОСОБЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПУЗЫРЬКОВОГО РАСПАДА СЛОЯ ВОДЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ПАРА 127

Осокин Д. И., Люцко К. С. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ТАКТИЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ 128

Павловский А. А., Сернов С. П. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ПО СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ 130

Павловский А. А., Колонтаева Т. В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР 131

Паршин П. С., Люцко К. С. МЭМС СЕНСОРЫ УСКОРЕНИЯ ДЛЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ 132

Полуян Н. В., Колонтаева Т. В. ПАРАМЕТРЫ КОАГУЛЯЦИИ В ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 133

Потонейко А. В., Колонтаева Т. В. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИК-СИСТЕМ 134

Потонейко А. В., Люцко К. С. ДИФФУЗИОННЫЕ НАСОСЫ КАК ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОГО ВАКУУМА 135

Пытченко С. С., Люцко К. С. МИКРОФЛЮИДНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ....136

Пытченко С. С., Щербакова Е. Н. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ОКСИДНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С ПОВЫШЕННОЙ ЕМКОСТЬЮ....137

Сацкевич А. И., Колонтаева Т. В. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ....138

Севилькин Р. Н., Щербакова Е. Н. ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ....139

Силич В. Ю., Колонтаева Т. В. СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ РАДИОПРОЗРАЧНЫЙ МАТЕРИАЛ....140

Снежко М. В., Щербакова Е. Н. ПЛАЗМОСТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ ФУЛЛЕРЕНОВ....141

Сухоцкий Г. С., Колонтаева Т. В. ГИБРИДНЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ....142

Ткаченко К. Д., Люцко К. С. ПОКРЫТИЕ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ....143

Трухан Р. Э., Маханек А. А., Лапицкая В. А., Чижик С. А. МОЛЕКУЛЯНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА....144

Хабарова А. В., Лапицкая В. А., Чижик С. А., Николаев А. Л., Садырин Е. В., Волков С. С., Айзикович С. М. ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ TIN И ALN, НАНЕСЕННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ.... 145

Шовкиев А. С., Черный В. В. ТРАНСМУТАЦИОННО ЛЕГИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ....146

СЕКЦИЯ 4. ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Zhang Yun, Saukova Y. STUDY ON OPTIMIZATION OF ILLUMINATION PARAMETERS FOR EFFICIENT OXYGEN PRODUCTION BY MICROALGAE....148

Qiu Tian, Zaitseva E. G. ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF ROOMS, EQUIPMENT AND EQUIPMENT FOR TABLE TENNIS BY THE NATURE OF LIGHTING AND COLOR SCHEME....149

Алешкевич К. В., Кузнечик В. О. КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ FREEFORM....150

Алешкевич К. В., Артюхина Н. К., Марчик В. А. КЛИНОВИДНАЯ ПРИЗМА С ПОВЕРХНОСТЯМИ FREEFORM....151

Али-Заде Э. Т., Козерук А. С., Кузнечик В. О. ЮСТИРОВКА МОДУЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ....152

Белохвостик Е. В., Кузнечик В. О. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ....153

Бурдо М. В., Артюхина Н. К. ТЕМПЕРАТУРНАЯ КАЛИБРОВКА ТЕПЛОВИЗИОННОГО МОНОКУЛЯРА....154

Гордейко Р. В., Маляревич А. М., Шашков С. Н. ПРИМЕНЕНИЕ КОНФОКАЛЬНОЙ РАМАНОВСКОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА МИКРОПЛАСТИКОВ....154

Денисов М. О., Матвеев В. В. АЛГОРИТМЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ....156

Довжик В. Г., Кузнечик В. О. МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ....157

Егоров А. С., Матвеев В. В. ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР....158

Затягин В. Д., Лапоухов Е. А., Горбаченя К. Н. ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ МАКЕТИРОВАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА С ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ....158

Кирикович В. А., Кузнечик В. О. КОНТРОЛЬ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ В СЛОВИЯХ БЛИЗКИХ К РЕАЛЬНЫМ 159

Книга И. В., Маляревич А. М. КОНСТРУКЦИЯ ПОДВИЖКИ ДВУХ ЛИНЗОВОГО ОБЪЕКТИВА, СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ С ПОМОЩЬЮ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ 160

Колоницкая В. Ю., Федорцев Р. В., Лапковский А. С. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА 161

Круковский В. А., Воронцов А. И., Юдицкий В. А., Федорцев Р. В. МЕТОДИКА ИСПРАВЛЕНИЯ НЕДОПУСТИМЫХ ПРОЗРАЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ТОПОЛОГИИ ФОТОШАБЛОНОВ 163

Лазарчук А. И., Шишко Т. А., Кисель В. Э. ВОЛОКОННЫЙ ИСТОЧНИК СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ 164

Лазарчук А. И., Юмашев К. В., Кисель В. Э. ТЕРМИЧЕСКАЯ ЛИНЗА В КРИСТАЛЛЕ YB:GYSO 165

Лазарчук А. И., Кисель В. Э. ФЕМТОСЕКУНДНЫЙ YB:GYSO ЛАЗЕР С НАКАЧКОЙ ОДНОМОДОВЫМ ЛАЗЕРНЫМ ДИОДОМ 166

Лахмицкий Н. В., Чижевский В. Н. СТАТИСТИКА ПОСЛЕИМПУЛЬСОВ В ДЕТЕКТОРАХ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ ПРИ ВЫСОКИХ УРОВНЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ ИМПУЛЬСАМИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 167

Луцкович З. М., Козерук А. С., Кузнечик В. О. ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ 168

Мамай Е. Ю., Кузнечик В. О. КОНВЕРТЕР АПЕРТУРНЫЙ 169

Науменко А. А., Федорцев Р. В. МЕХАНИЗМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 170

Позднякова О. М. МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОКОЛЛИМАТОР 172

Портных Н. А., Матвеев В. В. ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА 173

Романцева Е. А., Матвеев В. В. ОСОБЕННОСТИ МИНИМИЗАЦИИ АБЕРРАЦИЙ В ШИРОКОПОЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВАХ ТИПА ПЛАНАР 174

Савчик А. В., Горбач Д. В. ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И НАВЕДЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ И РЕАКТИВНОЙ АРТИЛЛЕРИИ 175

Семенихин Д. А., Матвеев В. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ ЛАЗЕРА НА КРИСТАЛЛЕ CR^{4+}:YAG 176

Тараченко А. А., Кацер Д. В., Федорцев Р. В. АЛГОРИТМЫ ПЕРВИЧНОЙ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ВИДЕОПОТОКОВ РАЗЛИЧНОГО РАЗРЕШЕНИЯ 177

Чайкова Л. Д., Зайцева Е. Г., Богдан П. С. КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ СПЕКТРОФОТОМЕТРА, ОБУСЛОВЛЕННОЙ УСРЕДНЕНИЕМ ПОКАЗАНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ШИРИНЫ СКАНИРУЮЩЕЙ ЩЕЛИ 179

Чалевич А. Ю., Кузнечик В. О. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НЕФЕЛОМЕТРА 180

Чергейко С. В., Артюхина Н. К. ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ИНФРАКРАСНОГО ВАРИООБЪЕКТИВА 181

Шанчук В. А., Артюхина Н. К. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЪЕКТИВОВ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ В СОСТАВЕ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 182

Шевченко В., Сафонов В. В., Козерук А. С., Кузнечик В. О. ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ 183

Шейко А. Г., Артюхина Н. К. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОНАРЯ ЗАДНЕГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ....184

Шишко Т. А., Лазарчук А. И., Кисель В. Э., Федорцев Р. В. ОПТИМАЛЬНАЯ КОМПАНОВКА УСИЛИТЕЛЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА....184

Щелкун А. С., Месько И. С., Кузнечик В. О. БЛОК ТЕЛЕВИЗИОННО-ДАЛЬНОМЕРНЫЙ....186

Якубович Т. С., Федорцев Р. В., Луговик А. Ю., Ковальчук Е. Н. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИСИСТЕМНОГО ИНЕРЦИАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА СИГНАЛОВ....187

Яскевич А. Ю., Кузнечик В. О. ОБЪЕКТИВ СИМУЛЯТОРА ЗВЕЗДНОГО НЕБА....188

СЕКЦИЯ 5. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Pramod S. Aswale, Dipak P. Patil DETECTING EMAIL SPAM OR HAM USING LOGISTIC REGRESSION AND STREMLIT DEPOLYMENT....190

Mutsvangwa T., Makusha D. T. DEVELOPMENT OF AI BASED AC MOTOR FAULTY PREDICTION SYSTEM....192

Zehao Wang, Gatskevich E. I. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE SIXTH INFORMATION REVOLUTION....193

Zhou Meina, Hundzina M. MATHEMATICAL MODELS IN SAILING RACING....194

Zhu Y., Saukova Y. INTELLIGENT TRANSMISSION LINE INSPECTION YOLO ALGORITHM HELPS IMPROVE THE EFFICIENCY OF DEFECT DETECTION....195

Абраменко А. Д., Бобученко Д. С. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ СИЛ....196

Борбат М. С., Кондратьева Н. А. ПРИМЕНЕНИЕ НИТИНОЛА ДЛЯ ИМПЛАНТАТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТЕЗОВ....197

Войтеховский А. А., Реутская О. Г. ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ В ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ ВИБРО- И ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ....198

Грек Л. Д., Комар А. А., Гацкевич Е. И. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕННОГО РАБОЧЕГО СТОЛА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ....199

Гурина А. В., Бокуть Л. В. ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ СУММИРОВАНИЯ РАСХОДЯЩИХСЯ РЯДОВ (МЕТОДЫ ЧЕЗАРО И ПУАССОНА-АБЕЛЯ)....200

Гусенников Е. Н., Юран С. И. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС DIALUX EVO ДЛЯ РАСЧЕТА СВЕТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИТОТРОНА....201

Дайлида А. В., Бокуть Л. В. МЕТОДЫ СУММИРОВАНИЯ МЕДЛЕННО СХОДЯЩИХСЯ РЯДОВ....202

Ермоленко А. В., Прусова И. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ СУММЫ И РАСЧЕТ ПРОИЗВЕДЕНИЯ СОБЫТИЙ....203

Захаров П. В., Басараб М. А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗА ДЛЯ АУГМЕНТАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ....204

Зикеев К. А., Бурак В. А. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАМАГНИЧИВАНИЯ....206

Кеда П. А., Андранович Е. А., Гацкевич Е. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ....207

Ковынев В. Н. БЕЗОПАСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QR-КОДОВ....208

Коршунова Д. С., Шишкина А. М., Гацкевич Е. И. ЗАКОН МУРА И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ....209

Кузнецов А. С., Гацкевич Е. И. СРАВНЕНИЕ ФАЙЛОВЫХ СИСТЕМ LINUX И WINDOWS ... 210

Маковская В. М., Бокуть Л. В. КРАТНЫЕ РЯДЫ ... 211

Максименко А. П., Щербакова Е. Н., Кондратьева Н. А. АНАЛИЗ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПСФ В 2023–2024 УЧЕБНОМ ГОДУ ... 212

Матюшинец И. А., Бобученко Д. С. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ... 213

Матюшков С. Ю., Пахмурин Д. О. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСА ЛОКАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ «ФЕНИКС-2» ... 214

Овчинник Д. А., Кондратьева Н. А. СОВРЕМЕННЫЙ МАТЕРИАЛ НИТИНОЛ В ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ... 215

Ромашко Е. Д., Жарин А. Л., Пантелеев К. В., Кондратьева Н. А. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ СКАНИРУЮЩЕГО КАРТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ORIGINLAB ... 216

Саидова М. Д., Гацкевич Е. И. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В МЕДИЦИНЕ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ... 217

Соколов А. С., Бокуть Л. В. НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ПЛОСКОСТИ И В ПРОСТРАНСТВЕ ... 218

Тимошенко Д. В. ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ... 220

Тимошенко Д. В., Реутская О. Г. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ МЭМС-ДАТЧИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАН ... 221

Харченко У. Д., Грабина В. С., Романчак В. М. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ ... 222

Чимбур А. С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ ... 223

Шувалов А. В., Галиханова М. Р., Пахмурин Д. О. РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С МЕТАЛЛОМ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ... 224

Шушунов В. А., Бобученко Д. С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТРУНЫ ПО ЕЕ СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ... 225

СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОСФЕРА И МЕНЕДЖМЕНТ СПОРТА

Dang Yitong, Karneichyk V. MODERN HARDWARE IN ASSESSING SPEED-STRENGTH ABILITIES ... 227

Goranov I. V., Tan Jiang Yan, Liutsko K. S. IMPACT OF MEMS-SENSORY TENNIS RACKETS ON IMPACT TECHNIQUE ANALYSIS ... 228

Jingye Hu, Burak V. A. EFFECTIVENESS AND SHOOTING ERRORS IN BASKETBALL ... 229

Junru Yang, Kovel S. G. RESEARCH ON THE PREVENTION OF LUMBAR MUSCLE STRAIN IN SHORT JUMP ATHLETES BASED ON FUNCTIONAL TRAINING ... 230

Liu Yan Fei, Davidova E. A. DEVELOPMENT AND POPULARIZATION OF WUSHU IN THE REPUBLIC OF BELARUS ... 231

Qiu Tian FUNDAMENTAL CONCEPTS OF TEACHING MOTOR ACTIONS AND THE SPECIFICS OF THEIR APPLICATION WHEN WORKING WITH ELDERLY AND OLDER PEOPLE ... 232

Tang Siqing, Reutskaya O. G. FEATURES OF THE TRAINING METHODOLOGY FOR YOUNG SCHOOL FOOTBALL PLAYERS ... 234

Wang Jiafeng, Reutskaya O. G. RESEARCH ON THE CHARACTERISTICS, DILEMMAS AND REFORM PATH OF YOUTH FOOTBALL DEVELOPMENT....235

Xia Zihan, Savchenko A. L. IMPLEMENTATION OF TECHNICAL MEANS IN THE TRAINING OF WEIGHTLIFTERS....236

Yuan Huanglong, Scherbakova E. N. ANALYSIS OF THE OFFENSIVE SKILLS AND TACTICS OF THE TOP FOUR TEAMS IN MEN'S 3X3 BASKETBALL AT THE 2024 PARIS OLYMPICS....237

Zehao Wang, Kovel S. G. FUNDAMENTAL CONCEPTS OF TEACHING MOTOR ACTIONS AND THE SPECIFICS OF THEIR APPLICATION IN THROWING....238

Nazarchuk K.A., Zeng Qiuwei, Liutsko K. S. USE OF MICROSENSORS TO MONITOR PLAYERS' HEART RATE AND BREATHING DURING A MATCH....239

Zhao Guiyang, Kovel S. G. OPTIMIZATION STRATEGIES FOR MOVEMENT PATTERNS IN YOUTH SPRINT TRAINING....240

Tang Jie, Hundzina M. MATHEMATICAL MODELS IN TENNIS....241

Qiu Tian, Zaitseva E. G. ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF PLAYING TABLE TENNIS FOR THE ELDERLY....241

Yu Hao Yang, Zaitseva E. G. DIGITAL MEASUREMENT SYSTEM FOR ANTHROPOMETRIC PARAMETERS OF YOUNG BASKETBALL PLAYERS....243

Yu Hao Yang, Zaitseva E. G. MEASURING THE PHYSICAL QUALITIES OF YOUNG BASKETBALL PLAYERS DURING TRAINING....243

Бутько Е. А., Барановская Д. И. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗВУКОУСИЛЕНИЯ НА ВЕЛОДРОМЕ МКСК «МИНСК-АРЕНА»....244

Галабурда Д. Г., Самохвал П. М. ТЕНЗОДАТЧИКИ В ТРЕКОВОМ ВЕЛОСПОРТЕ....245

Гриневич А. Д., Зданчук А.В., Кузьмицкий А. И. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ПАКЕТНОЙ IP ТЕЛЕФОНИИ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ГУ МКСК «МИНСК-АРЕНА»....246

Гулевич О. Н., Карнейчик В. В. АНАЛИЗ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ СПОРТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ....247

Долбик М. А., Карнейчик В. В. СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ СПОРТИВНОГО КЛУБА....248

Жарикова Е. В., Карнейчик В. В. СТРАТЕГИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ БРЕНДОВ И ПРОДУКТОВ ЧЕРЕЗ СПОРТИВНЫЕ СОБЫТИЯ И ВИДЫ СПОРТА....249

Забродский А. А., Барановская Д. И., Катибникова В. А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ФИЗКУЛЬТУРНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО И СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО ПО АДРЕСУ: Г. МИНСК, УЛ. БУРДЕЙНОГО, 2-3 РЦОП «СТАЙКИ»....250

Зиневич Г. А., Солонец А. В. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕНЗОДАТЧИКОВ В ТАЭКВОНДО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА....251

Зиневич Г. А., Солонец А. В. ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНЫХ И КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ТАЭКВОНДИСТОВ....252

Зуй К. Д., Самохвал П. М. ИНТЕРАКТИВНАЯ ТРЕНИРОВОЧНАЯ СТЕНКА ДЛЯ БОЛЬШОГО ТЕННИСА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ООО «АЛЬФАСПОРТ»....253

Зуй К. Д., Самохвал П. М. ТЕНЗОДАТЧИКИ В БОЛЬШОМ ТЕННИСЕ....254

Ильютик А. С., Барановская Д. И., Катибникова В. А., Кузьмицкий А. И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СУДЕЙСТВА В РОЛЛЕРСПОРТЕ....255

Катибникова В. А., Карнейчик В. В. ЗНАЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРИЙ НА КРУПНЫХ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ....256

Корзан И. Д., Карнейчик В. В. РЫНОК СПОРТИВНЫХ КАДРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 257

Корзун А. В., Самохвал П. М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКОВ В ХОККЕЕ 258

Корзун А. В., Солонец А. В. ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ КАТАНИЯ НА РОЛИКОВЫХ КОНЬКАХ 259

Оганисян Р. С., Полозок Л. П., Гамзатов Ф. З., Закерничный В. И., Мурзинков В. Н. БОРЦОВСКИЕ ТРЕНАЖЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАГРУЗКИ 260

Оганисян Р. С., Самохвал П. М. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕНЗОДАТЧИКОВ В ВОЛЬНОЙ И ГРЕКО-РИМСКОЙ БОРЬБЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА 262

Оганисян Р. С., Самохвал П. М. ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ БРОСКА В БОРЬБЕ 263

Павленко А. В., Барановская Д.И., Катибникова В. А., Кузьмицкий А. И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛУСТАЦИОНАРНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ТРАНСПУНКТА СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА НА 5000 ЗРИТЕЛЕЙ 264

Смольский А. А., Савченко А. Л. УСТРОЙСТВО ДЛЯ СТРЕЛКОВОЙ ПОДГОТОВКИ БИАТЛОНИСТОВ 265

Ткачев П. В., Барановская Д.И., Катибникова В. А. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ГУ «МКСК «МИНСК-АРЕНА» 266

Червяков В. А., Барановская Д.И., Катибникова В. А. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СТАНЦИИ НА 8 ВИДЕОКАМЕР 266

Чернявский В. В., Карнейчик В. В. ПРИМЕНЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ СПОРТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ 267

Чикун А. Д., Самохвал П. М. ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ КЛАССИЧЕСКОГО ЛЫЖНОГО ХОДА 268

Чикун А. Д., Солонец А. В. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФОТОГРАММЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЛЫЖНОМ СПОРТЕ 269

Шиманович А. В., Барановская Д. И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВЕТОДИОДНЫХ ЭКРАНОВ 270

Шиманович А. В., Карнейчик В. В. ЭТАПЫ СЕГМЕНТАЦИИ СПОРТИВНОГО РЫНКА 271

Chen Shilang, Romashko E., Pantsialeyeu K., Gusev O. ANALYSIS OF MOBILE APP ARCHITECTURE FOR MONITORING PROGRESS AND STATISTICS OF TENNIS PLAYERS 272

Chen Shilang, Borbat M., Pantsialeyeu K., Svistun A. DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR TENNIS STATISTICS ANALYSIS 274

СЕКЦИЯ 7. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Dong Min, Saukova Y. MAIN PROVISIONS AND PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF BIG DATA SCIENCE 275

Володкович В. И., Давыдова Е. А. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТОВ ISO СЕРИИ 9000 В БЕЛАРУСИ 275

Гуринович А. А., Серенков П. С. МОДУЛЬ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ 276

Гуринович А. А., Серенков П. С. МЕХАНИЗМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ 277

Дербенев В. В., Соломахо В. Л. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ И ИСКЛЮЧЕНИЯ ИЗ ЕДИНОГО РЕЕСТРА ООС ЕАЭС ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ (ЦЕНТРОВ), ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ РАБОТЫ ПО ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ПРОДУКЦИИ ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ ЕАЭС (ТС) ТР ТС 018/2011 278

Дербенев В. В., Соломахо В. Л. РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ АККРЕДИТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ 280

Дубейко С. В., Коробко Ю. С. КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ И УХОДА СПОРТИВНЫХ ПЛОЩАДОК. БЕЗОПАСНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЙ 281

Дубейко С. В., Коробко Ю. С. УЧЕТ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КРИТИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ ПАДЕНИЯ 283

Жук Т. А., Соломахо В. Л. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТОВ GMP В КОСМЕТИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 286

Захаренкова Е. М., Давыдова Е. А. КОМПЕТЕНЦИИ КЛЮЧЕВОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ВНЕДРЕНИИ В ОРГАНИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА 287

Ильинчик Д. Д., Соколовский С. С. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТАНОВКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ДОРОЖНЫХ КУРВИМЕТРОВ 288

Качанова Ю. И., Серенков П. С. МОДЕЛЬ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА НЕКОРРЕКТНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ 288

Кисляков Н. Н., Давыдова Е. А. СВЕТОДИОДНЫЕ ЛАМПЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СООТВЕСТВИИ С ГОСТ ISO 50001-2020 290

Крючков Д. В., Володкович В. И., Спевивцева Ю. Б. НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ 291

Кубрин Д. С., Селятыцкий А. А., Гомма М. А. АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 292

Кубрин Д. С., Николайчик Ю. А. АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ ИСТОЧНИКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЛИТЬЯ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА 293

Кубрин Д. С., Гуревич В. Л. ВНЕДРЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ QUALITY 4.0 294

Кубрин Д. С., Николайчик Ю. А., Серенков П. С. МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЗНАЧИМОСТИ ИСТОЧНИКОВ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ 295

Кубрин Д. С., Спесивцева Ю. Б. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ДЛЯ ЦЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ 296

Куприянова А. Р., Давыдова Е. А. ЗАЩИТА РЫНКА ОТ НЕБЕЗОПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ТОВАРОВ 297

Лавриненко Д. А., Маркович П. Л., Давыдова Е. А. ЦИФРОВАЯ МАРКИРОВКА КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ 298

Липаткина Т. Н., Серенков П. С. «ЗНАНИЕ» КАК КОНКУРЕНТНЫЙ РЕСУРС 299

Лужинская А. И., Кисляков Н. Н., Серенков П. С., Романчак В. М. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ 300

Лужинская А. И., Володкович В. И., Серенков П. С., Романчак В. М. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СУБЪЕКТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 301

Лужинская А. И., Кисляков Н. Н., Спесивцева Ю. Б. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ 302

Лужинская А. И., Гомма М. А. МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ В КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ 303

Лужинская А. И., Гомма М. А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МИКРО- И НАНОМАСШТАБАХ 304

Маркович П. Л., Тебекин В. В. БЮДЖЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДИАПАЗОНА СВЧ 305

Олифер В. А., Савкова Е. Н. ОБЗОР НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 306

Пряник И., Давыдова Е. А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСИ ПИШЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ОАО «КРЫНИЦА» 307

Рутковская Е. Н., Давыдова Е. А. КОНТРОЛЬНАЯ (НАДЗОРНАЯ) ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА РЫНКАХ 308

Селятыцкий А. А., Серенков П. С., Романчак В. М. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ 309

Селятыцкий А. А., Серенков П. С., Романчак В. М. МИНИМИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ 310

Селятыцкий А. А., Кубрин Д. С., Гомма М. А. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT И ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 311

Селятыцкий А. А., Гуревич В. Л. РАЗВИТИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 312

Сенюта В. В., Соломахо В. Л. РОЛЬ ВЕРИФИКАЦИИ И ВАЛИДАЦИИ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ 313

Троцкая А. Э., Давыдова Е. А. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В БЕЛАРУСИ 314

Фильченко Н. Т., Давыдова Е. А. БЕЗОПАСНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ НА ОПТОВЫХ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ РЫНКАХ 315

Фурс М. С., Серенков П. С. КОНЦЕПЦИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК СТУПЕНЬ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ 316

Хамко Ю., Давыдова Е. А. ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ШЕСТЬ СИГМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ 317

Чабанова К. А., Токарь О. В. ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ЛАБОРАТОРИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ОАО «АМКОДОР» 318

Черник М. О., Токарь О. В. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОАО «МЗКТ» 319

Шаститко Т. Р., Колосовский В. С., Давыдова Е. А. ОБ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПОРТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ 320

Научное издание

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Материалы
18-й Международной научно-технической конференции
молодых ученых и студентов

23−25 апреля 2025 года
Минск, Республика Беларусь

Ответственный за выпуск *Н. Н. Ризноокая*
Оформление и компьютерная верстка *К. В. Пантелеев*, *И. А. Париза*, *С. С. Пытченко*

Подписано в печать 21.04.2024. Формат 60×84 $^{1}/_{8}$. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 38,94. Уч.-изд. л. 25,23. Тираж 60. Заказ 180.
Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.